

MES FICHES POUR LE BAC

Pour réviser vite et bien !

SVT

1^{re}
S

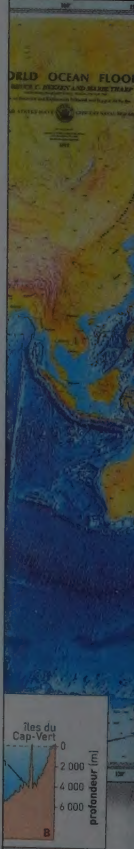
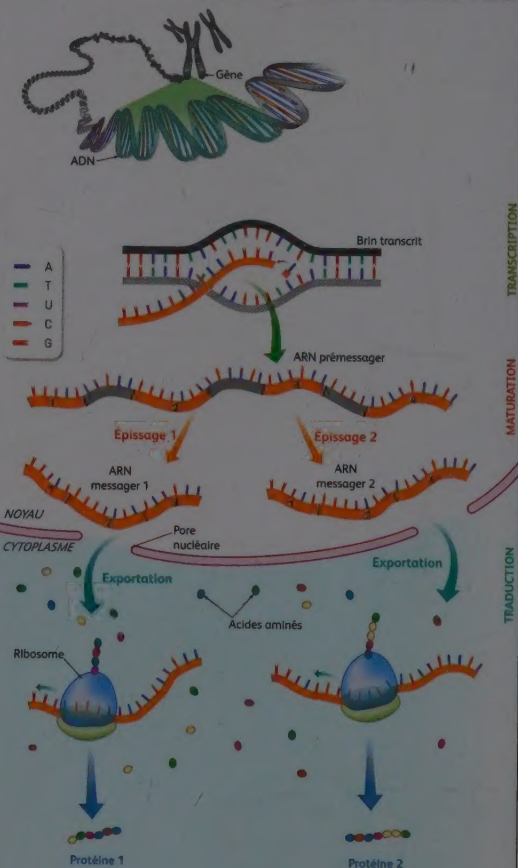
- Tout le programme
- 45 fiches détachables
- + De très nombreux schémas



Des compléments numériques sur
www.abcbac.com

 Nathan

De l'ADN aux protéines



MES FICHES POUR LE BAC

Pour réviser vite et bien !

SVT

1^{re}
S

Christian Camara
Claudine Gaston

 Nathan

Crédits photographiques

p. 17 **d** © Cosmos / SPL / Eye of Science ; **g** © Cosmos / SPL / Dr Tony Brain p. 23 © Conge
Hervé p. 24 © Conge Hervé p. 27 © S. Lallemand / La subduction océanique / Gordon and
Breach Science Publishers p. 31 © NOAA p. 78 © Genie bio-ac-aix-marseille p. 89 © M.
Raichle / Washington University school of medicine, St. Louis

Réalisation éditoriale : Roseline Messenger, Marielle Muret-Baudoin
Conception graphique intérieur : Julie Lannes
Schémas : Linéale
Composition : Linéale
Couverture : Noir & Blanc

La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant

1	La mitose, une reproduction conforme	5-6
2	La réplication de l'ADN	7-8
3	Mutation de l'ADN et variabilité génétique	9-10
4	Du gène à la protéine, intervention d'un intermédiaire	11-12
5	La transcription et la maturation de l'ARN	13-14
6	La traduction de l'ARN messager en protéines	15-16
7	Les protéines, responsables du phénotype	17-18
8	Naissance d'une idée : théorie de la dérive des continents	19-20
9	La structure du globe expliquée grâce aux ondes sismiques	21-22
10	La dualité océan-continents	23-24
11	L'expansion océanique	25-26
12	La subduction océanique	27-28
13	Un modèle global : la tectonique des plaques	29-30
14	Un modèle renforcé par son efficacité prédictive	31-32
15	Le renouvellement de la lithosphère océanique	33-34

Enjeux planétaires contemporains

16	La formation de gisements d'hydrocarbures	35-36
17	Tectonique des plaques et formation des hydrocarbures	37-38
18	Tectonique des plaques et ressources locales	39-40
19	Le fonctionnement des écosystèmes	41-42
20	La production végétale dans les agrosystèmes	43-44
21	La production animale dans les agrosystèmes	45-46
22	Les défis de l'agriculture	47-48

Sommaire

Corps humain et santé

23	Phénotypes masculins et féminins	49-50
24	Du sexe génétique au sexe gonadique	51-52
25	Du sexe gonadique au sexe phénotypique	53-54
26	L'activité testiculaire et sa régulation	55-56
27	Le fonctionnement cyclique de l'appareil génital féminin	57-58
28	Régulation du fonctionnement de l'appareil génital féminin	59-60
29	Favoriser la procréation et lutter contre l'infertilité	61-62
30	La contraception	63-64
31	Sexualité et bases biologiques du plaisir	65-66
32	La mucoviscidose, un exemple de maladie génétique	67-68
33	La prévention et le traitement de la mucoviscidose	69-70
34	Des maladies plurifactorielles	71-72
35	Le cancer, une perturbation du génome	73-74
36	La prévention des cancers	75-76
37	Les antibiotiques face aux maladies infectieuses	77-78
38	Améliorer l'efficacité des antibiotiques	79-80
39	Le cristallin, une lentille vivante	81-82
40	La rétine, un tissu nerveux	83-84
41	Pigments rétinien et vision des couleurs	85-86
42	Les photorécepteurs, un produit de l'évolution	87-88
43	Le message nerveux visuel	89-90
44	La vision, une construction cérébrale	91-92
45	Plasticité cérébrale et vision	93-94

Index	95-96
--------------------	-------

Lue
Relue
Apprise



Au cours de sa vie, une cellule peut entrer en division. L'aspect et le contenu de son noyau changent alors, avant que l'ensemble de la cellule se divise en deux parties égales.

1 La mitose, une étape du cycle cellulaire

A Mitose et interphase

- Une cellule passe en alternance d'un état de division, la mitose, à un état de non division, l'interphase.
- Une interphase et une mitose forment un cycle cellulaire.
- Pour des cellules se divisant activement, la mitose dure environ une heure tandis que l'interphase dure 23 heures.

Lexique

Chromatide : partie d'un chromosome contenant une molécule d'ADN.

B Des chromosomes qui changent d'aspect

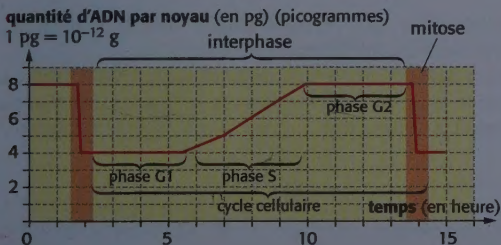
- Au cours du cycle cellulaire, les chromosomes contenant l'ADN sont toujours présents mais pas forcément visibles.
- En interphase, les molécules d'ADN sont décondensées et forment un amas diffus appelé **chromatine**.
- En début de mitose, l'ADN se condense et chaque molécule prend une forme de bâtonnet. Les chromosomes sont devenus **visibles** et à ce stade sont constitués de deux **chromatides**.

Remarque

Le terme de chromosomes peut correspondre à la molécule d'ADN, que ce soit au cours de l'interphase ou de la mitose. Mais on parle plus souvent de chromosomes pour qualifier l'ADN devenu visible, c'est-à-dire pendant la mitose.

C Une réplication de l'ADN

Doc. Quantité d'ADN dans la cellule au cours du cycle cellulaire



La mitose, une reproduction conforme

- Au cours de l'interphase, la quantité de matériel génétique double : chaque molécule d'ADN se réplique. On distingue ainsi dans le cycle une phase G₁ précédant la phase S de synthèse de l'ADN, suivie par la phase G₂ qui précède la mitose.
- Ainsi, en début de mitose lorsque les chromosomes deviennent visibles, leurs deux chromatides contiennent chacune une molécule d'ADN.

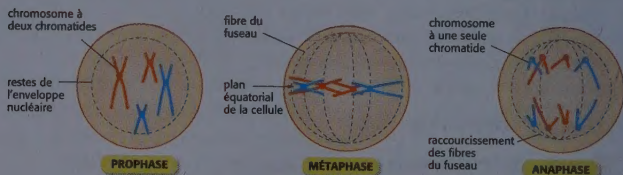
2 Les étapes de la mitose

- La mitose est un phénomène continu mais que l'on divise en quatre phases successives pour faciliter son étude.
- **La prophase** : l'ADN se condense et les chromosomes deviennent visibles, chacun formé de deux chromatides. L'enveloppe nucléaire disparaît tandis que des fibres forment un fuseau de division.
- **La métaphase** : les chromosomes poursuivent leur condensation et migrent vers le plan équatorial de la cellule.
- **L'anaphase** : les chromosomes se clivent au niveau de leur **centromère** pour donner des chromosomes à une chromatide qui chacun migre à des pôles opposés le long du fuseau de division.
- **La télophase** : le cytoplasme se divise en deux moitiés ; il se forme alors deux cellules filles.

Lexique

Centromère : partie qui relie les deux chromatides d'un chromosome.

Doc. Les étapes de la mitose



- En fin de mitose, dans les deux cellules filles, le nombre de chromosomes est identique à celui de la cellule mère.
- Au cours du cycle cellulaire, la réplication des chromosomes suivie de leur division aboutit à la conservation de la quantité d'ADN entre les cellules filles et la cellule mère.

Au cours de l'interphase, l'ADN est répliqué. Le mécanisme de la réplication permet de conserver l'information génétique à l'identique.

1 Une réplication semi-conservative

A L'expérience de Meselson et Stahl (1958)

Plusieurs hypothèses peuvent être envisagées concernant le mode de réplication :

- un mode de réplication dit conservatif : une molécule fille est nouvellement formée tandis que la molécule mère est conservée ;
- un mode de réplication dit semi-conservatif : chaque molécule fille est constituée d'un brin de la molécule mère et d'un autre nouvellement formé.

Pour valider la seconde hypothèse, des bactéries sont d'abord cultivées dans un milieu contenant de l'azote ^{15}N sur lequel elles se divisent une seule fois. Elles sont ensuite placées dans un milieu contenant de l'azote ^{14}N et se divisent une nouvelle fois. Chaque division est précédée de la réplication de l'ADN.

Rappel

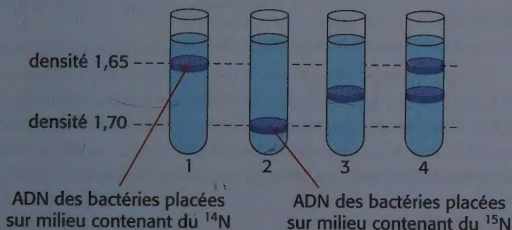
La molécule d'ADN est formée de deux brins, chacun constitué d'une succession de nucléotides qui diffèrent par leur base azotée.

Chaque base d'un brin est associée à celle d'un autre brin selon la loi de complémentarité.

B Les résultats et leur interprétation

- L'ADN est extrait des bactéries, puis placé dans un tube, au-dessus d'un gel, avant d'être centrifugé.
- La constitution de l'ADN en azote ^{14}N ou en azote ^{15}N est repérée par centrifugation. L'ADN constitué d'azote ^{15}N , plus lourd, occupe dans le tube une position différente de celle de l'ADN constitué d'azote ^{14}N léger.

Doc. Les résultats de l'expérience



La réplication de l'ADN

- Après plusieurs réplifications sur de l'azote 15, l'ADN est de densité unique (une seule marque dans le tube 2).
- Après une division sur un milieu contenant de l'azote 14 (tube 3), la densité de l'ADN est intermédiaire entre celle de l'ADN à azote 14 et de l'ADN à azote 15. On peut en déduire que chaque molécule est constituée d'un brin avec de l'azote 14 et d'un autre avec de l'azote 15. La réplication de l'ADN s'effectue donc selon un mode semi conservatif.
- Après une division supplémentaire sur le milieu contenant l'azote 14 (tube 4), les cellules renferment de l'ADN de densité intermédiaire et de l'ADN de densité 14. L'hypothèse d'une réplication semi-conservative est ainsi confirmée.

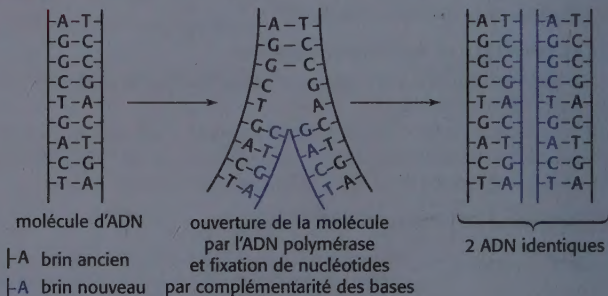
2 Le mécanisme de la réplication

- La réplication débute par la séparation des deux brins d'une molécule d'ADN : une **enzyme**, l'ADN polymérase progresse sur un brin le long de l'ouverture, puis sur l'autre brin.
- L'ADN polymérase identifie chaque base azotée du brin sur lequel elle progresse et lui associe alors un nouveau nucléotide **complémentaire**.

Lexique

Enzyme : substance qui augmente la vitesse d'une réaction chimique.

Doc. Le mécanisme de la réplication



- Ainsi, à la fin de la réplication, une molécule mère a donné deux molécules filles, chacune constituée d'un de ses brins et d'un autre nouvellement formé. Grâce à la **complémentarité** des bases, les deux molécules filles sont identiques entre elles et à la molécule mère.

Au cours de la réplication de l'ADN, des erreurs de lecture aboutissent à la formation de molécules filles de séquence différente de celle de la molécule mère.

1 Modifications de l'ADN

A Des accidents génétiques

- Au cours de la réplication, l'ADN polymérase peut commettre des erreurs et associer entre eux des nucléotides non complémentaires. C'est une **mutation**.
- Ce type d'accident génétique aboutit à la formation d'une molécule de séquence différente de celle de la molécule mère.
- Les mutations sont **spontanées**, produites de façon **aléatoire**.
- On distingue trois types de mutation :
 - **substitution** : remplacement d'un ou plusieurs nucléotides ;
 - **insertion** : addition d'un ou plusieurs nucléotides ;
 - **délétion** : perte d'un ou plusieurs nucléotides.

B La fréquence des mutations

- On estime qu'un nucléotide sur 1 million est affecté par une erreur au cours de la réplication, soit une **fréquence de mutation de 10^{-6}** .
- Cette fréquence est faible en elle-même mais, sur les 6 milliards de paires de nucléotides présents dans chaque cellule, plusieurs sont modifiés à chaque cycle cellulaire.

C Des agents mutagènes

- Les mutations sont favorisées par des **agents mutagènes** :
 - de **nature physique** : rayons X, gamma et aussi ultraviolets. Ainsi les rayons du Soleil peuvent générer des mutations dans l'ADN des cellules de la peau ;
 - de **nature chimique** : solvants, goudrons, pesticides, plus ou moins mutagènes selon la dose.

Lexique

Agent mutagène : substance ou agent physique augmentant la fréquence de mutation.

Mutation : modification de la séquence en ADN.

Remarque

Juste après la mutation, au niveau du fragment d'ADN concerné, les bases ne sont pas complémentaires. Mais à la réplication suivante, de nouvelles bases, cette fois-ci complémentaires, sont associées à chaque brin. Ainsi dans les cellules filles mutées, la séquence en nucléotides est différente.

2 Le devenir des mutations

A Des systèmes de réparation de l'ADN

- La fréquence des erreurs de lecture lors de la répllication de l'ADN est plus élevée que celle des mutations constatées. Cela s'explique par l'existence d'un système de vérification et de réparation.
- Des enzymes vérifient la séquence des molécules d'ADN répliquées et corrigent les éventuelles erreurs. Ce système de réparation fait disparaître les mutations avant qu'elles ne s'expriment et limite ainsi leur fréquence.

B Des mutations qui se transmettent

- Une mutation est un phénomène aléatoire qui survient théoriquement dans une cellule unique. La mutation est ensuite transmise aux cellules filles au cours de la mitose.
- Les mutations peuvent affecter les cellules **somatiques** ou les cellules **germinales**.
- Les mutations affectant les cellules somatiques se propagent uniquement à l'intérieur de l'organisme.
- Seules les mutations présentes dans les cellules germinales sont susceptibles d'être **transmises à la descendance** par l'intermédiaire des spermatozoïdes et des ovules.
- Dans ce cas, la mutation présente dans la cellule œuf est transmise par mitose à toutes les cellules de l'organisme. Elle peut être à l'origine d'une maladie génétique.

Lexique

Cellules germinales :
gamètes ou cellules à l'origine des gamètes.

Cellules somatiques :
toutes les cellules de l'organisme à l'exception des cellules germinales.

3 Variabilité de l'ADN et biodiversité

- Un gène existe sous plusieurs formes, les **allèles**, qui diffèrent par leur séquence. Ces allèles sont issus d'un gène ancestral qui a subi, lui ou ses descendants, une ou plusieurs mutations.
- Présents dans les cellules germinales, ces allèles sont alors susceptibles de se transmettre de génération en génération.
- Ainsi, des allèles peuvent se répandre dans une population et enrichir la biodiversité.

Le gène porte l'information génétique qui, pour s'exprimer, doit être traduite en protéines, molécules responsables des caractères chez les êtres vivants.

1 Une relation gène-protéine

- Une protéine est une **macromolécule** constituée par l'association de plusieurs **acides aminés** différents
- Une protéine peut être formée de plusieurs chaînes d'acides aminés, chacune étant un polypeptide.
- Les polypeptides se distinguent les uns des autres par leur **enchaînement en acides aminés**. Cet enchaînement spécifique est appelé **séquence**.
- Les protéines jouent un rôle majeur chez les êtres vivants. Elles interviennent dans leur structure comme dans leur fonctionnement.
- Un **gène** est un fragment d'ADN portant l'**information** nécessaire à la synthèse d'une chaîne protéique.
- L'ordre des nucléotides dans le gène définit l'ordre dans lequel se succèdent les acides aminés dans la chaîne protéique.

Lexique

Macromolécule : molécule de grande taille, le plus souvent un polymère.

Polymère : molécule complexe constituée par la succession de molécules simples.

Acide aminé : molécule simple constitutive des protéines et composée de C, H, O et N.

2 L'ARN messager, un intermédiaire entre le gène et la protéine

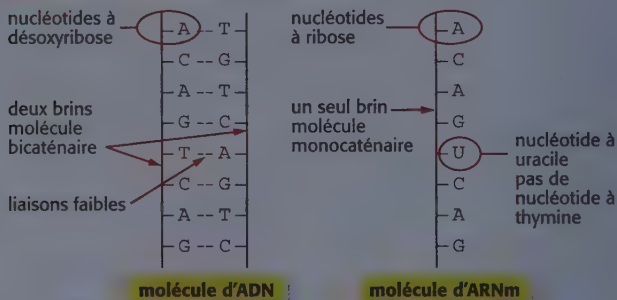
A Un intermédiaire nécessaire

- Grâce au marquage radioactif des acides aminés, on peut localiser la **synthèse des protéines dans le cytoplasme**. Or l'information génétique, portée par l'ADN, est localisée dans le noyau.
- L'ADN, une macromolécule, est incapable de traverser la membrane du noyau pour se déplacer dans le cytoplasme.
- Ces informations laissent supposer qu'il existe un intermédiaire entre l'ADN, porteur de l'information génétique, et la protéine, porteuse des caractères.

B L'ARN, un acide nucléique porteur de l'information génétique

- Dans des conditions expérimentales, une cellule dépourvue d'ADN (ayant perdu son noyau) peut fabriquer des protéines à condition qu'on injecte dans son cytoplasme un autre acide nucléique, l'ARN (acide ribonucléique).
- L'ARN est un acide nucléique formé d'une **seule chaîne** et constitué par l'association de nucléotides dont le sucre est différent de celui de l'ADN (ribose au lieu du désoxyribose). Au nombre de quatre, ces nucléotides se distinguent par leur base azotée : l'adénine, la guanine, la cytosine et l'uracile, cette dernière remplaçant la thymine présente chez l'ADN.

Doc. Comparaison entre l'ADN et l'ARN



- L'ARN a une taille plus courte et une durée de vie plus brève que l'ADN.
- Malgré la présence d'un seul brin, les bases de l'ARN sont capables de s'apparier à d'autres selon les mêmes **lois de la complémentarité**, la guanine avec la cytosine, l'adénine avec l'uracile.
- L'ARN est capable de traverser la membrane du noyau pour passer dans le cytoplasme. Pour cette raison, on le nomme **ARN messager** (ARNm) ou ARN pré-messager selon les cas.

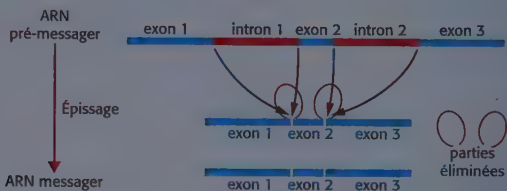
La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant ■ 13

2 La maturation de l'ARN pré-messager en ARN messager

A L'épissage

- Après sa synthèse, l'ARN pré-messager n'est pas directement utilisable. En effet, il est constitué d'une alternance de séquences codantes les **exons**, et de séquences non codantes, les **introns**.
- Les introns sont d'abord éliminés (ou excisés) puis au cours de l'**épissage**, les exons, sont réassociés. L'ARN pré-messager est alors transformé en ARN messager.

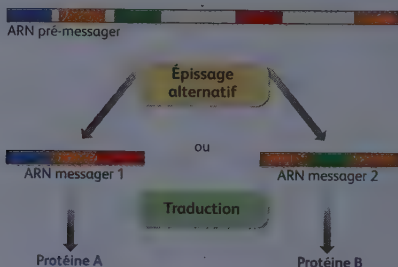
Doc. L'épissage



B Un épissage alternatif

- Selon les cellules, les séquences non codantes d'un même ARN pré-messager ne sont pas les mêmes et l'épissage subi est différent. On parle alors d'**épissage alternatif**.
- Un même ARN pré-messager peut donc donner plusieurs ARN messagers différents. Un même gène peut donc être à l'origine de plusieurs protéines.

Doc. L'épissage alternatif



■ L'ARN messager est traduit en protéine selon le code génétique.

1 Le code génétique, un système de correspondance

- 20 acides aminés entrent dans la composition des protéines tandis que les nucléotides sont au nombre de quatre. Une combinaison de plusieurs nucléotides est donc nécessaire pour coder chaque acide aminé.
- Le **code génétique** fait correspondre un acide aminé à une succession de trois nucléotides d'ARN, appelée **codon**.
- Il existe 64 combinaisons différentes de trois nucléotides (4^3), c'est-à-dire plusieurs codons pour un même acide aminé. Le code génétique est dit **redondant**.
- Par contre, un même codon ne code que pour un seul acide aminé. **Le code génétique n'est pas ambigu.**
- Le code génétique est le même chez tous les êtres vivants. **Il est universel.**

Lexique

Code génétique : système de correspondance entre le langage nucléotidique et les acides aminés.

Codon : suite de trois nucléotides d'ARN correspondant à un acide aminé.

2 Le déroulement de la traduction

- La **traduction** se déroule dans le cytoplasme en présence de deux acteurs principaux : l'ARNm et les **ribosomes**.
- Les ribosomes sont constitués de deux sous-unités qui se fixent sur l'ARNm au niveau d'un codon particulier à partir duquel débute la traduction : le codon initiateur (AUG).
- Le ribosome se déplace le long de l'ARNm et à chaque codon, il **fait correspondre un acide aminé** spécifique.
- Au fur et à mesure que le ribosome glisse le long de l'ARN messager, **la chaîne polypeptidique s'allonge** par l'établissement de liaisons peptidiques entre les acides aminés.
- Il existe trois **codons « STOP »** auxquels ne correspond aucun acide aminé (UAA, UAG et UGA).

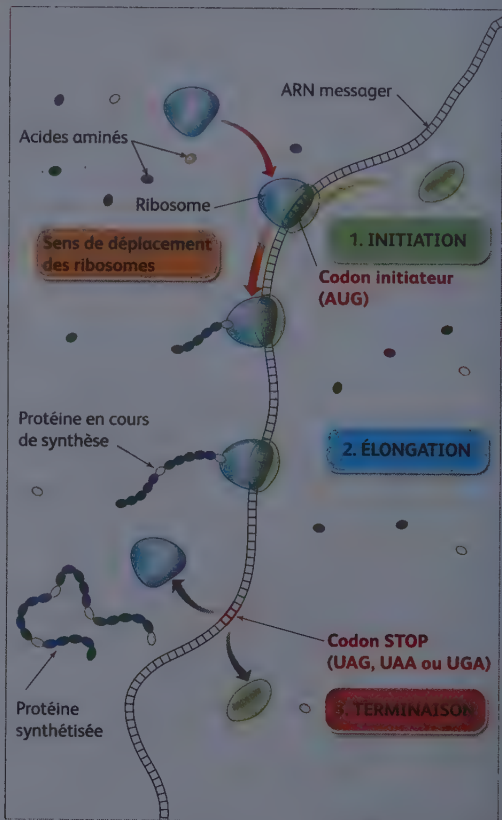
Lexique

Traduction : synthèse d'une chaîne protéique à partir de l'information contenue dans l'ARN messager.

Ribosome : élément cytoplasmique assurant la traduction.

- Lorsqu'un ribosome arrive devant un de ces codons stop, la traduction se termine. Les deux sous-unités des ribosomes se séparent, se décrochent de l'ARN messager et la chaîne polypeptidique est libérée dans le cytoplasme.
- La chaîne polypeptidique peut s'assembler à d'autres pour former une protéine, migrer à l'intérieur ou vers l'extérieur de la cellule.

Doc. La traduction



Le phénotype d'un individu s'exprime à travers ses protéines. Il dépend de l'expression des gènes mais aussi des facteurs de l'environnement.

1 Un phénotype à différentes échelles

A Le phénotype à l'échelle de l'organisme

- Le **phénotype** peut s'étudier à travers l'exemple d'une maladie génétique, la drépanocytose, caractérisée par des signes comme des essoufflements, une grande fatigue.

- Une analyse sanguine révèle une diminution du nombre de globules rouges : c'est une anémie. Des accidents vasculaires, avec hémorragie, peuvent survenir. Ils réduisent l'espérance de vie des sujets atteints.

- L'ensemble de ces signes observables à l'échelle de l'organisme définit le **phénotype macroscopique**.

Lexique

Phénotype : ensemble des caractères d'un individu.

Hématie : globule rouge.

Hémoglobine : pigment présent dans les globules rouges, responsable du transport de dioxygène dans le sang.

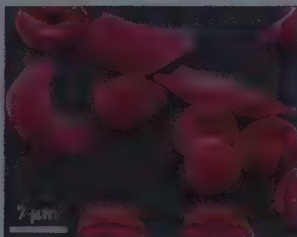
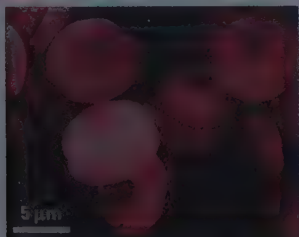
B Le phénotype cellulaire

- Les **hématies** d'un individu atteint de drépanocytose sont déformées, en forme de faucille, d'où le nom d'anémie falciforme donnée à la maladie.

- Le phénotype s'observe donc aussi à l'échelle cellulaire.

- La déformation des hématies provoque des troubles de la circulation et des accidents vasculaires. Ainsi, le **phénotype cellulaire est responsable du phénotype macroscopique**.

Doc. Hématies d'un individu sain et d'un individu drépanocytaire



C Le phénotype moléculaire

- Dans le cas de la drépanocytose, les molécules d'**hémoglobine** s'associent les unes aux autres et constituent des **fibres qui déforment les hématies**. C'est une **variation de la séquence en acides aminés** de l'hémoglobine, qui est responsable des liaisons entre molécules.
- Ainsi, le **phénotype** qui s'observe à l'échelle de la molécule explique les **phénotypes cellulaire et macroscopique**.
- De façon générale, comme dans l'exemple de la drépanocytose, les protéines sont le **support moléculaire du phénotype**.

2 Un phénotype variable selon les cellules

A Phénotype et génotype

- Une mutation, qui entraîne un changement dans la séquence en nucléotides de l'ADN, peut modifier le **génotype** et par conséquent être répercutée dans le phénotype. Le **phénotype résulte de l'expression du génotype**.

Lexique

Génotype : ensemble des gènes portés par les chromosomes, sous leurs différentes formes ou allèles.

B Une expression variable des gènes

- Les cellules de l'organisme sont **différenciées**, spécialisées dans une fonction : elles possèdent des structures et des molécules particulières responsables de leur phénotype.
- Pourtant toutes les cellules renferment le même génotype. Ce paradoxe s'explique par le fait que **seule une partie des gènes s'exprime dans une cellule donnée**.
- Des facteurs internes stimulent l'expression de certains gènes et engagent la cellule dans une voie de différenciation particulière.

3 Une expression des gènes sous l'influence de l'environnement

- Certains gènes au contraire ne sont exprimés que si la cellule reçoit des **signaux externes déclenchant les mécanismes de la transcription**.
- Par exemple, une baisse de la pression atmosphérique et donc de la teneur en oxygène de l'air, entraîne une élévation de la quantité d'hémoglobine et d'hématies dans le sang.
- Des récepteurs situés dans les reins détectent la baisse d'oxygène. En réponse, les cellules rénales sécrètent une hormone, l'EPO qui stimule la différenciation d'hématies dans la moelle osseuse et la production d'hémoglobine.

Au début du XX^e siècle, Wegener s'appuie sur différents arguments pour élaborer la théorie de « la dérive des continents » qui suggère une **mobilité horizontale** des continents.

1 Des arguments liés à l'observation

A Des arguments géologiques

- La **complémentarité des côtes** de l'Amérique du Sud et de l'Afrique suggère que les deux continents auraient pu être réunis dans le passé pour n'en former qu'un seul.
- Par ailleurs, les formations géologiques de ces deux continents, notamment des boucliers anciens et des chaînes de montagnes, montrent une **continuité de part et d'autre de l'océan Atlantique**.

Lexique

Mobilité horizontale : déplacement des continents à la surface du globe.

Paléontologie : étude des fossiles.

Tillites : ensemble de blocs de roches consolidé provenant du déplacement d'un glacier.

B Des arguments paléontologiques

- Des fossiles comme la fougère *Glossoptéris* (–280 à –230 Ma) et différents reptiles, *Mesosaurus*, *Cynognathus* (–250 à –200 Ma), tous continentaux, ont été retrouvés sur les continents actuels, de part et d'autre de l'océan Atlantique.
- Or une espèce ne pouvant apparaître qu'une fois en un seul endroit, Wegener suggère que l'aire de répartition de ces fossiles s'est scindée lors de l'éloignement des continents.

C Les traces d'anciennes glaciations

- Des dépôts glaciaires comme les **tillites**, datés de 250 Ma, sont répartis sur différents continents : Amérique du Sud, Afrique, Inde et Australie.
- Situés à des latitudes éloignées des pôles, ces dépôts pourraient s'expliquer par l'existence à cette époque, d'une unique calotte glaciaire recouvrant la partie sud **d'un supercontinent, la Pangée**, formé par la réunion des continents actuels.

2 Une distribution bimodale des altitudes

- À l'époque de Wegener, on expliquait les correspondances entre continents éloignés par l'effondrement de ponts continentaux. La croûte se serait rétractée en refroidissant provoquant des affaissements où s'installeraient alors les océans.

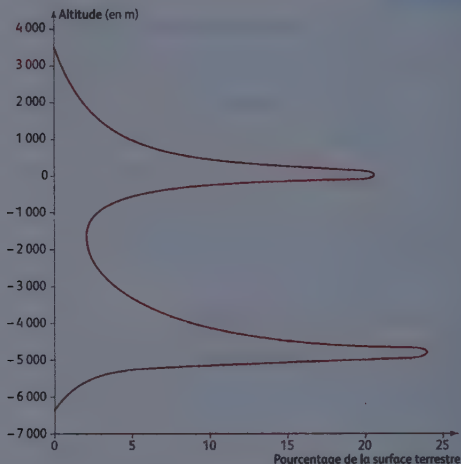
Naissance d'une idée : théorie de la dérive des continents

Lexique

Courbe bimodale : courbe présentant deux pics, ce qui indique l'existence de deux catégories distinctes pour la variable-mesurée.

- L'analyse statistique des altitudes à la surface du globe montre une répartition selon une **courbe bimodale**.

Doc. Une distribution bimodale des altitudes



- Selon la théorie des effondrements aléatoires, la courbe ne devrait présenter qu'un seul maximum, les reliefs s'étant constitués au hasard.
- La distribution bimodale des altitudes suggère au contraire une **différence de nature entre océans et continents**.
- Wegener suggère que la croûte continentale est constituée d'un matériau léger qui flotte sur une couche plus dense, la croûte océanique. Selon lui, les continents se déplacent horizontalement en flottant sur les océans.

3 Une théorie qui ne réussit pas à s'imposer

- La théorie de Wegener est néanmoins presque unanimement rejetée. En effet, il ne propose aucun moteur satisfaisant expliquant le déplacement des continents.
- Mais surtout, sa théorie est en contradiction avec le fait, établi à l'époque, que le globe terrestre est principalement constitué de matière à l'état solide.

Au début du XX^e siècle, les apports de la sismologie renseignent sur la structure interne du globe. L'état solide de la quasi-totalité du globe est ainsi établi.

1 La propagation des ondes sismiques dans le globe

A Une propagation dans toutes les directions

- Au cours d'un séisme, des **ondes sismiques** se propagent à partir d'un point situé en profondeur, le foyer, au niveau duquel il y a eu rupture de la roche. Quelle que soit la localisation du **foyer**, on recueille des ondes dans des stations d'enregistrement réparties sur toute la surface du globe.

- Ainsi, **les ondes se propagent dans toutes les directions** à l'intérieur du globe. Par ailleurs, plus la station est éloignée, plus les ondes ont circulé en profondeur pour y arriver.

- Sur un **sismogramme**, on peut observer trois types d'ondes. Parmi celles-ci, on distingue **les ondes P**, des ondes longitudinales de compression et **les ondes S**, des ondes transversales de cisaillement, **incapables de se propager dans fluides**. Les ondes L sont des ondes de surface qui n'apportent pas d'information sur la structure interne du globe.

Lexique

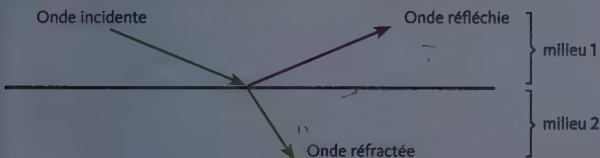
Ondes sismiques : vibrations qui se propagent dans les roches de proche en proche à la suite d'une brusque libération d'énergie.

Sismogramme : enregistrement des ondes sismiques.

B Un comportement différent selon les roches traversées

- La **vitesse des ondes dépend de la nature des matériaux traversés**.
- Un **brusque changement de vitesse** traduit l'existence d'une **discontinuité**, c'est-à-dire un changement de milieu. L'onde change alors de direction : elle est simultanément **réfléchie** vers la surface et **réfractée**, c'est-à-dire déviée en profondeur.

Doc. Trajet des ondes sismiques dans des milieux différents



Lexique

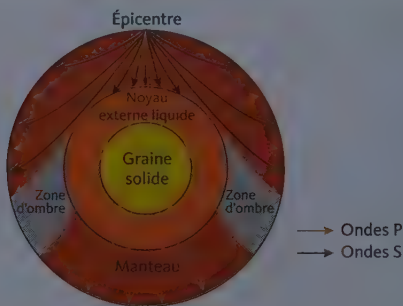
Épicentre : zone de la surface située à la verticale du foyer.

Zone d'ombre : zone de la surface terrestre au niveau de laquelle aucune onde n'est enregistrée.

2 Un globe presque entièrement solide

- Au début du XX^e siècle, le sismologue Gutenberg met en évidence pour chaque séisme deux « **zones d'ombre** sismique » symétriques, situées entre 11 500 et 14 500 km de l'**épicentre**.
- Il en déduit l'existence d'une **importante discontinuité** au niveau de laquelle les ondes sont réfractées.
- La symétrie de ces zones d'ombre, constatée pour chaque séisme, s'interprète par l'existence d'un **noyau interne sphérique**.
- Des observations indiquent que les ondes P ralentissent en traversant le noyau. Par ailleurs, les ondes S ne le traversent pas. Ceci permet de conclure à l'existence d'un **noyau externe liquide**. La présence d'une graine solide sera établie plus tardivement.
- En revanche, la **partie externe du globe est solide jusqu'à 2 900 km de profondeur**.

Doc. La structure du globe établie grâce aux ondes sismiques



3 Une croûte superficielle

- En 1903 à la suite d'un séisme produit à Zagreb, le géophysicien croate André Mohorovicic observe successivement l'arrivée de deux trains d'ondes P à la même station. Les ondes P ont donc suivi deux trajets distincts.
- Il conclut à l'existence d'une **surface de discontinuité** au niveau de laquelle les ondes sont réfléchies et réfractées. Celle-ci, qui **sépare la croûte superficielle du manteau**, sera baptisée le **Moho**.

Selon Wegener, les continents se distinguent fondamentalement des océans. Les données sismiques et **pétrographiques** confirment cette supposition.

Lexique

Pétrographie : étude des roches.

Sismique réflexion : technique qui consiste à émettre des ondes sismiques dans la croûte puis à les recueillir après leur traversée et leur réflexion afin d'obtenir des informations sur les couches rencontrées.

1 Deux types de croûtes

● Les techniques de **sismique réflexion** indiquent que le Moho se trouve en moyenne à 30 km sous les continents. Il peut atteindre 70 km de profondeur sous les chaînes de montagnes. Sous les océans, le Moho se situe entre 7 à 12 km. **La croûte océanique est donc moins épaisse que la croûte continentale.**

● La vitesse des ondes P est plus faible dans la croûte continentale ($6 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$) que dans la croûte océanique ($7 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$). **Les deux croûtes sont constituées de roches différentes.**

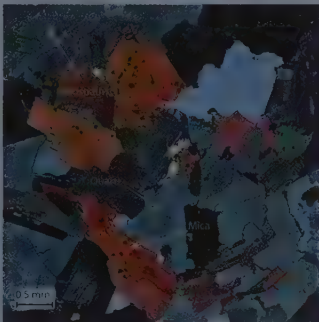
2 Les roches de la croûte terrestre

A La croûte continentale

● La croûte continentale se compose d'une **couverture de roches sédimentaires** et d'un **socle constitué de roches cristallisées** (roches magmatiques et métamorphiques).

● Le socle est principalement constitué de **granite**, une roche grenue, c'est-à-dire **entièrement cristallisée**. Les cristaux, visibles à l'œil nu, sont jointifs.

● Le granite est essentiellement composé de **quartz** et de **feldspaths** (plagioclase et/ou orthose). Il contient également du mica et de l'amphibole.



Doc. Lame mince de granite observée au microscope polarisant

B La croûte océanique

- Elle est composée d'une couche de sédiments d'épaisseur variable sous laquelle on trouve du basalte, puis, plus en profondeur, du gabbro.
- Le **basalte** présente des cristaux microscopiques ou **microlites noyés dans un verre**. Il contient également quelque rares **phénocristaux**.
- Le **gabbro est une roche entièrement cristallisée**, composée de feldspaths (plagioclases), de pyroxènes et d'olivine.
- **Basalte et gabbro, de même composition minéralogique**, ont donc une composition chimique identique.

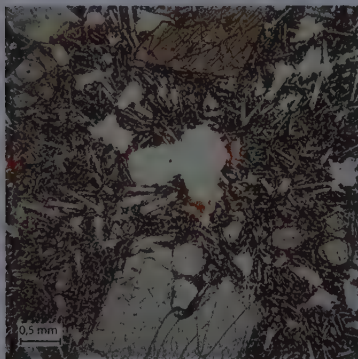
Lexique

Verre : pâte non cristallisée.

Phénocristaux : cristaux visibles à l'œil nu.

C Des croûtes constituées de roches magmatiques

- Granite, basalte et gabbro sont des roches cristallisées. Elles se sont formées à partir du refroidissement d'un magma. Ce sont des **roches magmatiques**.
- Granite et gabbro sont entièrement cristallisés. Les cristaux de grande taille ont eu le temps de se former. Ce sont des roches **magmatiques plutoniques** qui résultent d'un **refroidissement lent en profondeur**.
- Dans le basalte, la **présence de verre** indique un refroidissement rapide en surface. C'est une roche **magmatique volcanique**.



Doc. Lame mince de basalte observée au microscope polarisant

3 Sous la croûte, le manteau

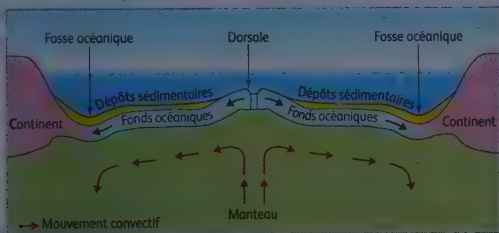
- Sous la croûte se trouve le manteau, constitué de **péridotite**.
- La péridotite est une roche entièrement cristallisée formée de cristaux d'olivine et de pyroxène.

Au début des années 1960, des découvertes concernant le plancher océanique donnent un éclairage nouveau à la mobilité horizontale des continents.

1 L'hypothèse du « double tapis roulant »

- Au début des années 1950, l'exploration des fonds marins révèle la **continuité des dorsales océaniques**. Ces énormes reliefs culminent à 2 500 m au-dessus du fond et s'étendent sur plus de 65 000 km.
- Les dorsales se caractérisent par une **activité sismique et volcanique**, et par un **flux de chaleur élevé**.
- En 1962, Harry Hess, géologue américain, suppose qu'au niveau des dorsales une remontée de matière profonde et chaude permet la **formation continue de plancher océanique** et ainsi l'**expansion océanique**.
- Il suppose par ailleurs que la croûte océanique nouvellement créée s'éloigne de part et d'autre de la dorsale pour **s'enfouir en profondeur** au niveau des **fosses**, des zones où la profondeur de l'océan est maximale. C'est l'hypothèse du « double tapis roulant ».

Doc. L'hypothèse de Hess : le double tapis roulant



2 Une confirmation avec la cartographie magnétique des océans

A Le profil magnétique du fond des océans

- À la fin des années 1950, des mesures du champ magnétique du fond des océans montrent des **bandes d'anomalies magnétiques** alternativement positives et négatives, parallèles et symétriques de part et d'autre de la dorsale.

- Une **anomalie magnétique** est due à la superposition du champ magnétique fossile enregistré par le basalte au moment de sa mise en place et du champ magnétique actuel.

- Lorsque le champ magnétique de l'époque était **inverse** de l'actuel, les deux intensités se soustraient et une **anomalie négative** est enregistrée.

Dans le cas contraire, les deux intensités s'additionnent, l'anomalie est positive.

B L'interprétation

- La **symétrie** des anomalies par rapport à la dorsale suggère que deux bandes de basalte situées de part et d'autre de la dorsale et à la même distance se sont mises en place au même moment.

- La datation des anomalies magnétiques indique que **l'âge du basalte augmente avec la distance à la dorsale**.

- Ces données confirment l'hypothèse de Hess. Du basalte se met en place à la dorsale puis s'en éloigne de part et d'autre au fur et à mesure qu'une nouvelle bande de basalte se forme. Ainsi, la surface du plancher océanique s'accroît : c'est **l'accrétion océanique**.

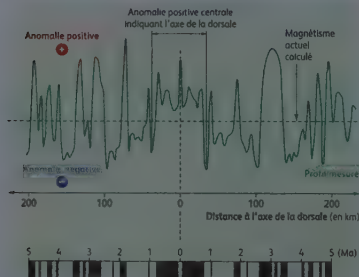
Lexique

Anomalie magnétique : valeur mesurée du champ magnétique supérieure ou inférieure à la valeur moyenne du champ magnétique terrestre.

Remarque

Régulièrement, le champ magnétique subit des inversions.

Doc. Le profil magnétique du fond des océans



C La vitesse d'expansion océanique

- Pour estimer la **vitesse de divergence** du basalte à partir de la dorsale, on applique la formule $v = \frac{d}{t}$ (avec d la distance à la dorsale, t l'âge du basalte, indiqué par l'âge de l'inversion magnétique).

- Comme le basalte est mis en place de part et d'autre de la dorsale, la **vitesse d'expansion est le double de la vitesse de divergence**.

En 1962, Hess prétend que des mouvements convectifs dans le manteau entraînent le plancher océanique sous la surface. Des données sismiques vont confirmer cette hypothèse et préciser la structure de la couche plongeante.

1 Les fosses, des zones sismiquement actives

- Les fosses océaniques qui sont les régions les plus profondes des océans (11 km pour la fosse des Mariannes dans le Pacifique) se caractérisent par une activité sismique intense. Ainsi, l'**arc insulaire** du Japon, situé en bordure d'une fosse océanique est affecté de nombreux séismes.

- La distribution des **foyers sismiques** montre que leur profondeur augmente avec la distance à la fosse. Ils se **répartissent selon un plan incliné (le plan de Wadati-Benioff)**.

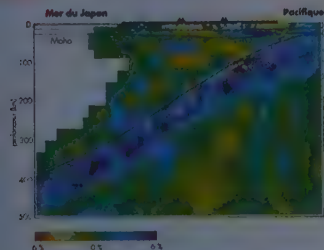
- Par ailleurs, les données obtenues par **tomographie sismique** indiquent que la vitesse des ondes sismiques dans le manteau varie de part et d'autre du plan de Benioff. Les ondes qui se propagent le long de ce plan ont une vitesse plus élevée que celles qui s'en écartent.

Lexique

Arc insulaire : chapelet d'îles disposées en forme d'arc.

Tomographie sismique : méthode basée sur la mesure de la vitesse des ondes sismiques et donnant des informations sur les couches profondes du globe.

Doc. Tomographie sismique sous l'arc insulaire du Japon



Remarque

Les points blancs indiquent la localisation des foyers sismiques. L'échelle donne les anomalies de vitesse par rapport à celle calculée dans le manteau.

2 Les fosses, des zones de subduction

- Les séismes se produisent par rupture brutale des roches et n'affectent donc que des matériaux rigides. L'inclinaison du plan de distribution des foyers sismiques s'interprète comme la **plongée en profondeur d'un matériau rigide et cassant**.

- Les données de la tomographie sismique permettent d'estimer l'épaisseur de cette couche plongeante à une centaine de km. En effet, les ondes sont ralenties lorsqu'elles passent dans un matériau moins rigide.

- Une fosse océanique correspond donc à une dépression formée lors de l'enfoncement ou **subduction** du plancher océanique dans le manteau.

Ce sont les frottements dus à l'enfoncement de la couche plongeante qui sont à l'origine des séismes.

Lexique

Subduction : enfoncement en profondeur du plancher océanique au niveau des fosses océaniques.

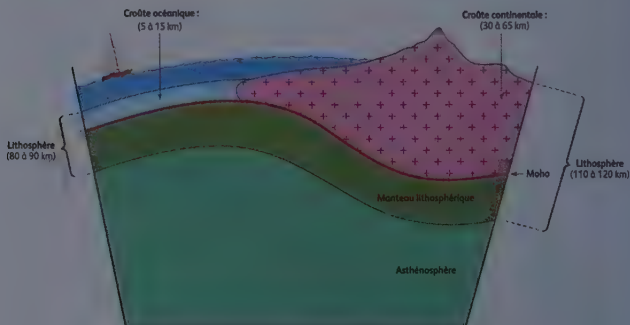
Lithosphère : couche superficielle du globe, rigide et cassante, constituée de la croûte et d'une partie du manteau.

Isotherme : ligne virtuelle le long de laquelle la température est la même.

3 Lithosphère et asthénosphère

- Dans les zones de subduction, la couche plongeante a une épaisseur de 100 km : elle correspond donc à la croûte et une partie du manteau. On appelle **lithosphère** cette partie superficielle du globe caractérisée par sa rigidité.

Doc. Les couches superficielles de la Terre



- Sous la lithosphère, le manteau moins rigide constitue l'**asthénosphère**. Son épaisseur peut être déterminée par l'étude des vitesses des ondes sismiques. L'asthénosphère est une zone de ralentissement des ondes, la LVZ (*low velocity zone*).

- La frontière entre la lithosphère et l'asthénosphère est une **limite thermique** marquée par l'**isotherme 1 300 °C**. Elle ne correspond pas à un changement de composition chimique mais à une différence physique.

À la fin des années 1960, l'ensemble des découvertes s'intègrent dans un modèle cohérent qui explique la mobilité horizontale des continents : la tectonique des plaques.

1 La surface de la Terre découpée en plaques

- Selon le modèle élaboré en 1968 par Xavier le Pichon, la lithosphère est découpée en **plaques** qui se déplacent à la surface de la terre : c'est le modèle de « la **tectonique** des plaques ».

- Une plaque est une vaste portion de lithosphère limitée par une zone d'activité sismique et volcanique.

- Le modèle, initialement à 6 plaques, a évolué et on dénombre actuellement une douzaine de plaques. Certaines comme la plaque Pacifique sont constituées uniquement de lithosphère océanique, d'autres comme la plaque africaine comportent à la fois de la lithosphère océanique et continentale. Aucune plaque n'est uniquement continentale.

Lexique

Plaque : portion de lithosphère en mouvement.

Tectonique : étude des déformations relatives aux mouvements.

2 Le mouvement des plaques

A Les dorsales, des frontières de divergence

- Au niveau des dorsales, la lithosphère océanique créée s'éloigne de part et d'autre au fur et à mesure qu'elle s'accroît.

- **Les plaques divergent au niveau des dorsales.** Ce sont des zones en extension caractérisées par la présence de **failles normales**.

Remarque

Les failles normales résultent de contraintes extensives. Les failles inverses au contraire sont dues à une compression.

B Les fosses, des frontières de convergence

- Au niveau des fosses, la subduction de la lithosphère océanique entraîne la **convergence** des plaques plongeante et chevauchante.

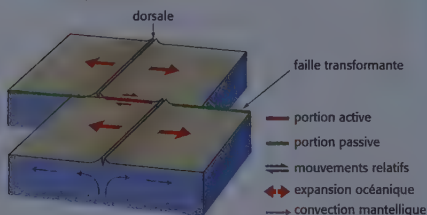
- À la limite des deux plaques convergentes, on observe des déformations des roches liées à une **compression** comme des failles inverses et des plis.

C Les failles transformantes

- D'autres limites de plaques correspondent à des **failles transformantes**, au niveau desquelles il n'y a ni création ni résorption de lithosphère, mais **coulissement** entre deux plaques.

- En décalant l'axe des dorsales, elles permettent la rotation des plaques rigides sur la surface sphérique du globe.

Doc. Failles transformantes et mouvement des plaques



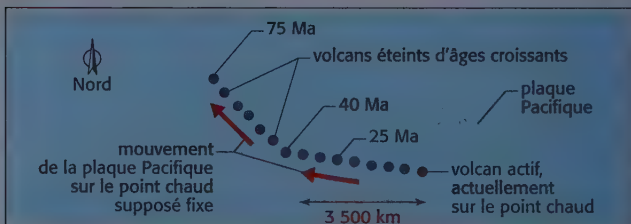
Remarque

La faille de San Andreas située en Californie est une faille transformante qui présente une importante activité sismique. Localisée entre la plaque Pacifique et la plaque Amérique, elle relie deux dorsales.

3 Le volcanisme intraplaque

- Dans l'océan Pacifique, on observe des **alignements d'îles volcaniques d'âge croissant** d'une extrémité à l'autre. Seuls les volcans d'une extrémité sont encore actifs.
- On interprète ce volcanisme comme résultant de l'**activité d'un point chaud**, c'est-à-dire une remontée de magma d'origine profonde dont la **localisation est fixe**. Ainsi, au fur et à mesure du déplacement de la lithosphère océanique au-dessus du point chaud, il se forme des volcans.

Doc. Le déplacement de la plaque Pacifique sur le point chaud d'Hawaï



- Le déplacement de la plaque peut ainsi être reconstitué, et sa vitesse de déplacement évaluée selon la formule $v = \frac{d}{t}$ (avec t l'âge d'un volcan, d la distance au volcan en activité, situé au-dessus du point chaud).

Des progrès techniques permettent non seulement de confirmer la validité du modèle de la tectonique des plaques mais aussi de mesurer leur déplacement en temps réel.

1 Les données des forages océaniques

- À partir de 1968, des forages réalisés à grande profondeur sur les fonds océaniques remontent des **carottes de sédiments**.

- La datation des sédiments, réalisée grâce aux fossiles qu'ils contiennent, indique que **l'âge des sédiments au contact du basalte augmente avec la distance à la dorsale**. Conformément au modèle de l'expansion océanique, le basalte est donc de plus en plus ancien au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la dorsale.

- Comme prévu par le modèle de l'expansion océanique, les sédiments sont disposés en **bandes parallèles et symétriques** de part et d'autre de la dorsale. Leur épaisseur augmente au fur et à mesure qu'on s'en éloigne.

- Les données sédimentaires indiquent une vitesse d'expansion conforme à celle obtenue grâce aux données paléomagnétiques. Elle est de l'ordre de $2 \text{ cm} \cdot \text{an}^{-1}$ pour la dorsale Atlantique et peut atteindre $18 \text{ cm} \cdot \text{an}^{-1}$ comme pour la dorsale nord Pacifique.

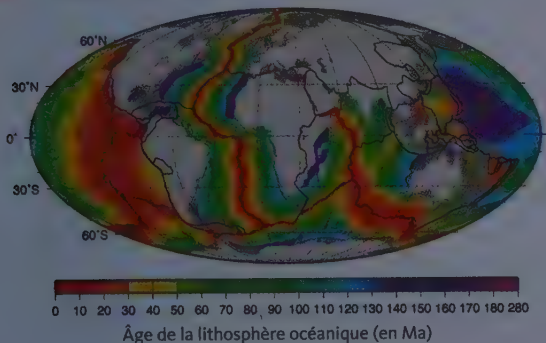
Lexique

Carotte de sédiments :
échantillon cylindrique de sédiments prélevé par forage.

Remarque

L'âge d'un sédiment au contact du basalte et sa distance à la dorsale permettent de déterminer une vitesse d'expansion.

Doc. Carte mondiale de l'âge des sédiments océaniques

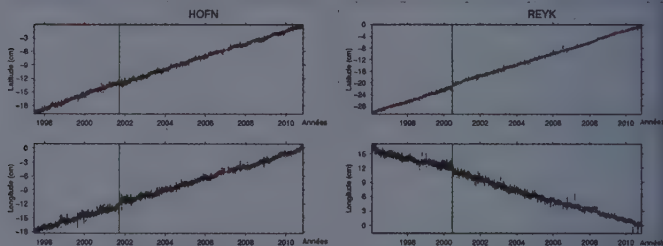


2 La mobilité des plaques confirmée par les données GPS

A La mesure par GPS du déplacement des plaques

- Depuis la fin du XX^e siècle, il est possible de mesurer en temps réel le déplacement des plaques par satellite grâce à la méthode **GPS**.
- Des balises situées au sol captent des signaux émis par des satellites, ce qui permet d'établir leur position à quelques millimètres près. Le déplacement en **latitude** et en **longitude** de différentes stations est mesuré en temps réel.

Doc. Déplacement de deux stations situées de part et d'autre de la dorsale islandaise



- Un déplacement positif en latitude indique un déplacement vers le nord (un négatif vers le sud). Un déplacement positif en longitude correspond à un déplacement vers l'est (un négatif vers l'ouest). Le déplacement global est la résultante des déplacements en latitude et en longitude.

B Des résultats conformes au modèle

- Les données GPS confirment le déplacement des plaques conformément au modèle. Ainsi, les deux stations situées de part et d'autre de la dorsale en Islande s'éloignent.
- Les vitesses de déplacement des plaques obtenues par GPS correspondent à celles déterminées par d'autres méthodes, notamment celle basée sur le volcanisme de point chaud.

Lexique

GPS (global positioning system) : méthode permettant d'établir les coordonnées géographiques d'un point avec une grande précision.

Latitude : elle définit une position nord-sud, entre les deux pôles.

Longitude : elle définit une position ouest-est.

Remarque

Les données GPS montrent que la station Hofn se dirige vers le nord-est tandis que la station Reyk se dirige vers le nord-ouest. La divergence entre deux plaques limitées par la dorsale islandaise est ainsi confirmée.

La production de lithosphère océanique réalisée au niveau des dorsales est compensée par sa résorption au niveau des zones de subduction.

1 Les dorsales, des zones de production de magma

A Un flux de matière ascendant sous les dorsales

- La tomographie sismique montre une anomalie négative au niveau des dorsales et un flux thermique élevé.
- Ces données s'interprètent comme la remontée d'asthénosphère sous les dorsales.

B La formation de magma

- L'état, solide, partiellement fondu ou liquide, de la péridotite du manteau dépend des conditions de **pression** et de **température**. Le **solidus** sépare le domaine de température et de pression correspondant à l'état solide de celui où la roche subit une **fusion partielle**.
- En remontant, l'asthénosphère subit une **décompression** et la péridotite franchit alors son solidus. Elle fond partiellement pour donner naissance à un magma.

Doc. L'état de la péridotite en fonction de la température et de la pression

Lexique

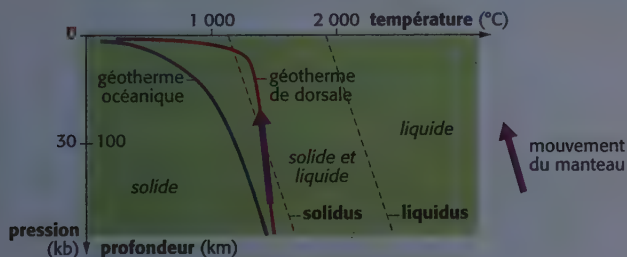
Magma : liquide provenant de la fusion d'une roche.

Solidus : courbe correspondant aux conditions minimales de température et de pression permettant la fusion partielle.

Décompression : baisse de pression.

Remarque

Une fusion peut se produire par augmentation de température mais aussi par baisse de pression. C'est le cas sous la dorsale.



2 Du magma aux roches de la lithosphère océanique

A Un magma de composition basaltique

- Lors de la fusion partielle de la péridotite du manteau, les premiers minéraux à fondre sont les plagioclases et les pyroxènes.
- Ils donnent naissance à un liquide de composition basaltique.
- Celui-ci plus léger remonte dans les fissures du manteau et s'accumule dans la chambre magmatique.

B Les roches formées

- Une partie du magma remonte rapidement en surface où il **refroidit rapidement** sans cristalliser. Il donne naissance au **basalte**.
- Le **gabbro** se forme en profondeur, sous le basalte, par **refroidissement lent du magma**.
- Sous le gabbro, la péridotite résiduelle correspond à la **péridotite source** après extraction du liquide de composition basaltique riche en Al et Ca, pauvre en Mg. Elle est donc appauvrie en Al et Ca par rapport à la péridotite source et proportionnellement enrichie en Mg.

3 La subduction et la résorption de la lithosphère

- Au fur et à mesure du fonctionnement de la dorsale, la **lithosphère océanique** qui s'accroît **se refroidit** au contact de l'eau de mer.
- Parallèlement, **elle s'épaissit** par abaissement de l'isotherme 1 300 °C qui la sépare de l'asthénosphère. En même temps, **sa densité augmente**.
- Lorsqu'elle atteint une **densité suffisamment élevée**, la lithosphère océanique âgée plonge dans l'asthénosphère : c'est la **subduction**.

Doc. Le renouvellement de la lithosphère océanique



La formation des gisements d'hydrocarbures dépend d'un ensemble de conditions assez peu souvent réunies, d'où leur rareté.

1 Des hydrocarbures provenant de la matière organique

A Une accumulation de plancton

- Les **hydrocarbures** se forment à partir de l'accumulation en milieu marin de la **matière organique du plancton**.
- Une fois mort, celui-ci s'accumule sur le fond, puis au cours de son enfouissement progressif la **matière organique** qui le constitue **n'est pas dégradée** mais transformée en hydrocarbures.

B Une conservation de la matière organique

- Les conditions de formation des gisements d'hydrocarbures sont souvent réunies au niveau des **marges continentales passives**. C'est là que le plancton est le plus important et que les conditions de conservation de la matière organique sont les meilleurs.
- Les marges continentales passives résultent de la **fracturation d'un continent**, c'est-à-dire la formation d'un **rift**, premier stade de **formation d'un océan**. À leur niveau, la croûte continentale soumise à des forces de **distension** se fracture et s'enfonce par **subsidence** tandis qu'elle est recouverte par la mer.
- Des **failles normales apparaissent** le long desquelles des blocs de croûte, les **blocs basculés**, s'enfoncent progressivement, entraînant les sédiments qui les recouvrent. Avec l'expansion de l'océan, les deux marges passives s'éloignent l'une de l'autre.
- On distingue dans une marge passive les **sédiments ante-rift**, présents avant le basculement, les **sédiments syn-rift** en forme d'éventail déposés pendant le mouvement et les **sédiments post-rift** déposés après le basculement.
- Les hydrocarbures se forment dans les sédiments syn-rift. En effet, du fait de leur **enfouissement permanent**, la matière organique, maintenue à l'abri de l'air, **n'est pas dégradée**.

Lexique

Hydrocarbures :

combustibles exclusivement composés de carbone et d'hydrogène (gaz, pétrole).

Plancton : animaux et

végétaux de petite taille, flottant à la surface de l'eau.

Marge continentale passive :

zone de transition entre océan et continent, différente d'une zone de subduction.

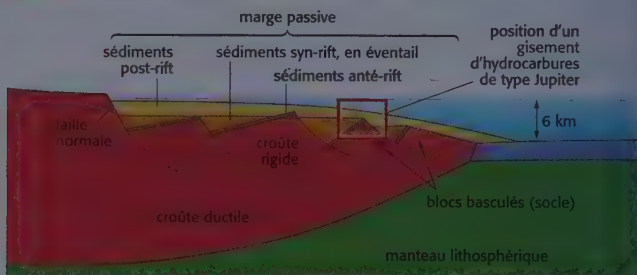
Rift : fossé d'effondrement.

Subsidence : affaissement progressif de la lithosphère.

C La formation et l'accumulation des hydrocarbures

- Une fois enfouie, la matière organique se transforme en hydrocarbures seulement si elle rencontre des conditions physiques favorables, correspondant à une plage de **température et de pression adéquates**. Ces transformations ont lieu à l'intérieur d'une couche de roche appelée « **roche mère** ».
- Comme les hydrocarbures, liquides, ont une densité plus faible que l'eau qui imprègne les roches environnantes, ils ont tendance à migrer jusqu'à être stoppés par une couche imperméable associée à une **structure géologique, pli ou faille, qui les piège**. Ils sont alors retenus dans une « **roche réservoir** » où ils forment le gisement.

Doc. Les éléments d'une marge continentale passive



2 Des périodes favorables à la formation des gisements

- Au cours de l'histoire de la Terre, les gisements d'hydrocarbures se sont formés principalement à certaines périodes géologiques.
- Elles correspondent à des avancées de la mer, appelées aussi **transgressions**. Pendant celles-ci, le niveau marin s'élève et la mer avance sur la bordure des continents.
- Les transgressions correspondent à une augmentation de l'étendue de la tranche d'eau côtière, avec pour conséquence un **volume planctonique plus important**, tout comme le dépôt de matière organique.

La formation des gisements d'hydrocarbures dépend des conditions géologiques liées à la tectonique. Leur connaissance permet de rechercher ces gisements de manière plus efficace.

1 Les étapes de l'ouverture océanique et la formation des gisements d'hydrocarbures

A Le stade rift continental

- La naissance d'un océan débute avec la fracturation continentale. C'est le **stade rift continental**.
- Des **dépressions se forment** dans lesquelles **s'accumule de la matière organique** végétale qui s'intercale avec des sédiments sableux et carbonatés. Une fois enfouie, elle échappe à la dégradation et se transforme en hydrocarbures.

B Le stade bassin océanique étroit

- L'écartement des deux continents donne naissance à des bassins océaniques qui de temps à autres sont reliés à la mer.
- Lorsqu'ils s'isolent de celle-ci, l'eau s'évapore, des **dépôts de sels se forment et piègent de la matière organique** qui sera transformée en hydrocarbures.

C Le stade bassin océanique

- Lorsque le bassin océanique continue à s'élargir, il reste en permanence rempli par de l'eau de mer. Des roches marines comme les marnes ou les argiles se forment.
- Dans un bassin étroit, les **conditions anoxiques**, dues au **faible brassage de l'eau** favorisent la formation d'hydrocarbures. Au-delà d'une certaine largeur, l'oxygénation de l'eau favorise la dégradation de la matière organique.

Lexique

Anoxique : privé de dioxygène.

Delta : région où un fleuve se jette dans la mer.

D Le dépôt dans les deltas

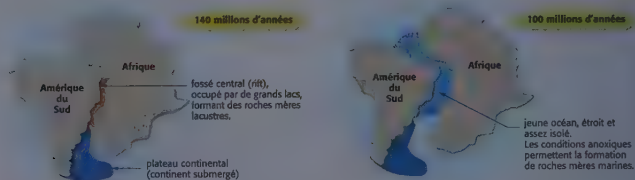
- Même lorsque l'océan est largement ouvert, l'apport de matière organique peut continuer depuis le continent.
- La végétation charriée par les cours d'eau s'accumule dans les **deltas**. La croûte océanique au niveau des marges, plus ancienne et de **densité plus élevée**, a **tendance à s'enfoncer**, ce qui permet l'accumulation de puissantes masses de sédiments et en même temps de matière organique.

2 Utiliser la tectonique pour la prospection pétrolière

A Les principes

- Les différents stades de la formation d'un océan peuvent être identifiés à partir des sédiments présents.
- Ils sont alors l'indice d'un possible gisement d'hydrocarbures. Ainsi, les connaissances sur la tectonique des plaques permettent la prospection pétrolière.

Doc. Deux stades de formation de gisements d'hydrocarbures au cours de l'ouverture de l'océan Atlantique



B Quelques gisements en rapport avec la tectonique des plaques

- Avec l'Arabie Saoudite, le Koweït, l'Irak et d'autres pays, le Moyen-Orient est une des premières régions productrices de pétrole. Ses gisements se sont mis en place à l'ère Secondaire.
- À la fin de l'ère Primaire, tous les continents sont réunis en un seul, la **Pangée**, qui commence à se disloquer au début de l'ère Secondaire. Un vaste océan, la Téthys, sépare alors deux sous-continentes.
- Pendant l'ère Secondaire, les importantes **transgressions marines**, l'élévation de la température ainsi que celle du taux de dioxyde de carbone, favorisent le **développement d'un abondant plancton marin**.
- La configuration de la côte arabique est telle que les courants marins, de faible intensité, ne parviennent à renouveler l'eau que faiblement, d'où sa **faible oxygénation** favorable à la formation d'hydrocarbures.

Lue Relue Apprise

La structure géologique du Bassin de Paris a rendu possible la formation de quelques rares gisements de pétrole.

1 Le Bassin de Paris, un bassin sédimentaire

A Une structure en couches empilées

- Le Bassin de Paris est une structure géologique constituée de **couches sédimentaires empilées**, les unes sur les autres, de nature principalement calcaire.
- L'ensemble forme une vaste cuvette dont la profondeur maximale atteint les 3 000 m.
- Vu sur une carte, le Bassin de Paris forme un ensemble d'auréoles concentriques, les couches les plus jeunes situées au centre, les plus anciennes à la périphérie. Cet aspect s'explique par la superposition des couches géologiques : l'érosion des couches les plus jeunes et les plus superficielles a permis aux couches plus anciennes d'**affleurer**.

Lexique

Affleurer : apparaître en surface, directement sous le sol.

B Des roches sédimentaires variées

- Le Bassin de Paris repose sur un socle cristallin ancien (antérieur à 250 millions d'années).
- Au-dessus, se trouvent des roches sédimentaires, calcaires, sables, argiles contenant des fossiles marins et pour certaines, lacustres ou continentaux.
- L'alternance de fossiles marins, lacustres et continentaux indique des variations du niveau marin à cette époque.
- D'autres roches sédimentaires de type carboné sont aussi présentes : ce sont des roches pétrolifères. Depuis environ un demi-siècle, 2 000 puits ont été forés et produisent 10 000 barils de pétrole par jour.
- Ces ressources commencent à être épuisées mais d'autres, telles les gaz de schiste ont été découvertes. On évalue leur quantité totale entre 60 et 100 milliards de barils de pétrole.
- Leur exploitation reste aujourd'hui interdite en raison des effets sur l'environnement occasionnés par les méthodes utilisées telles que la fracturation hydraulique.

2 Les gisements d'hydrocarbures et leur mise en place

A Des structures géologiques favorables

- La présence de pétrole dans le Bassin Parisien est rendue possible par la présence de **structures géologiques qui ont piégé les hydrocarbures** après leur formation.
- Le premier à avoir été exploité, le gisement de Coulommies en Seine et Marne, est constitué d'une **roche mère argileuse** dans laquelle s'est déposée la matière organique.
- La forme de double dôme du gisement a permis dans sa partie concave de piéger les hydrocarbures qui remontaient après leur formation. C'est là qu'ils sont exploités.

B La mise en place du gisement d'hydrocarbures

- Au cours de son histoire, le Bassin de Paris a été affecté par un phénomène de distension et le **début de la formation de rift**. La distension a entraîné le phénomène de **subsidence** par lequel les couches s'enfoncent au fur et à mesure de leur dépôt.
 - La subsidence permet alors l'enfouissement de la matière organique et le dépôt de nouveaux sédiments.
- La formation du rift dans le Bassin de Paris s'interrompt avant la fracturation du continent et la formation d'un océan. Il s'agit d'un rift avorté.

Doc. Relation entre subsidence et tectonique des plaques



À l'intérieur d'un écosystème, la matière et l'énergie circulent d'un individu à l'autre à travers les relations alimentaires. La matière y est transformée, passant de l'état minéral à organique et vice versa.

1 Des communautés d'êtres vivants organisés en écosystèmes

A Un écosystème : un biotope et une biocénose

- Les êtres vivants sont organisés en **populations** à l'intérieur d'un écosystème.
- Un **écosystème** est constitué d'un **biotope**, ensemble de caractéristiques physiques, et d'une **biocénose**, ensemble des êtres vivants.
- **Biotope et biocénose interagissent l'un sur l'autre.** Le biotope n'autorise la présence que de certaines espèces dont les exigences sont compatibles avec les conditions physiques (eau, température, nature du sol...).
- Les êtres vivants modifient les conditions de vie du milieu. La présence d'arbres par exemple diminue la température au sol en filtrant les rayons du soleil et augmente l'humidité de l'air.

B Des relations alimentaires entre les êtres vivants

- Les espèces établissent entre elles des relations alimentaires qu'on représente sous forme de chaînes, les **chaînes alimentaires**.
- Une espèce appartient le plus souvent à plusieurs chaînes qui sont alors connectées entre elles. L'ensemble de ces chaînes forme un **réseau trophique**.

Lexique

Population : ensemble d'êtres vivants d'une espèce occupant un même milieu.

Écosystème : ensemble formé par l'association d'une biocénose et d'un biotope.

Réseau trophique : ensemble de chaînes alimentaires interconnectées au sein d'un écosystème.

Remarque

L'interconnexion des chaînes alimentaires rend les êtres vivants dépendants les uns des autres. La disparition d'une espèce peut avoir des répercussions importantes sur l'écosystème.

2 Des transferts de matière et d'énergie

A Les niveaux trophiques

- Dans une chaîne alimentaire, chaque espèce occupe une position appelée **niveau trophique**, qui dépend de son mode de nutrition.
- Les végétaux chlorophylliens constituent le **premier maillon des chaînes alimentaires**. Ils se nourrissent en effet de matière minérale

Lexique

Producteurs primaires :

êtres vivants produisant leur matière organique à partir de matière minérale.

Consommateurs :

êtres vivants produisant leur matière organique à partir de celle consommée.

(dioxyde de carbone, eau...) qu'ils convertissent en matière organique grâce à l'énergie fournie par la lumière. C'est la **photosynthèse**.

- Pour cette raison, les végétaux chlorophylliens sont nommés **producteurs primaires**.

- Les animaux consomment les végétaux chlorophylliens ou d'autres animaux qui s'en nourrissent. Ce sont des **consommateurs**.

Ils fabriquent leurs matières organiques à partir de celle produite par d'autres êtres vivants. Ce sont des **producteurs secondaires**.

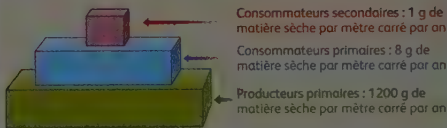
B Les transferts de matière et leur représentation

- Dans un écosystème, la matière et l'énergie sont **transférées d'un niveau trophique à l'autre**.

- Il est possible d'évaluer la matière et/ou l'énergie présent dans chaque niveau trophique. La **productivité** d'un niveau trophique est mesurée en gramme de matière sèche produite par mètre carré en une année. On peut alors représenter les résultats sous forme d'un graphique appelé **pyramide écologique**.

- Les pyramides écologiques de tous les écosystèmes sont caractérisées par une **diminution importante de la productivité d'un niveau trophique à l'autre**, depuis les végétaux chlorophylliens.

Doc. La pyramide des productivités



C Un recyclage de la matière

- Après la mort des êtres vivants, la matière organique est enfouie dans le sol. Des êtres vivants de petite taille, des insectes jusqu'aux microbes, se nourrissent de cette matière, la **décomposent et la transforment en matière minérale**.

- Cette matière minérale sera utilisée par les végétaux chlorophylliens pour fabriquer leur matière organique.

- Ainsi, dans un écosystème, la matière circule de façon cyclique, passant de l'état minéral à organique et vice et versa.

L'Homme a modifié son environnement pour créer des écosystèmes artificiels destinés à produire des ressources. Ces agrosystèmes sont le lieu d'une production végétale maîtrisée.

1 Un écosystème transformé

A Un réseau trophique à l'intérieur de l'agrosystème

- Un **agrosystème** est constitué d'un biotope et d'une biocénose.
- Comme dans tout écosystème, il s'établit un réseau trophique à l'intérieur de l'agrosystème. On y trouve ainsi des producteurs et des consommateurs.
- Les producteurs primaires sont constitués par les espèces cultivées, dont on essaie d'améliorer la **productivité**.
- La **biomasse végétale** est utilisée par des consommateurs ou producteurs secondaires. Elle est consommée soit directement par l'Homme, soit indirectement pour nourrir les animaux d'élevage.
- Ainsi, l'agrosystème est constitué selon les cas de deux ou trois niveaux trophiques : la plante cultivée et l'Homme ou la plante cultivée, un herbivore et l'Homme.

B Les spécificités de l'agrosystème

- Un agrosystème n'existe que par l'action de l'Homme. L'Homme modifie le biotope par le travail du sol (labour...), par l'irrigation ou même dans le cas de la culture sous serre en faisant varier la température ou le taux de dioxyde de carbone atmosphérique.
- L'Homme modifie aussi la biocénose en favorisant la présence d'une seule espèce, la plante cultivée. Pour cela, il élimine grâce aux **herbicides** les espèces adventices qui entrent en concurrence avec la plante cultivée. L'Homme contrôle aussi, grâce à d'autres **pesticides**, la prolifération des ravageurs qui consomment une partie de la culture.

C Un cycle de la matière perturbé

- Dans un agrosystème, la biomasse produite est exportée, la matière morte n'est pas restituée au sol comme dans un écosystème naturel.

Lexique

Agrosystème : écosystème transformé afin de produire des végétaux et des animaux, et de pratiquer l'élevage ou la culture.

Productivité : quantité de matière produite par unité de temps et de surface.

Biomasse : masse totale de la matière des êtres vivants.

Lexique

Herbicides : substances qui éliminent les végétaux.

Pesticides : substances qui éliminent les êtres vivants nuisibles aux cultures.

La production végétale dans les agrosystèmes

Lexique

Engrais : substance qui permet de compenser les carences minérales du sol.

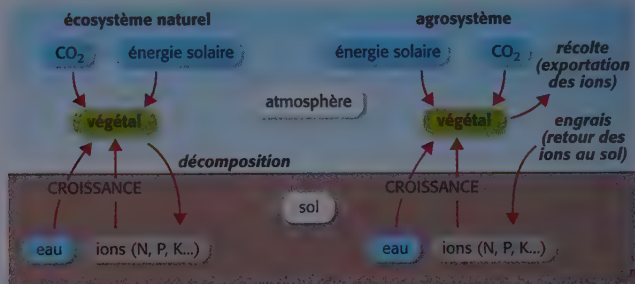
● Le cycle de la matière est rompu et les réserves minérales du sol ne peuvent plus être reconstituées par elles-mêmes.

● Aussi l'Homme intervient pour compenser les exportations de matières en ajoutant au sol des engrais.

● Le principal apport d'engrais a lieu sous forme minérale, c'est-à-dire par des engrais de synthèse constitués d'éléments chimiques, tels que l'azote, le phosphore...

Des engrais organiques peuvent aussi être apportés. Ils proviennent des déchets de la culture ou de l'élevage.

Doc. L'agrosystème : un écosystème en déséquilibre



2 Une recherche de l'amélioration de la productivité

● En agissant sur les conditions de la culture, l'Homme n'a cessé d'améliorer la productivité des agrosystèmes.

Cette amélioration s'est brusquement accélérée au milieu de la première moitié du XX^e siècle avec la modernisation de l'agriculture.

● L'emploi massif de **produits phytosanitaires** (herbicides et autres pesticides) a limité les pertes des récoltes. L'**irrigation**, les **travaux du sol** et l'utilisation d'engrais ont permis de mieux répondre aux besoins des plantes cultivées.

● La **recherche agronomique**, en s'appuyant sur les lois de la génétique, a permis la mise au point de **nouvelles variétés** présentant des caractères avantageux divers : capacité à s'adapter à des climats plus rudes, productivité accrue, besoins en eau moins importants...

Les agrosystèmes destinés à la production de viande présentent des particularités par rapport à ceux destinés à la production végétale, ce qui limite leur rendement.

1 Des rendements moins élevés

- Une partie de la biomasse végétale produite dans les agrosystèmes est destinée à la production animale. Dans ce cas, la chaîne alimentaire comporte un niveau trophique supplémentaire.
- L'Homme consommant la production animale devient alors un consommateur secondaire alors qu'il est un consommateur primaire en se nourrissant directement de la matière végétale.
- Or la pyramide des productivités montre, à chaque niveau trophique, une baisse de la productivité. Ainsi, le **rendement global de production** par rapport aux consommations (énergie, matière) **dépend du niveau trophique du produit**. Celui d'un élevage est donc inférieur à celui d'un champ cultivé.
- Pour obtenir une même quantité d'énergie alimentaire pour l'Homme, la production de viande fondée sur une production végétale quantitativement abondante nécessite plus d'énergie solaire et plus de surface cultivable. La consommation de viande ou de végétaux n'a donc pas le même impact écologique.

Lexique

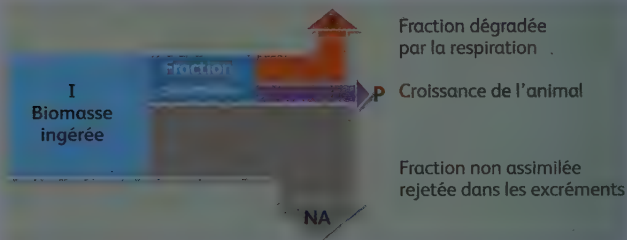
Rendement de production : quantité de matière produite par rapport à la quantité de matière utilisée.

2 Des pertes d'énergie

- Le transfert de matière d'un niveau trophique au suivant **s'accompagne de pertes**. Celles-ci s'expliquent par différentes raisons.
- Une partie de la matière végétale produite n'est pas consommée par les animaux. Elle est donc **perdue avant même d'avoir été ingérée**. Néanmoins, les différences de rendement entre une culture et un élevage s'expliquent par le fait que **les animaux sont de mauvais convertisseurs énergétiques**.
- En effet, une partie de la **matière organique ingérée est perdue** sous différentes formes.
- Une partie de la matière ingérée n'est **pas digestible** (non assimilée) et se retrouve dans les excréments sans avoir été utilisée.
- La majeure partie des aliments est utilisée pour la respiration qui fournit aux animaux l'énergie nécessaire à leur maintien en vie.

- Au cours de cette respiration, la matière organique est **dégradée et transformée en matière minérale**, sous forme d'eau et de dioxyde de carbone.
- Plus les dépenses énergétiques d'un animal sont élevées et plus la part de matière ingérée consacrée à la respiration est élevée. Ainsi, elle est généralement supérieure chez les carnivores que chez les herbivores.

Doc. Production secondaire et pertes d'énergie



3 Des conclusions à nuancer

- D'un point de vue écologique, il apparaît préférable de se nourrir de végétaux que de viande. Néanmoins, cette idée doit être nuancée pour plusieurs raisons.
- L'équilibre alimentaire ne se mesure pas seulement en termes quantitatifs (énergie) mais aussi qualitatifs. À la différence des protéines végétales, les protéines animales renferment en effet tous les **acides aminés indispensables** en quantité suffisante. Une carence en l'un de ces acides aminés essentiels entraîne des troubles de santé, en particulier au moment de la croissance.
- Seul le fer présent dans la viande est absorbé efficacement par l'intestin. Sa carence entraîne une **anémie**.
- Enfin, une partie de la production végétale (tiges du maïs, du blé...) n'est pas consommable par l'Homme. Son utilisation pour la nutrition animale évite des pertes, même si la conversion énergétique est faible.

Lexique

Acides aminés indispensables (ou essentiels) : acides aminés que l'organisme est incapable de fabriquer et qui doivent lui être fournis dans son alimentation.

Anémie : manque de globules rouges.

Face à une augmentation inévitable de la population mondiale, il faudra développer des méthodes pour élever la production, tout en essayant de limiter les effets sur l'environnement.

1 Des besoins alimentaires en augmentation

- Les prévisions démographiques font consensus quant à une **augmentation importante de la population humaine d'ici 2050**. Plusieurs scénarios sont envisagés mais le chiffre de 9 milliards d'individus d'ici 2050 est le plus probable.
- Si cette évolution paraît importante, elle doit être relativisée en considérant qu'entre 1900 et 2000, la population humaine est passée de 2 à 7 milliards d'individus et les Hommes sont aujourd'hui mieux nourris dans l'ensemble qu'au début du XX^e siècle.
- Néanmoins, la **production agricole devra être augmentée, soit par l'élévation des rendements, soit par celle de la surface des terres cultivées**.
- Une augmentation des rendements peut s'obtenir en **améliorant les espèces, les pratiques culturales**, tout en préservant l'environnement.

2 Améliorer les espèces

- Depuis les débuts de l'agriculture, l'Homme a **sélectionné des nouvelles espèces**, toujours plus productives. Les méthodes modernes de **sélection** permettent encore un progrès dans cette voie.
- Les techniques modernes de sélection permettent la production d'**hybrides**, c'est-à-dire d'individus issus du croisement de **variétés** différentes. Ils présentent des caractères plus avantageux que les variétés dont ils sont issus.
- Néanmoins, **les hybrides présentent une homogénéité plus grande** que les variétés dont ils proviennent et sont donc moins aptes à s'adapter aux variations du milieu.

Lexique

Sélection : méthode consistant à obtenir de nouvelles variétés.

Hybride : variété issue du croisement de deux autres.

Variétés : groupes d'individus de la même espèce mais différents les uns des autres par quelques caractères.

3 Améliorer les pratiques culturales

- Les progrès agronomiques ont permis de développer de **nouvelles pratiques culturales** qui ont amélioré les rendements.
- L'**apport d'engrais se fait de façon raisonnée**, en adaptant les quantités aux besoins des plantes.

- Le même principe s'applique à l'irrigation, la quantité d'eau apportée correspondant aux besoins de la plante.
- L'association d'espèces au sein d'une même culture est aussi une voie prometteuse. L'implantation de haies autour d'un champ favorise la présence d'**insectes auxiliaires**, comme les coccinelles, qui en se nourrissant de ravageurs limitent les pertes des culture et améliorent donc la production.

4 Améliorer l'impact sur l'environnement

A Des pratiques néfastes pour l'environnement

- L'utilisation massive de pesticides a des effets **négatifs** sur l'environnement. Une fois épanchées, les substances se retrouvent par **ruissellement** dans les cours d'eau ou les nappes phréatiques.
- Dispersés dans les cours d'eau, les pesticides sont d'abord absorbés par les végétaux puis circulent le long des chaînes alimentaires. **Ils se concentrent au fur et à mesure qu'ils atteignent des niveaux trophiques élevés.** Lorsque l'Homme est en fin de chaîne alimentaire, ces pesticides peuvent s'avérer toxiques et causer des maladies graves comme les cancers.

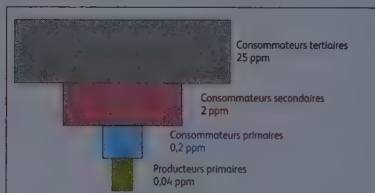
Lexique

Ruissellement : écoulement de l'eau sur les sols.

Biodiversité : diversité des êtres vivants.

Adventices : mauvaises herbes.

Doc. Pyramide des concentrations des polluants



B Des solutions

- La présence d'**insectes auxiliaires** enrichit la **biodiversité** car ils sont à leur tour consommés par des prédateurs, oiseaux et mammifères.
- Après la récolte, des plantes non destinées à la consommation sont cultivées comme couvre-sol. Elles empêchent l'installation d'**adventices** et protègent le sol contre l'érosion.
- Des bandes d'herbe sont constituées entre le champ et un cours d'eau. Elles servent à capter les eaux de ruissellement riches en nitrates avant qu'elles n'atteignent une rivière et ne soient à l'origine d'une pollution.

Les phénotypes masculin et féminin se distinguent par des différences anatomiques et physiologiques. Ils sont néanmoins indifférenciés au début de la vie embryonnaire.

1 Deux phénotypes sexuels

A Une organisation similaire des appareils génitaux

- On distingue dans l'un comme dans l'autre :
 - des glandes génitales ou **gonades**, productrices de **gamètes** ;
 - des **voies génitales**, dans lesquelles circulent les gamètes ;
 - des **organes génitaux externes**.

B L'appareil génital masculin

- Les gonades de l'homme sont les **testicules** localisés dans une bourse ou scrotum à l'extérieur de l'abdomen.
- Les testicules renferment des tubes microscopiques, les **tubes séminifères**, au niveau desquels sont produits des spermatozoïdes.
- Les tubes séminifères convergent vers l'**épididyme** puis le **canal déférent** qui débouche dans l'**urètre** à l'intérieur du pénis. Cet ensemble de canaux permet le transport puis la **libération des spermatozoïdes**.
- **Vésicules séminales et prostate sont des glandes annexes**. Elles sécrètent un liquide dans lequel baigneront les spermatozoïdes, l'ensemble constituant le **sperme**.

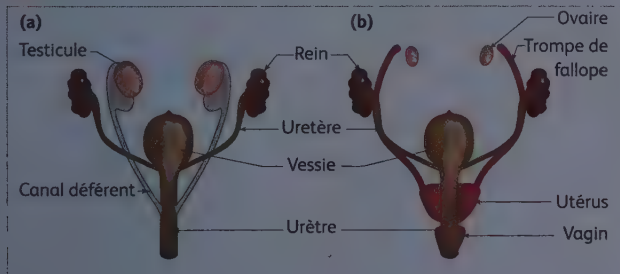
Lexique

Gamètes : cellules sexuelles.

Tubes séminifères : tubes microscopiques constituant les testicules.

Sperme : liquide contenant les spermatozoïdes et les substances dont ils se nourrissent.

Doc. Appareil génital différencié mâle (a) et femelle (b)



C L'appareil génital féminin

- Les gonades de la femme sont les ovaires, situés à l'intérieur de l'abdomen.
- Ils produisent des ovocytes, gamètes féminins, libérés périodiquement et collectés par les trompes, lieu d'une éventuelle fécondation.
- Les trompes débouchent dans l'utérus, organe dans lequel a lieu la **nidation** puis la **gestation**.
- L'utérus se poursuit vers l'extérieur par le vagin, organe qui recueille les spermatozoïdes libérés par le pénis.

Lexique

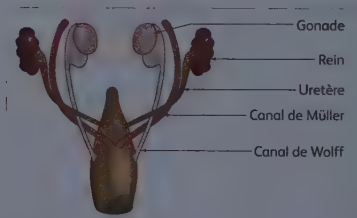
Nidation : implantation de l'embryon dans l'utérus.

Gestation : développement de l'embryon dans l'utérus.

2 Un stade embryonnaire indifférencié

- Le phénotype sexuel différencié, mâle ou femelle, est absent jusqu'à la huitième semaine du développement. **C'est le stade phénotypique indifférencié.**
- Les glandes génitales apparues dès la cinquième semaine ne montrent aucune structure caractéristique des testicules ou des ovaires.
- Elles sont en relation avec **deux paires de canaux** : les **canaux de Müller** et les **canaux de Wolff**.
- Les canaux de Müller se différencieront chez la fille après la huitième semaine de développement en trompes et utérus.
- Les canaux de Wolff se différencieront chez le garçon après la huitième semaine de développement en canaux déférents et glandes annexes.
- Les canaux de Wolff chez la femme et les canaux de Müller chez l'homme régressent au cours de la vie embryonnaire.
- Les organes génitaux externes, d'abord indifférenciés, se différencieront ensuite dans un sens ou dans l'autre.

Doc. L'appareil génital indifférencié



Le phénotype sexuel se met en place au cours du développement embryonnaire mais le sexe est pourtant déterminé dès la conception, à l'intérieur de la cellule-œuf. On parle alors de sexe génétique.

1 Le sexe génétique déterminé au cours de la fécondation

- Les gamètes possèdent un seul exemplaire de chaque chromosome, y compris pour le chromosome sexuel.
- Ainsi, dans l'espèce humaine, le caryotype d'un gamète comprend 23 chromosomes dont un chromosome sexuel, **X pour l'ovocyte et X ou Y pour le spermatozoïde**.
- À la fécondation, la réunion d'un ovocyte et d'un spermatozoïde est à l'origine de deux combinaisons chromosomiques possibles : XX ou XY.
- À ce stade, la détermination du sexe est établie.

2 L'établissement du sexe gonadique

A Des anomalies riches d'enseignement

- Des **anomalies chromosomiques** des gamètes sont connues. Elles permettent d'établir une **relation entre sexe chromosomique et sexe phénotypique**.
- La présence d'un chromosome Y, même si le chromosome X est en sur-nombre aboutit toujours à un **sexe gonadique** masculin.
- Par contre, l'absence de Y, même avec un nombre de chromosomes X incomplet (X0), entraîne une différenciation vers une gonade de type féminin.

Doc. Quelques exemples d'anomalies chromosomiques et leurs conséquences gonadiques

Caryotypes	Gonades
46 XX	Ovaires fonctionnels
46 XY	Testicules fonctionnels
47 XXX	Ovaires fonctionnels
47 XXY	Testicules fonctionnels
45 X0	Ovaires atrophiés

● La présence du chromosome Y semble donc déterminante pour la différenciation de la gonade dans le sens de masculin (testicules). Par contre, l'absence de Y oriente la différenciation dans le sens féminin (ovaires).

B Des discordances entre sexe chromosomique et sexe gonadique

- Des discordances entre le sexe chromosomique et le sexe gonadique ont permis de comprendre comment ce dernier s'établit à partir des gonades indifférenciées.
- Il existe en effet des individus XX avec des testicules différenciés et des individus XY avec des ovaires différenciés.
- Ces anomalies s'expliquent par l'existence d'un **fragment de chromosome normalement présents sur Y et qui serait passé sur X**. L'individu XY ayant perdu ce fragment possède des ovaires. Les individus XX ayant acquis ce fragment possèdent des testicules.
- Ce fragment de chromosome Y est donc responsable de la différenciation des gonades en testicules.

C Le gène SRY et la différenciation des gonades

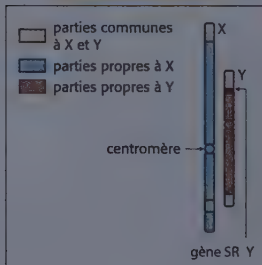
- Le fragment de chromosome Y responsable de la différenciation des gonades porte le gène de la différenciation testiculaire, le **gène SRY**.
- Le gène SRY code pour une protéine appelée TDF capable de se fixer sur l'ADN.
- Comme la protéine TDF active plusieurs gènes, le gène SRY a une importance majeure. Sa mutation entraîne des répercussions en cascade sur plusieurs protéines. Il est pour cette raison qualifiée de **gène architecte**.

Remarque

Même lorsque le phénotype sexuel semble normal, une anomalie chromosomique s'accompagne le plus souvent d'une stérilité.

Lexique

Gène architecte : gène qui commande l'expression d'autres gènes.



Doc. Chromosomes sexuels et position du gène SRY

Après la différenciation du sexe gonadique, les voies génitales et les organes génitaux externes se différencient à leur tour.

1 La mise en place du sexe phénotypique

A Des expériences historiques (Jost 1947)

● Jost met au point une technique qui lui permet de **castrer** des embryons de lapin encore au stade indifférencié à l'intérieur de l'utérus. Quel que soit le sexe génétique des embryons, les voies génitales se différencient alors dans le sens féminin, c'est-à-dire avec persistance des canaux de Müller et régression des canaux de Wolff.

● Une greffe de testicules chez l'embryon castré entraîne la différenciation des voies génitales dans le sens masculin.

● Ainsi, la **présence de testicules entraîne la différenciation des voies génitales dans le sens masculin**.

● Leur absence au contraire entraîne une différenciation dans le sens féminin.

B L'action de la testostérone

● La castration d'un embryon suivie de l'implantation d'un cristal de testostérone entraîne un développement des canaux de Wolff et leur différenciation en voies génitales masculines.

● Le **testicule contrôle la différenciation des voies génitales dans le sens masculin par l'intermédiaire d'une de ses hormones**, la testostérone.

● La testostérone est produite par des cellules situées à l'intérieur du **tissu interstitiel**, appelées **cellules de Leydig**.

● Le tissu interstitiel renferme de **nombreux capillaires sanguins** qui permettent à la testostérone d'être véhiculée par le sang dans tout l'organisme.

C L'action de l'hormone anti-müllérienne

● Si l'insertion de cristal de testostérone restaure la différenciation des canaux de Wolff chez l'embryon castré, elle n'entraîne pas la régression des canaux de Müller.

Lexique

Castrer : supprimer les gonades.

Hormone : substance sécrétée par une glande, véhiculée par le sang et modifiant le fonctionnement d'un organe.

Tissu interstitiel : tissu situé entre les tubes séminifères à l'intérieur des testicules.

● Une autre hormone, **l'hormone anti-müllérienne (AMH)** est responsable de la régression des canaux de Müller. Elle est sécrétée par les cellules de Sertoli qui constituent la paroi des tubes séminifères.

2 La puberté et l'établissement définitif du phénotype sexuel

A Les transformations de la puberté

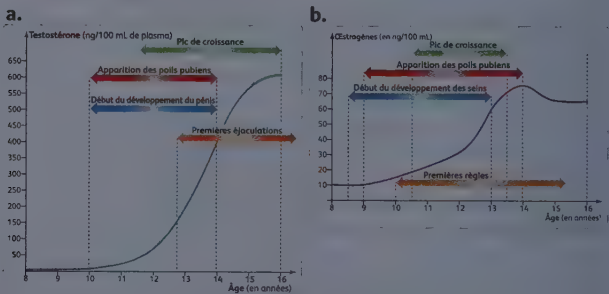
● À la puberté, les **organes génitaux**, jusqu'alors non fonctionnels, le deviennent. Les gonades produisent des gamètes.

● Dans les deux sexes, on observe une **croissance**, un **développement de la pilosité** en particulier au niveau du pubis, ainsi qu'un développement des organes sexuels.

● Les **caractères sexuels secondaires** apparaissent :

- chez le garçon : développement importante de la **masse musculaire**, mue de la voix, premières éjaculations ;
- chez la fille : développement de la **poitrine**, premières règles.

Doc. Chronologie des principales modifications à la puberté a. chez le garçon ; b. chez la fille



B Un contrôle hormonal du déclenchement de la puberté

● Peu avant les premiers signes de la puberté, testostérone et œstrogènes sont sécrétés de façon plus importante.

● L'augmentation du taux plasmatique des hormones sexuelles, testostérone chez le garçon et œstrogènes chez la fille, est responsable de l'apparition de la puberté.

Le testicule produit des spermatozoïdes de façon continue. Néanmoins, son activité est régulée par voie hormonale, grâce au complexe hypothalamo-hypophysaire.

1 La production et le devenir des gamètes

A Chez l'homme

- La **spermatogenèse** ou production de spermatozoïdes est réalisée à partir de cellules souches localisées **dans la paroi des tubes séminifères**, à leur périphérie.

- Les cellules souches subissent **des mitoses** puis une division particulière, la **méiose**, qui diminue de moitié le nombre de chromosomes. Au fur et à mesure des divisions, les cellules filles sont repoussées vers la **lumière** des tubes séminifères.

- Après la méiose, **les cellules subissent une différenciation** au cours de laquelle elles se transforment en spermatozoïdes. Elles sont ensuite libérées dans la lumière du tube séminifère.

- La **spermatogenèse est stimulée par la testostérone** dont le taux plasmatique reste stable à partir de la puberté et durant toute la vie de l'homme.

Lexique

Spermatogenèse : production des spermatozoïdes.

Lumière (d'un tube) : cavité centrale.

Méiose : division réduisant de moitié le nombre de chromosomes d'une cellule.

2 Le contrôle du testicule par le complexe hypothalamo-hypophysaire

A Un contrôle du testicule par l'hypophyse

- L'hypophyse est une petite glande **endocrine** fixée au plancher de l'encéphale. Elle **sécrète des hormones**, la **FSH** et la **LH** qui agissent sur des **cellules-cibles** situées dans le testicule.

- La **LH agit sur les cellules de Leydig et stimule la sécrétion de testostérone**.

- La **FSH stimule quant à elle la spermatogénèse**.

Lexique

Endocrine : qui sécrète des hormones.

Cellules-cibles : cellule dont le fonctionnement est modifié par une hormone.

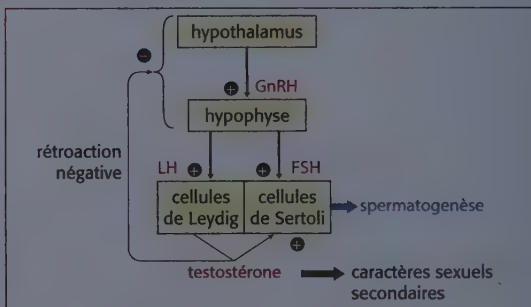
B Un contrôle de l'hypophyse par l'hypothalamus

- L'hypothalamus est situé à la base de l'encéphale. Il est relié par voie sanguine à l'hypophyse.
- Les **cellules neuro-sécrétrices** produisent une **neuro-hormone**, la GnRH, libérée dans des capillaires sanguins qui atteignent l'hypophyse.
- La GnRH stimule la sécrétion de LH et FSH.

3 Le contrôle du complexe hypothalamo-hypophysaire

- Si le complexe hypothalamo-hypophysaire stimulait en permanence l'activité testiculaire, la **testostéronémie** augmenterait indéfiniment. Or celle-ci est maintenue stable, autour d'une valeur de référence. **Il existe donc un frein à l'activité du complexe hypothalamo-hypophysaire.**
- **Des récepteurs à la testostérone** sont présents sur le complexe hypothalamo-hypophysaire. Ainsi, la testostérone agit sur ce complexe pour freiner son activité : elle exerce un **rétro-contrôle négatif**.
- Il se crée une **boucle de régulation**, entre le complexe hypothalamo-hypophysaire et le testicule, boucle qui maintient la testostéronémie à une valeur à peu près constante.

Doc. La régulation de la testostérone



Lexique

Cellule neuro-sécrétrice : cellule d'origine nerveuse mais sécrétant des substances dans le sang.

Neuro-hormone : substance sécrétée par des cellules neuro-sécrétrices et libérée dans le sang.

Lexique

Testostéronémie : taux plasmatique de testostérone.

L'activité cyclique de l'ovaire est synchronisée avec celle de l'utérus par l'intermédiaire d'hormones.

1 Une libération cyclique d'ovocytes par l'ovaire

- À l'intérieur de l'ovaire, chaque ovocyte, entouré de **cellules folliculaires**, constitue un **follicule ovarien**.

- On observe à l'intérieur d'un même ovaire **plusieurs types de follicules ovariens** différents par la taille de l'ovocyte ainsi que par le nombre et l'aspect des cellules folliculaires.

- À partir de la puberté, les follicules ovariens les plus simples, appelés **follicules primordiaux**, se transforment sur une durée de trois mois en **follicules cavitaires**.

- Régulièrement, **plusieurs follicules cavitaires** sont recrutés pour participer à un **cycle ovarien d'une durée de 28 jours**. Ce cycle ovarien peut être divisé en deux phases, séparées par l'ovulation.

- Durant la **phase folliculaire**, du 1^{er} au 14^e jour, l'ovocyte grossit, les cellules folliculaires se divisent et la cavité continue à se creuser.

Au 14^e jour, l'ovocyte qui se détache est expulsé hors du follicule : c'est l'**ovulation**.

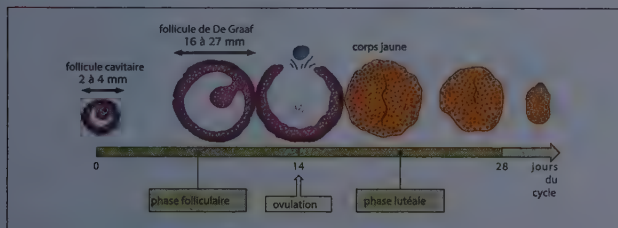
- Pendant la **phase lutéale**, du 14^e au 28^e jour, les restes du follicule se transforment en un **corps jaune**. S'il n'y a pas fécondation, le corps jaune régresse. Sinon il persistera pendant toute la grossesse.

Remarque

La durée de 28 jours n'est qu'une moyenne.

Lorsqu'elle est différente, la phase lutéale dure toujours 14 jours tandis que la durée de la phase folliculaire peut varier.

Doc. Le cycle ovarien



2 Un synchronisme avec le cycle utérin

A Des transformations de la muqueuse utérine

- La **muqueuse utérine** se transforme elle aussi de façon cyclique.

- Après sa destruction partielle, la muqueuse utérine est renouvelée. La destruction de la muqueuse ou **menstruations** a été choisie comme indicateur du début du cycle car c'est la seule manifestation visible de celui-ci.

- Pendant la phase folliculaire, après les menstruations, la muqueuse utérine s'épaissit tandis que **vaisseaux sanguins** et **glandes nutritives** précédemment détruits se reconstituent.

- Pendant la phase lutéale, les glandes nutritives se ramifient et sécrètent du **glycogène**, substance nutritive utilisée par l'embryon. Cette ramification donne à la muqueuse un aspect de **dentelle**. Les **vaisseaux sanguins** se **spiralisent**, permettant une meilleure irrigation de la muqueuse utérine.

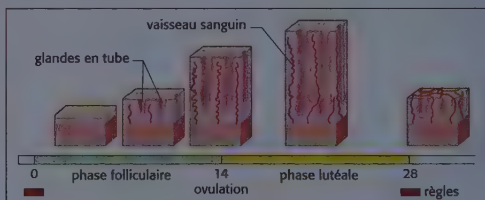
Lexique

Muqueuse utérine : couche plus superficielle de l'utérus au contact de la cavité utérine.

Menstruations : saignements périodiques ou règles.

Col de l'utérus : zone située entre l'utérus et le vagin.

Doc. Le cycle utérin



B Des transformations au niveau du col de l'utérus

- Le **col de l'utérus** produit une substance visqueuse, la **glaiare cervicale**, constituée de filaments protéiques.

- Pendant la plus grande partie du cycle, les filaments de la glaiare cervicale sont resserrés et empêchent le passage des spermatozoïdes.

- À la fin de la phase folliculaire, les filaments de la glaiare cervicale se relâchent et les spermatozoïdes peuvent la traverser.

- Les modifications de la muqueuse utérine et de la glaiare cervicale permettent la nidation, vers le 20^e jour du cycle, c'est-à-dire après l'ovulation et la rencontre des gamètes.

Le synchronisme de fonctionnement de l'ovaire et de l'utérus n'est possible que par l'existence d'un système de communication qui repose sur les hormones.

1 Hormones ovariennes et contrôle de l'utérus

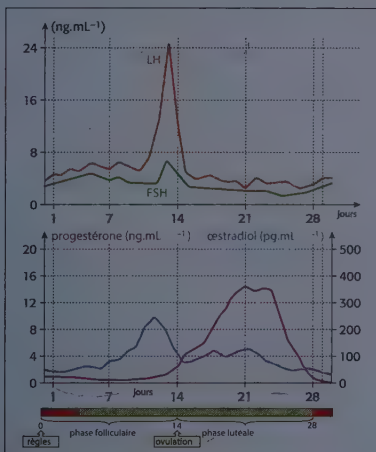
A Une production cyclique d'hormones

- L'ovaire produit des **œstrogènes synthétisés par les cellules folliculaires** durant la phase folliculaire.
- Pendant la phase lutéale, le **corps jaune produit des œstrogènes et surtout de la progestérone**.

B Une action sur l'utérus

- Les **œstrogènes**, pendant la phase folliculaire, **stimulent la division des cellules de la muqueuse utérine** et l'épaississement de celle-ci.
- La **progestérone stimule la dentellisation** de la muqueuse utérine caractéristique de la phase lutéale.
- Le **pic d'œstrogènes pré-ovulatoire** modifie la densité de la **glaière cervicale** et la rend **perméable aux spermatozoïdes**.

Doc. Sécrétion cyclique des hormones ovariennes et hypophysaires



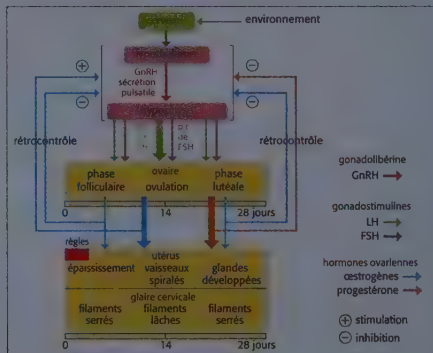
2 La régulation des hormones ovariennes par le complexe hypothalamo-hypophysaire

- Le **complexe hypothalamo-hypophysaire**, aussi présent chez la femme, sécrète les mêmes hormones que chez l'homme, la **LH** et la **FSH**.
- Pendant la phase folliculaire, la **FSH** stimule les divisions des cellules folliculaires et la maturation du follicule. La **LH** stimule quant à elle la production d'œstrogènes par les cellules folliculaires.
- Un peu avant le 14^e jour du cycle, une forte sécrétion de LH (**pic de LH**) provoque l'**ovulation**.
- Au cours de la phase lutéale, LH et FSH stimulent la sécrétion des œstrogènes et de la progestérone.

3 Un rétrocontrôle sur le complexe hypothalamo-hypophysaire

- Pendant la première partie de la phase folliculaire et la totalité de la phase lutéale, œstrogènes et progestérone inhibent l'activité du complexe hypothalamo-hypophysaire. Les hormones ovariennes exercent ainsi un **rétrocontrôle négatif**.
- Dans la seconde moitié de la phase folliculaire, lorsque la concentration des œstrogènes dépasse une certaine valeur, ils exercent alors un **rétrocontrôle positif** qui déclenche le **pic de LH** lui-même responsable de l'ovulation.

Doc. Régulation du taux d'hormones sexuelles chez la femme

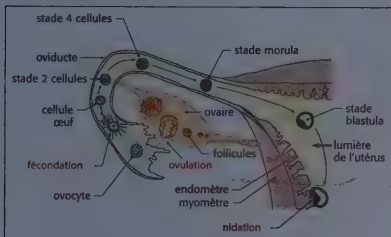


Les connaissances sur la régulation du fonctionnement de l'appareil génital aident à lutter contre l'infertilité.

1 Le déroulement de la procréation

A Les étapes de la procréation

- Après l'ovulation, l'ovocyte est susceptible d'être **fécondé** par un des spermatozoïdes libérés dans le vagin.
- La fécondation a lieu dans le tiers supérieur de la trompe et est à l'origine d'une **cellule-œuf**. Celle-ci migrera alors vers l'utérus, tout en se divisant et en se transformant en **embryon**.
- Six jours après la fécondation, l'embryon se fixe à la muqueuse utérine et pénètre à l'intérieur. C'est la **nidation**.
- Elle se poursuit par la **gestation** qui durera neuf mois au cours desquels l'organisme s'édifiera.



Doc. De l'ovocyte à la nidation

Lexique

Infertilité : difficulté à avoir des enfants.

2 Des causes d'infertilité

- Les causes de **l'infertilité** sont nombreuses et concernent l'homme comme la femme. Des examens médicaux permettent de les identifier.
- Chez la femme, **l'obstruction des trompes** est une des causes des plus courantes. Elle empêche la rencontre des gamètes. Un **dérèglement hormonal** peut aussi perturber l'ovulation ou la capacité de la muqueuse utérine à recevoir l'embryon.
- Chez l'homme, la production de **spermatozoïdes en nombre insuffisant** ou avec des **anomalies** est la cause d'infertilité la plus fréquente. Dans ce cas, la probabilité qu'un spermatozoïde atteigne l'ovocyte ou soit capable de le féconder est alors très faible ou nulle. Le **pouvoir fécondant** du sperme est alors insuffisant.

3 La procréation médicalement assistée

A L'insémination artificielle

● Lorsque le sperme est peu fécondant, en raison d'un problème de mobilité des spermatozoïdes, on peut le déposer directement dans les voies génitales de la femme. C'est l'**insémination artificielle**.

B La FIVETE

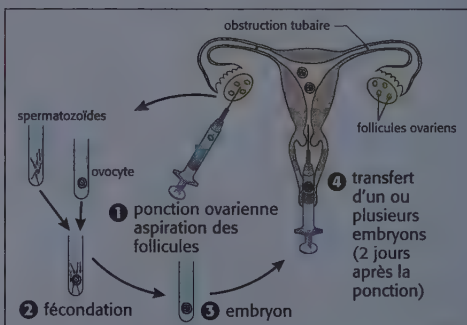
● La **fécondation in vitro avec transfert d'embryon (FIVETE)** consiste à recueillir d'une part les ovocytes, d'autre part les spermatozoïdes, qui réalisent alors la **fécondation à l'extérieur de l'organisme**.

● Les ovocytes sont recueillis après stimulation hormonale. On injecte une substance proche de la FSH qui stimule le développement des follicules ovariens. Lorsque ceux-ci sont mûrs, l'injection d'une forte dose de LH prépare l'ovulation.

● Avant que celle-ci n'ait lieu, les ovocytes sont ponctionnés par coelioscopie puis réunis avec les spermatozoïdes dans une éprouvette où se déroule la fécondation.

● La cellule-œuf se divise, un embryon se forme et après 48 heures, au stade 4 ou 8 cellules, il est implanté dans la muqueuse utérine. Le reste de la grossesse se poursuit naturellement.

Doc. La FIVETE



C L'ICSI (injection intra-cytoplasmique de spermatozoïde)

● Lorsque le sperme a totalement perdu son pouvoir fécondant, on peut alors injecter directement un spermatozoïde dans le cytoplasme de l'ovocyte : c'est l'**ICSI**.

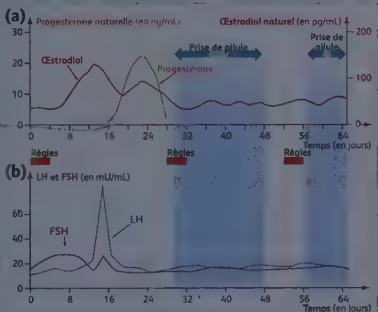
Les connaissances du cycle génital de la femme ont permis de mettre au point des méthodes basées sur des modifications hormonales afin d'empêcher la procréation.

1 Les pilules contraceptives

A Les pilules combinées

- Les **pilules combinées** sont constituées par l'association d'œstrogènes et de progestérone de synthèse.
- Ces hormones exercent un **rétrocontrôle négatif** sur le complexe hypothalamo-hypophysaire qui dans ce cas ne stimule plus l'ovaire.
- Cette pilule **bloque l'évolution folliculaire** ainsi que l'**ovulation**.
- De plus, les hormones ovariennes naturelles n'étant plus sécrétées, la **muqueuse utérine ne se développe plus de façon suffisante** pour accueillir un embryon.
- Ainsi cette pilule agit en bloquant plusieurs étapes nécessaires à la procréation, ce qui la rend particulièrement efficace.

Doc. Les effets de la pilule combinée sur la sécrétion d'hormones par l'ovaire (a) et l'hypophyse (b)

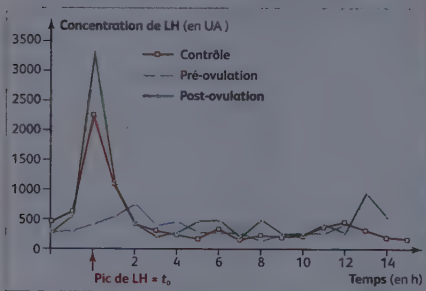


B Les pilules à base de progestatif

- Ces pilules ne contiennent que de la **progestérone** à faible dose qui perturbe le développement de la muqueuse utérine.
- Elles exercent alors une action contraceptive en **bloquant la nidation** alors que l'ovulation a eu lieu.
- Par ailleurs, la présence de progestérone **empêche les transformations rendant perméable la glaire cervicale**.

2 La pilule du lendemain

- La pilule du lendemain est une méthode d'urgence constituée d'un dérivé de la progestérone. Elle doit être prise au plus tard 72 heures après un rapport non protégé.
- Elle agit en **inhibant le pic de LH**, ce qui bloque l'ovulation.
- Elle **désorganise aussi la muqueuse utérine**, réduisant alors la probabilité de nidation.
- Cette pilule, en raison de sa fiabilité limitée, ne peut pas être considérée comme une méthode contraceptive.



Doc. Les effets de la pilule du lendemain sur la sécrétion de LH, avant et après l'ovulation

3 La pilule contraceptive

- Après un retard de règles, une méthode dite **contragestive** permet d'arrêter la grossesse à ses débuts. Comme la gestation a déjà commencé, on parle de contragestion plutôt que de contraception.
- Une pilule contenant une substance, le **RU-486** un **antagoniste de la progestérone**, est ingérée sous contrôle médical.

● Le RU-486 se fixe sur les récepteurs de la progestérone, à la place de celle-ci, au niveau de la muqueuse utérine et l'empêche donc d'exercer son action.

● Or la **progestérone est nécessaire au maintien de la muqueuse utérine** pendant toute la grossesse. Le RU-486 en empêchant la progestérone d'agir provoque la destruction de la muqueuse utérine et l'expulsion de l'embryon. La gestation prend alors fin.

Lexique

Contragestive : méthode arrêtant une grossesse déjà commencée.

Antagoniste : qui prend la place d'une substance et empêche son action.

Les relations sexuelles mettent en jeu des circuits nerveux à l'origine d'une sensation de plaisir.

1 Sexualité et activation de circuits nerveux

A Une expérience historique

● Pour comprendre les mécanismes qui sous-tendent la sensation de plaisir, des scientifiques ont réalisé en 1954 une expérience sur un rat placé dans une cage et chez lequel une **électrode stimulatrice est implantée dans le cerveau**.

Lexique

Électrode : filament conducteur de l'électricité, notamment avec un rôle stimulateur.

● Une stimulation indolore est générée par cette électrode lorsque le rat appuie sur une pédale placée dans sa cage. Lorsque l'électrode est implantée dans certaines zones du cerveau, et dans celles-ci seulement, l'animal renouvelle les stimulations de plus en plus fréquemment, jusqu'à 6 000 fois par heure.

● Ce **comportement devient compulsif** au point que le rat en oublie de se nourrir et finit même par mourir.

● Chaque stimulation dans cette zone du cerveau génère une **sensation de plaisir**, anticipée par l'animal, ce qui déclenche l'activation de la pédale.

● La **sensation de plaisir** serait donc associée à certaines **aires cérébrales**.

B Le système de récompense

● Les structures impliquées dans la sensation de plaisir constituent le **système de récompense**. Avant même l'accès à la récompense, son activation génère une sensation de plaisir qui motive le sujet à rechercher et atteindre cette récompense.

● Le comportement de reproduction chez les mammifères et la sexualité chez l'Homme font intervenir eux aussi le système de récompense.

● Des stimulations de nature différente (visuelle, olfactive, tactile...) génèrent du plaisir et motivent quant au passage à l'acte.

● Chez l'animal, ce système de récompense est fondamental car il stimule le **comportement reproducteur** et permet la **perpétuation de l'espèce**.

● Dans l'espèce humaine, **sexualité et reproduction sont plus ou moins dissociées** selon les individus. Si le système de récompense est

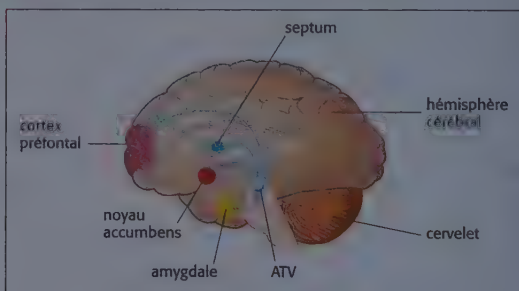
responsable de la sensation de plaisir lié à la sexualité, il a perdu de son importance dans la perpétuation de l'espèce.

2 Les circuits de la récompense

A Différentes aires cérébrales impliquées

● À l'intérieur du cerveau, des messages nerveux partent de l'**aire tegmentale ventrale** (ATV) et aboutissent à différents niveaux comme le **noyau accumbens**, l'**amygdale** ou le **cortex préfrontal**. Ce dernier correspond à une aire de décision, c'est à partir de celui-ci que sont déclenchés les comportements.

Doc. Les principales voies du système de récompense



B La dopamine, un neuromédiateur du plaisir

● Les neurones communiquent entre eux en libérant des substances chimiques appelées **neuromédiateurs**.

● Les neurones du système de récompense produisent et sécrètent un neuromédiateur particulier, la **dopamine**. Pour cette raison, on l'a surnommé **le neuromédiateur du plaisir**.

● Cette substance est libérée durant les rapports sexuels mais aussi au cours d'actes générateurs de sensation de plaisir comme se nourrir ou boire. Les pratiquants de jeux de hasard ou les toxicomanes, **victimes d'addiction**, sécrètent eux aussi en abondance de la dopamine.

● Un **niveau minimum de dopamine** est nécessaire dans le cerveau sinon un sentiment de malaise prend naissance.

● Pendant, l'orgasme, une autre substance est sécrétée, les **endorphines**. Comme leur nom l'indique, elles ont des effets semblables à la morphine et provoquent une sensation de plaisir et de bien-être.

Lue Relue Apprise

La mucoviscidose est une maladie génétique caractérisée par un ensemble de signes observables à différentes échelles.

1 Les signes de la maladie

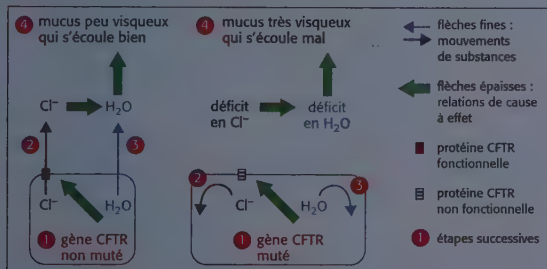
A Le phénotype macroscopique de la mucoviscidose

- La mucoviscidose se caractérise par la production d'un **mucus visqueux** par les muqueuses des appareils respiratoire et digestif. Il en résulte notamment une obstruction des bronches à l'origine de **difficultés respiratoires**.
- En outre, le mucus étant difficilement évacué, il permet le développement de microbes responsables d'**infections respiratoires à répétition**.
- Ce mucus aussi sécrété par l'appareil digestif, en gênant la libération des enzymes, entraîne des **troubles digestifs**.

B Un dysfonctionnement cellulaire

- L'anomalie repose sur le dysfonctionnement d'une **protéine appelée CFTR**, logée dans la membrane plasmique de certaines cellules, comme celles des bronches.
- La protéine CFTR a la forme d'un canal, au travers duquel sont rejetés des ions chlore vers l'extérieur de la cellule.
- Ce flux de chlore est accompagné d'une sortie d'eau qui fluidifie alors le mucus présent dans les voies respiratoires.
- Dans le cas de la mucoviscidose, la protéine CFTR est imperméable aux ions chlore, ce qui empêche la sortie d'eau des cellules et la fluidification du mucus.

Doc. Le mécanisme cellulaire de la mucoviscidose



2 Une origine génétique

A Une mutation du gène CFTR

- La protéine CFTR est codée par un gène du même nom. La maladie provient de **mutations du gène CFTR**. De nombreuses mutations ont été mises en évidence, responsables des signes plus ou moins graves entraînés par la maladie.
- Ces mutations sont responsables de **variations de séquence de la protéine CFTR**, entraînant des **modifications de sa forme tridimensionnelle**.
- Le changement de forme de la protéine CFTR est responsable de son imperméabilité aux ions chlore.

Remarque

La fonction d'une protéine est généralement liée à sa forme.

Doc. Comparaison des séquences normales et mutées du gène et de la protéine CFTR

A Comparaison avec alignement		1480	1490	1500	1510	1520	1530	1540	1550	1560	1570
Traduit											
Identifié											
CFTR normal		TTTTCCTGGATTATGCTTGGACCATTAAGGAAATATCATCTTTGGTCTTCCATATGATATAGATACAGAGGCTCATCAAGCATCCAA									
CFTR muté											
Traduit											
Identifié											
Pro-CFTR normal		PheSerTrpIleMetProGlyThrIleLysGluAsnIleIlePheGlyValSerTyrAspGluTyrArgTyrArgSerValIleLysIleCysGlu									
Pro-CFTR muté											
Sélection 0/6 lignes											

B Une maladie héréditaire

- Les différents **allèles mutés** à l'origine de la maladie sont **récessifs**. Ils ne s'expriment pas en présence de l'allèle non muté. Celui-ci, qui s'exprime quel que soit l'autre allèle présent, est qualifié de **dominant**.
- Un individu malade est donc forcément **homozygote** pour le gène CFTR. Un individu non malade est soit homozygote non muté soit **hétérozygote**.
- Pour noter le génotype de l'individu, on peut utiliser la convention d'écriture suivante.

Soit m l'allèle muté et S, l'allèle non muté (l'allèle dominant est noté avec une majuscule).

Individu homozygote non muté : S/S

Individu homozygote muté : m/m

Individu hétérozygote : m/S (ou S/m)

Lexique

Homozygote : individu qui possède deux allèles identiques pour un gène donné.

Hétérozygote : individu qui possède deux allèles différents pour un gène donné.

Si la mucoviscidose est déterminée génétiquement, le traitement symptomatique, la prévention et le dépistage permettent de limiter ses effets.

1 Limiter les effets de la maladie ou soigner

A Traiter les symptômes

● Il n'existe actuellement **aucun traitement curatif** permettant de guérir de la maladie. Pourtant, il est possible d'atténuer les symptômes.

● La **kinésithérapie respiratoire** permet d'accélérer l'évacuation du mucus hors des voies respiratoires.

● L'**oxygénothérapie** consiste à apporter aux patients un air enrichi en oxygène afin de compenser le déficit de ce gaz dans le sang du malade.

● Les problèmes digestifs sont aussi traités par un apport alimentaire supplémentaire, enrichi en calories et en vitamines. La prise d'enzymes digestives améliore la digestion des malades.

● On réalise aussi des **greffes cœur-poumon** dans les cas extrêmes.

B La thérapie génique

● Un véritable traitement consisterait à faire disparaître la cause de la maladie. Des essais de **thérapie génique** sont à l'étude. Elle consiste à **insérer dans les cellules l'allèle dominant non muté de la protéine CFTR** afin que les cellules puissent à nouveau synthétiser une molécule fonctionnelle.

● Pour transformer un nombre suffisant de cellules, on utilise un **vecteur**, en l'occurrence un **virus modifié dans lequel l'allèle non muté a été introduit**.

● Ce virus est amené avec l'air inhalé aux cellules bronchiales. Une fois à leur contact, il injecte l'allèle non muté à l'intérieur de celles-ci.

● La méthode n'est pour l'instant qu'imparfaite car ses effets sont transitoires.

Remarque

Malgré l'absence de traitement curatif, l'espérance de vie à la naissance est passée de 7 ans en 1965 à 47 ans en 2005.

Lexique

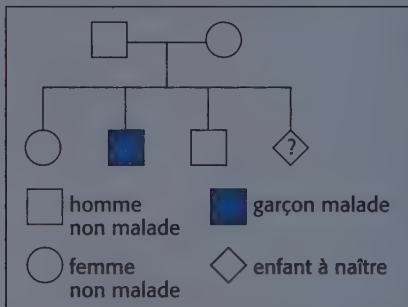
Thérapie génique : technique consistant à compenser un gène déficient en introduisant dans les cellules un allèle normal de ce gène.

Vecteur : système permettant le transfert d'un gène dans une cellule.

2 La prévision génétique

- Il est possible **d'évaluer le risque** d'être atteint de la maladie pour un enfant à naître.

Doc. Arbre généalogique d'une famille à risque



- Dans cet arbre, **le seul génotype certain est celui du garçon malade, $m//m$. Son père et sa mère sont donc chacun hétérozygotes $m//S$, puisqu'ils lui ont transmis chacun un allèle.**

- Pour évaluer la probabilité de transmettre l'un ou l'autre de leurs allèles à leurs enfants, on construit un échiquier de croisement sous forme d'un tableau à double entrée dans lequel les gamètes produits par chaque parent ($S/$ ou $m/$) constituent une entrée.

Chaque case du tableau représente un génotype possible.

	S	m
S	$S//S$	$S//m$
m	$S//m$	$m//m$

- Ainsi, **deux hétérozygotes ont une probabilité sur quatre d'avoir un enfant malade**, une sur deux d'avoir un enfant non malade hétérozygote et une sur quatre d'avoir un enfant non malade homozygote.

- Pour un enfant déjà né et non malade, le risque d'être hétérozygote n'est pas de $1/2$ mais de $2/3$. En effet, la case $m//m$ n'est pas à prendre en compte puisqu'il n'est pas malade.

Si le génotype détermine le phénotype, la relation entre les deux est en réalité modulée par l'environnement comme le montre l'étude de nombreuses maladies, celle du diabète de type II par exemple.

1 Les caractéristiques du diabète de type II

- Le **diabète** est un état chronique d'**hyperglycémie**. La **glycémie** est habituellement régulée autour d'une valeur de 1 g par litre notamment grâce à une hormone, l'**insuline**.

- Le diabète de type II, contrairement à celui de type I, apparaît chez l'adulte pour qui l'insuline, malgré une sécrétion normale, n'est plus fonctionnelle en raison d'une **insensibilité des cellules** sur lesquelles elle agit normalement.

- L'hyperglycémie provoque des **lésions des vaisseaux sanguins**, avec pour conséquence extrême la cécité ou la nécessité de pratiquer l'amputation des doigts de pieds par exemple.

Lexique

Hyperglycémie : taux de glucose sanguin anormalement élevé.

Glycémie : taux de glucose sanguin

Insuline : hormone sécrétée par le pancréas et régulant la glycémie.

2 Un déterminisme génétique

A Des données favorables à un déterminisme génétique

- Des **études épidémiologiques** ont montré que lorsqu'un individu est atteint d'un diabète de type II, le risque pour un membre de sa famille d'être atteint lui aussi est plus grand que celui dans la population.

- Alors que la fréquence des diabétiques de type II est de 4 % en France, le risque pour le frère ou la sœur d'un individu atteint est de 25 %. Dans le cas de vrais jumeaux, le risque s'élève alors à 99 %.

Lexique

Études épidémiologiques : études statistiques recherchant notamment un lien entre une maladie et des gènes ou des modes de vie.

B Des gènes de susceptibilité

- Ces données montrent l'influence du génotype sur l'apparition de la maladie. Néanmoins, contrairement à l'exemple de la mucoviscidose, il n'existe **pas une relation directe entre un allèle muté et le diabète**. Dans le cas du diabète de type II, **certains allèles** favorisent l'apparition

Remarque

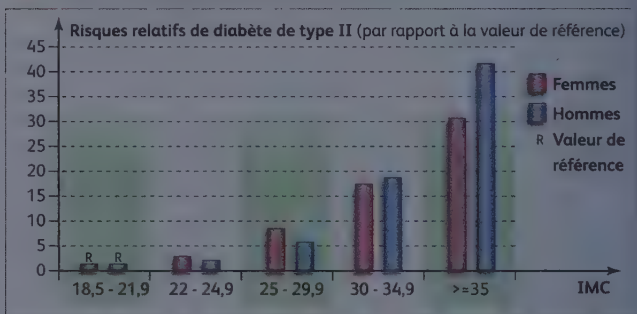
On parle plus souvent de gènes de susceptibilité que d'allèles même si ce terme conviendrait mieux car seules certaines formes du gène favorisent l'apparition de la maladie.

de la maladie, c'est-à-dire **augmentent le risque** pour un individu qui les porte de la développer. Leur présence n'est pourtant pas obligatoire au déclenchement de la maladie et leur absence n'en protège pas forcément. On parle alors d'**allèle** ou de **gènes de prédisposition** ou de **susceptibilité**.

3 L'influence de l'environnement sur l'apparition de la maladie

- Des données ont aussi confirmé que le **patrimoine génétique n'est pas l'unique déterminant de la maladie**. L'environnement, au sens large du terme, c'est-à-dire l'ensemble des conditions de vie, a aussi une influence.
- Quand un groupe dans une population migre et acquiert de nouvelles habitudes de vie, le risque de contracter un diabète de type II est modifié. Il se rapproche alors de celui du pays de destination.

Doc. Risque relatif de diabète de type II en fonction du sexe et de l'IMC (indice de masse corporelle)



- Un exemple bien connu est celui des Indiens Pimas d'Amérique dont la population est scindée en deux groupes : l'un vivant au Mexique, l'autre aux États-Unis. Chez ces derniers, le taux de diabète de type II est l'un des plus forts du monde.
- Les indiens Pimas des États-Unis ont une **vie sédentarisée** à l'extrême et une **alimentation déséquilibrée**, à l'inverse de ceux du Mexique. Ils ne sont pas les seuls mais si la maladie est si développée dans cette population, c'est que celle-ci possède des **gènes de susceptibilité**.

Un mécanisme de régulation contrôle la division cellulaire mais si celui-ci dysfonctionne, la perturbation peut générer un cancer.

1 Des cellules transformées

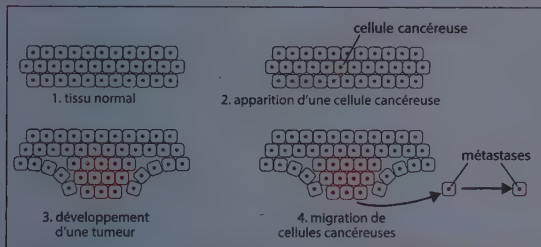
A Une perte de contrôle de la division cellulaire

- Dans les conditions normales, la **fréquence et le nombre des divisions cellulaires** sont **contrôlés** par l'intermédiaire de signaux chimiques.
- Certaines cellules échappent pourtant à ce système régulateur et prolifèrent : elles deviennent cancéreuses.
- Il se forme alors une **tumeur**, c'est-à-dire un **clone de cellules cancéreuses**, toutes issues de la même cellule mère et donc génétiquement identiques.

B Les étapes de la cancérisation

- L'apparition d'une cellule tumorale fait suite à **une ou plusieurs mutations**.
- En même temps que la tumeur se forme, l'irrigation sanguine se développe, ce qui permet aux cellules d'être nourries, condition nécessaire à leur division active.

Doc. Le processus de cancérisation



Lexique

Métastase : tumeur formée après la migration de cellules cancéreuses dans un nouveau site.

- Les cellules tumorales se transforment. Elles changent d'aspect et **perdent leur propriété naturelle d'adhésion**. Elles migrent alors et **se disséminent** dans l'organisme, par les vaisseaux sanguins ou lymphatiques. Elles forment ainsi des **métastases** dans de nouveaux organes.

- La présence d'une tumeur peut empêcher le bon fonctionnement de l'organe, par exemple en comprimant les vaisseaux sanguins et en empêchant l'irrigation.

2 Des gènes impliqués dans la cancérisation

A Des signaux cellulaires

- Plusieurs signaux **contrôlent la division cellulaire** et déclenchent **l'élimination des cellules présentant des anomalies**.
- Ainsi, la **protéine 53 (p53)** est capable de bloquer la division des cellules anormales et même de provoquer leur destruction.
- En cas d'anomalie importante, elle se fixe sur l'ADN et déclenche le processus d'**apoptose**, appelé aussi mort cellulaire programmée.
- Pour cette raison, le gène qui code la protéine 53 est qualifié de **gène suppresseur de tumeur**.
- D'autres gènes, appelés **proto-oncogènes**, stimulent la division cellulaire mais de façon contrôlée.

Lexique

Apoptose : mécanisme par lequel la cellule enclenche sa propre destruction.

Proto-oncogène : gène stimulant la division cellulaire.

B Des mutations de gènes régulateurs

- Ce sont des **mutations des gènes régulateurs** de la mitose ou de gènes comme celui de la p53 qui sont à l'origine de cancers.
- Ainsi, suite à une (ou plusieurs) mutation(s), **les proto-oncogènes se transforment en oncogènes** et deviennent hyper-actifs.
- Ces proto-oncogènes peuvent être aussi **réactivés par la présence d'un virus** qui insère son ADN dans celui de la cellule.

Doc. Extraits de la séquence de la protéine p53 chez deux individus, atteints ou non d'un cancer

Comparaison simple

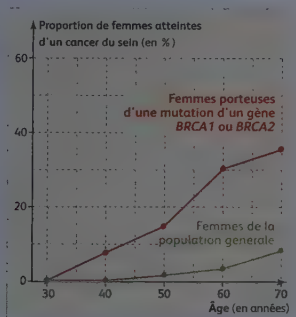
		700	710	720	730	740
▲						
▶	Traitement	«	»	0		
	ref-alleleP53norm ad	«	»	0	TACAACTACATGTTACACGTTCTGCATGGCGCGCATGAACCGGAGGCCCATCCTCACCATC	
	cc-LiFrau-allele1 adn	«	»	0		
▼	Sélection 0/3 lignes					

Les conditions de vie ont une influence sur le risque d'apparition des cancers. Connaître les facteurs favorisant la survenue d'un cancer permet d'en limiter les risques.

1 Une prédisposition génétique

- Le risque de développer un cancer est différent d'un individu à l'autre, même à mode de vie semblable.
- Comme pour d'autres **maladies plurifactorielles**, il existe des **gènes de prédisposition** dont certains allèles augmentent le risque de survenue de la maladie.
- Cela explique l'incidence plus forte de cancers à l'intérieur de certaines familles. Dans ce cas, on peut rechercher par des **tests génétiques**, lorsqu'ils existent, la présence d'allèles de prédisposition.
- En cas de résultats positifs, une **surveillance accrue est exercée afin de détecter le plus tôt possible la présence d'une tumeur**.

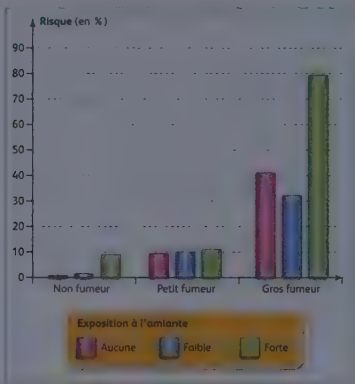
Doc. Risque de cancer du sein selon l'âge et la présence d'un allèle de susceptibilité



2 Une influence de l'environnement

A Des agents mutagènes

- Les **mutations sont des phénomènes aléatoires**. Néanmoins, des agents mutagènes peuvent en augmenter la fréquence.
- Des substances comme les **goudrons**, produits par la combustion du tabac, élèvent la fréquence de mutation. L'exposition aux rayons ultraviolets accroît le risque de cancer de la peau, surtout pour les individus à peau peu colorée.



Doc. Influence du tabac et de l'amiante sur l'apparition des cancers

B Des virus mis en cause

- Certains virus peuvent déclencher des cancers.
- Le **papillomavirus** par exemple **accroît le risque de cancer de l'utérus**. Une fois introduit dans les cellules, il libère une protéine qui **inhibe l'activité de la p53** en se fixant sur elle.
- On a pu développer un **vaccin contre le papillomavirus** : celui-ci apprend au système immunitaire à détecter et éliminer la protéine du virus.

● D'autres vaccins contre le cancer sont à l'étude. C'est le cas de celui contre un type de cancer du poumon. À la différence du précédent, il n'agit que lorsque la maladie est déjà apparue. En effet, il consiste à stimuler le système immunitaire du malade pour éliminer les cellules cancéreuses.

Remarque

Un vaccin est par définition préventif mais les progrès de la médecine tendent à mettre au point des vaccins qui aident le système immunitaire uniquement lorsque la maladie est déjà présente.

3 Une évolution de l'incidence et de la mortalité

- Le nombre de cas de cancers a doublé entre 1980 et 2012 chez l'homme comme chez la femme.
- Cette évolution s'explique d'une part par le **vieillissement de la population** mais aussi par son **accroissement**. Par ailleurs, les **progrès du dépistage** permettent de détecter plus de cas.
- La mortalité par cancer a aussi augmenté mais bien plus faiblement que le nombre de cas. En conséquence, on peut dire que le risque de décéder d'un cancer a diminué notablement pendant cette période.

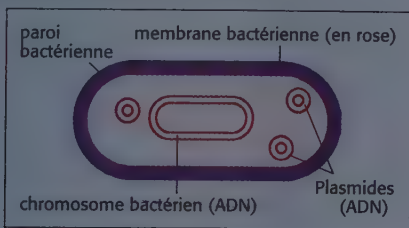
Depuis leur découverte en 1928, de nombreux antibiotiques ont été mis au point. Par différents modes d'action, ils peuvent détruire une grande variété de micro-organismes.

1 Le mode d'action des antibiotiques

A Deux types d'antibiotiques

- Les antibiotiques sont des substances permettant de lutter contre les micro-organismes, **principalement les bactéries** mais aussi les champignons et les protozoaires.
- On distingue les **antibiotiques bactériostatiques**, qui empêchent la division cellulaire, des **antibiotiques bactéricides**, qui détruisent la cellule. Les antibiotiques bactériostatiques aboutissent néanmoins à la mort des micro-organismes puisqu'incapable de se diviser, la cellule se dégrade inévitablement.

Doc. Organisation simplifiée d'une bactérie



B Des modes d'action variés

- Le principe des antibiotiques est de **bloquer une étape de la vie** de cellule qui sera alors condamnée à disparaître.
- Certains agissent sur la **paroi cellulaire** et empêchent sa synthèse chez les cellules en croissance ou issues de la division. En exerçant une pression sur le cytoplasme, la paroi évite à la bactérie d'éclater sous l'effet de la pression des liquides cytoplasmiques.
- Des antibiotiques agissent sur la **membrane plasmique** en la rendant totalement perméable, ce qui entraîne une fuite des constituants puis la mort cellulaire.

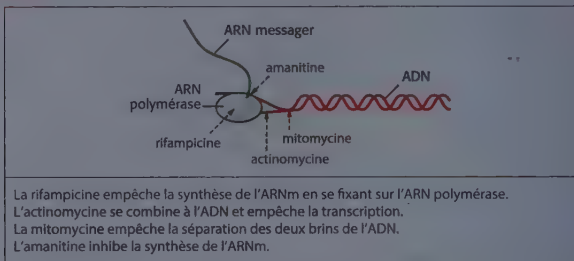
Lexique

Paroi cellulaire : enveloppe cellulosique et rigide entourant les cellules bactériennes et végétales.

- Des antibiotiques **bloquent la réplication** – et donc la division qui suit – en empêchant le déroulement de l'ADN. Ce sont alors des substances bactériostatiques.

- D'autres antibiotiques **agissent sur la transcription**. Ils l'inhibent en se fixant sur l'ARN polymérase ou en empêchant le déroulement de l'ADN.

Doc. Action d'antibiotiques sur la transcription



- Enfin, certains antibiotiques agissent en bloquant différentes réactions cytoplasmiques.

2 Évaluer l'efficacité des antibiotiques

- Face à la diversité des antibiotiques disponibles, il convient de choisir parmi les plus adaptés pour garantir l'efficacité du traitement.

- Pour cela, un **antibiogramme est réalisé**. Il consiste à cultiver la bactérie responsable de l'infection sur une boîte de pétri contenant une solution nutritive. Différents antibiotiques sont par ailleurs déposés sous forme de pastilles, à partir desquelles ils diffusent et empêchent le développement bactérien. Une zone dépourvue de bactéries s'observe dans ce cas autour de la pastille. Son diamètre est proportionnel à la sensibilité de la bactérie à l'antibiotique.

Doc. Antibiogramme d'une souche de bactérie

- Ainsi, sur cet antibiogramme, on constate que les antibiotiques A et C sont les plus efficaces contre la bactérie. B et E ne le sont pas du tout puisqu'elle se développe à leur contact.



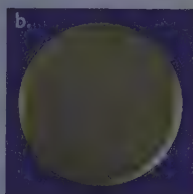
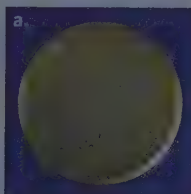
Les antibiotiques perdent progressivement leur efficacité, ce qui pose un problème de santé publique. Des règles d'utilisation strictes doivent être appliquées.

1 Des résistances aux antibiotiques

A Des résistances variées

- Les antibiogrammes montrent que **chaque souche de bactéries est plus ou moins sensible**, voire pas du tout, à un antibiotique donné. Dans ce dernier cas, on parle de **souche résistante**.
- Cela s'explique d'abord par la **spécificité des antibiotiques** qui ciblent une molécule ou une réaction chimique, différente d'une espèce à l'autre.
- Mais dans d'autres cas, l'efficacité d'un antibiotique contre une souche se perd progressivement à partir de son utilisation. On parle alors de **résistance acquise**.
- Par exemple, lorsqu'on cultive une souche de bactéries sensibles à un antibiotique comme la streptomycine, si la plupart ne se développent pas en sa présence, quelques-unes parviennent à se diviser et forment des colonies. **Elles sont devenues résistantes à cet antibiotique.**

Doc. Bactéries cultivées sur un milieu sans (a) ou avec streptomycine (b)



B Les modalités d'apparition des résistances

- La **résistance à un antibiotique est un caractère de la bactérie, déterminé génétiquement**. Une résistance acquise survient après une **mutation**.
- Celle-ci est responsable du changement d'un caractère, par exemple la forme d'une molécule sur laquelle l'antibiotique ne peut plus se fixer.
- La **fréquence d'apparition d'une résistance** est donc liée – à priori – à celle des mutations. Pourtant, les résistances acquises, parfois simultanément à plusieurs antibiotiques, sont plus fréquentes. Il existe donc une autre modalité d'acquisition que les seules mutations.

- Les bactéries échangent entre elles des fragments de chromosome sur lesquels sont présents des gènes de résistance. Parmi ceux-ci, les plus courants proviennent des **plasmides**, de petits fragments d'ADN circulaire portant des **gènes de résistance**.

Lexique

Plasmide : fragment d'ADN bactérien surnuméraire

Gènes de résistance : gènes qui rendent la bactérie insensible à l'antibiotique

- L'ampleur du phénomène est d'autant plus importante que ces échanges ont lieu y compris entre bactéries appartenant à des espèces différentes.

C La sélection des souches résistantes

- Une fois la souche devenue résistante à un antibiotique, **elle acquiert un avantage** face aux autres bactéries avec lesquelles elle est en compétition. La souche résistante **est sélectionnée**, elle réussit à survivre et à se développer d'autant mieux que les souches non résistantes sont éliminées. Ainsi, par ce phénomène de **sélection naturelle**, les gènes de résistance aux antibiotiques tendent à se répandre dans les populations bactériennes et leur **fréquence augmente**.

D Des phénomènes de résistance multiple

- Pour contourner le problème de la résistance aux antibiotiques, on peut administrer **plusieurs antibiotiques à la fois**. Si la probabilité d'apparition d'une résistance à une souche contre un antibiotique n'est pas rare, elle est très faible contre plusieurs antibiotiques à la fois.
- Pourtant **les phénomènes de résistance multiple**, c'est-à-dire contre plusieurs antibiotiques, se développent et constituent un vrai problème de santé publique.

2 Lutter contre les résistances

- **La découverte et la mise au point d'antibiotiques se fait moins rapidement que l'apparition des résistances.** La gamme d'antibiotiques utilisables de façon efficace tend donc à se réduire. On a même découvert des souches bactériennes résistantes à tous les antibiotiques connus.
- Il existe une **corrélation étroite entre la consommation d'antibiotiques et le développement des résistances**. La prescription d'antibiotiques doit se faire seulement contre des micro-organismes sensibles, les bactéries par exemple mais pas les virus.
- Plus les bactéries seront au contact avec les antibiotiques, plus elles développeront par **le phénomène de sélection naturelle des résistances** à ceux-ci. Aussi la prescription d'antibiotiques doit donc se faire de façon raisonnée.

Les rayons lumineux arrivant à l'œil traversent une lentille, le cristallin, à travers laquelle ils sont réfractés sans être absorbés. La structure du cristallin explique ses propriétés.

1 Une lentille déformable et transparente

A Une vergence variable

- Pour atteindre les cellules photoréceptrices situées sur la rétine, les rayons lumineux traversent différents milieux dont le cristallin.

- Le cristallin est une **lentille convergente**, de **vergence** variable selon l'angle d'incidence des rayons lumineux. Ce dernier dépend lui-même de la distance de l'objet observé.

- Lorsque l'objet observé est proche, le cristallin se bombe, sa vergence augmente. Ainsi, plus les rayons arrivent obliquement à sa surface, plus ils sont réfractés afin d'être focalisés sur la rétine. De cette façon, la vision de l'objet est nette. C'est l'**accommodation**.

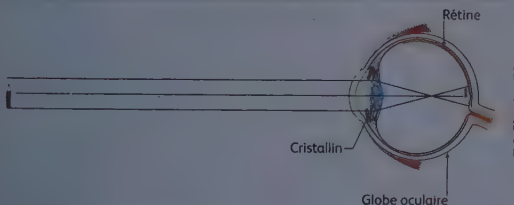
- Des **muscles ciliaires** fixés sur le cristallin se contractent ou se relâchent par voie réflexe lorsque l'image n'est pas nette. Ils sont responsables de l'accommodation.

Lexique

Vergence : capacité d'une lentille à faire dévier les rayons lumineux.

Accommodation : modification réflexe de la vergence du cristallin afin de focaliser les rayons sur la rétine.

Doc. Le trajet des rayons lumineux dans l'œil



B La transmission de la lumière

- Le cristallin est une **lentille transparente** que la lumière traverse sans être atténuée.

- Constitué, comme tout organe, de **cellules vivantes spécialisées**, ses propriétés s'expliquent par les caractéristiques de ses cellules.

2 Des cellules spécialisées

A Une organisation particulière

- Les cellules cristalliniennes sont **aplaties**, empilées et **disposées dans le même sens** les unes par rapport aux autres. Cette disposition permet leur déformation et donne au cristallin son élasticité nécessaire à l'accommodation.

- La lumière traverse les cellules cristalliniennes **perpendiculairement**, c'est-à-dire par leur épaisseur la plus fine. De plus, celles-ci sont **dépourvues de noyau et de la plupart des organites**, qui constitueraient un obstacle à la lumière. Le cytoplasme lui-même renferme un gel transparent, grâce à la présence d'une protéine spécifique, appelée **cristalline**.

- Contrairement aux autres organes, **le cristallin n'est pas irrigué**, ce qui altérerait sa transparence. Les nutriments dont il a besoin lui sont fournis par l'humeur aqueuse de l'œil.

Lexique

Organite : structure cellulaire spécialisée contenue dans le cytoplasme et délimitée par une membrane.

Cataracte : perte de transparence du cristallin.

Presbytie : perte par le cristallin de la capacité à se déformer.

B Un cycle cellulaire particulier

- Les cellules du cristallin se forment à partir d'une couche unique de **cellules souches** située sur sa face antérieure. D'abord de forme cubique, les cellules se divisent puis s'allongent en se différenciant. Elles migrent vers le centre du cristallin et **perdent alors leurs organites pour devenir des fibres cristalliniennes**.

3 Des anomalies du cristallin

- La **production des fibres cristalliniennes s'arrête vers l'âge de vingt ans**. Avec le temps, les fibres s'altèrent mais, dépourvues d'organites, elles sont incapables de fabriquer de nouvelles protéines.

- Sous l'effet du **vieillissement**, accéléré par des facteurs comme les rayons ultraviolets, les cristallines précipitent et perdent leur capacité à former un gel. Le cristallin devient moins transparent. C'est la **cataracte**.

- Le vieillissement produit aussi une **perte d'élasticité** du cristallin. Incapable de se déformer suffisamment lorsque les objets sont proches, il **perd sa capacité à accommoder**.

- Pour voir nettement, un individu doit éloigner l'objet regardé.

- Ce trouble de la vision, appelée **presbytie**, touche tous les individus à partir de 45 ans environ.

En arrivant sur la rétine, les rayons lumineux stimulent les photorécepteurs, des cellules nerveuses. Celles-ci convertissent alors le signal lumineux en message nerveux.

1 Une organisation en couches cellulaires

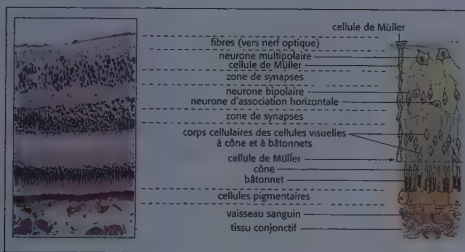
- La **rétine** qui tapisse l'intérieur de l'œil est constituée de trois couches de **cellules nerveuses**.
- Les cellules les plus profondes sont des **photorécepteurs**, sensibles à la lumière. Ils sont reliés à des **neurones bipolaires** qui à leur tour se connectent à des **neurones multipolaires** dont les fibres convergent pour former le **nerf optique**.
- Lorsque la lumière frappe les cellules photoréceptrices de la rétine, celles-ci sont excitées et émettent un **message nerveux** transmis par l'intermédiaire de **synapses** jusqu'au nerf optique, en direction du cerveau.

Lexique

Photorécepteurs : cellules qui convertissent le signal lumineux en message nerveux.

Synapses : zone de jonction entre deux neurones.

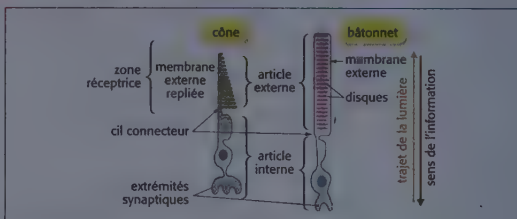
Doc. La structure de la rétine



2 Deux types de photorécepteurs

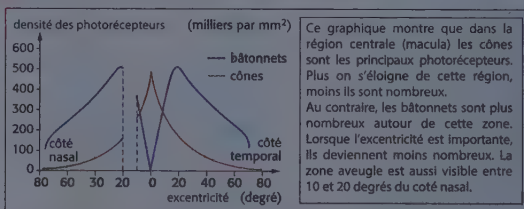
- Deux types de photorécepteurs, les **cônes** et les **bâtonnets**, coexistent dans la rétine.
- Cônes et bâtonnets sont des cellules nerveuses constituées d'une **zone réceptrice** de la lumière contenant un **pigment photosensible** différent dans les deux cas. Cette zone réceptrice se prolonge par le reste de la cellule, contenant le cytoplasme et le noyau et l'extrémité terminale, qui établit la jonction avec d'autres neurones ou synapse.

Doc. Les cellules photoréceptrices



- La répartition des cônes et des bâtonnets n'est pas homogène.
- **Les cônes** sont les seuls photorécepteurs présents dans la fovéa, la zone de la rétine située dans l'axe optique.
- La proportion de bâtonnets augmente dans la rétine périphérique, au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la fovéa.
- Une zone de la rétine est totalement dépourvue de photorécepteurs : le **point aveugle**, qui constitue la région où convergent les fibres nerveuses issues des neurones multipolaires, point de départ du nerf optique.

Doc. Répartition des photorécepteurs rétiniens



3 Des rôles complémentaires

- **Cônes et bâtonnets ont des rôles complémentaires**, liés à leur répartition inégale dans la rétine.
- Il existe trois types de cônes sensibles à des couleurs différentes : ils permettent la **vision des couleurs**. Mais **les cônes sont insensibles aux faibles luminosités**. Ce sont les photorécepteurs de la vision diurne.
- **Les bâtonnets** sont les photorécepteurs de la **vision nocturne**. Situés dans la rétine périphérique, ils participent à la vision des **objets à la périphérie du champ visuel**. Ils permettent de ne percevoir que les **formes** mais même à de faibles intensités lumineuses.

Les cônes, seuls photorécepteurs sensibles aux couleurs, doivent leurs propriétés à des pigments spécifiques, les opsines.

1 Trois types d'opsines

A Des sensibilités différentes

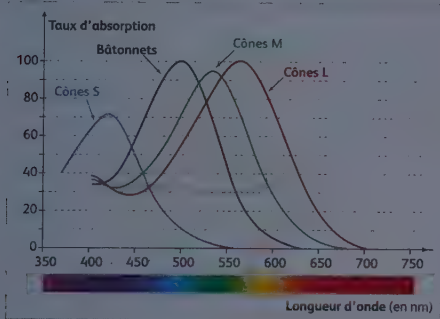
- Trois groupes de cônes sont présents dans la rétine. Ils se distinguent par le type d'**opsine** qu'ils contiennent.
- Chaque opsine absorbe la lumière en quantité différente selon la longueur d'onde. Il existe **trois catégories d'opsines**, chacune caractérisée par un pic d'absorption maximale dans le **bleu, le vert ou le rouge**.
- La présence de trois types d'opsines confère à l'Homme une **vision trichromatique**.

Lexique

Opsine : pigment sensible à la lumière

Vision trichromatique : vision des couleurs reposant sur la présence de trois types de cônes.

Doc. Taux d'absorption de la lumière en fonction de la longueur d'onde



B Les gènes de l'opsine

- Les opsines présentes dans les cônes sont des **protéines**. Elles sont codées par trois gènes portés par deux chromosomes différents.
- Le gène de l'opsine « bleue » est porté par un **autosome** (chromosome non sexuel) tandis que les deux autres, ceux de l'opsine « rouge » et de l'opsine « verte » sont portés par le **chromosome X**, un **chromosome sexuel**.

- Le gène de la rhodopsine, pigment porté par les bâtonnets, est quant à lui situé sur un autre autosome.

2 Des anomalies de la vision des couleurs

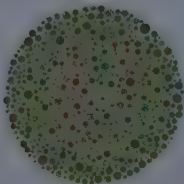
A Une anomalie, le daltonisme

- Plus de 8 % des hommes souffrent de troubles de la vision des couleurs. Ils sont atteints de **daltonisme**.
- Ils sont **incapables de distinguer certaines couleurs** les unes des autres. Selon les cas, la vision de l'une ou l'autre des couleurs est déficiente, le plus souvent le vert et le rouge.
- Chaque cas est néanmoins unique, même chez les non-daltoniens, en raison de la **proportion variable des trois types de cônes chez chacun**.
- Dans les cas extrêmes, aucune couleur n'est visible. Les cônes ne fonctionnent plus, et la vision repose essentiellement sur les bâtonnets. Cette anomalie est associée à un comportement d'évitement de la lumière en raison de la sensation de malaise qu'elle produit (**photophobie**).
- Des tests de détection sont pratiqués pour la détection de cette anomalie. Ils consistent à discerner une figure avec des points de couleur différente noyés dans un fond constitué par d'autres couleurs.

Remarque

Contrairement à une idée reçue, la plupart des daltoniens voient en couleur mais confondent certaines d'entre elles.

Doc. Test de détection d'une anomalie de la vision des couleurs



B Une anomalie génétique

- Le daltonisme s'explique par une mutation d'un des gènes de l'**opsine**. Cette mutation s'exprime au niveau de la protéine qui devient alors non fonctionnelle.
- Le gène de l'opsine « rouge » est porté par le chromosome X. L'allèle muté étant récessif, les femmes devront posséder deux allèles mutés (sur leurs deux chromosomes X) mais les hommes un seul (sur leur unique chromosome X).

Lue Relue Apprise

Les gènes des opsines ont été modifiés au cours de l'histoire de la vie. Leur étude permet de reconstituer certaines étapes de l'évolution, y compris l'histoire des Primates.

1 Apparition successive des gènes de l'opsine

A Des similitudes de séquences

La comparaison des séquences des différents gènes des opsines montre de **fortes similitudes** entre eux.

Doc. Similitudes entre les séquences de gènes des opsines des cônes

	Gène de l'opsine rouge	Gène de l'opsine verte	Gène de l'opsine bleue
Gène de l'opsine rouge	100 %	-	-
Gène de l'opsine verte	97,7 %	100 %	
Gène de l'opsine bleue	57,1 %	57,6 %	100 %

B Des duplications géniques

Les trois gènes de l'opsine coexistent chez un même individu et n'occupent pas les mêmes locus. Cette coexistence liée à leur similitude ne peut s'expliquer que par un phénomène de **duplication** à partir d'un gène ancestral.

Il arrive en effet qu'un gène se duplique, le nouvel exemplaire s'intégrant alors au hasard dans un nouveau locus. **Les deux exemplaires du gène évoluent alors séparément**, subissant des **mutations**. Ils deviennent deux gènes différents.

Un ensemble de gènes issus d'un gène ancestral par **duplications puis mutations** constitue une **famille multigénique**.

Doc. Formation des gènes de l'opsine



Lexique

Duplication : apparition sur le même chromosome de deux copies identiques d'un même gène.

Famille multigénique : ensemble de gènes issus d'un gène ancestral commun.

2 Reconstitution des relations de parenté

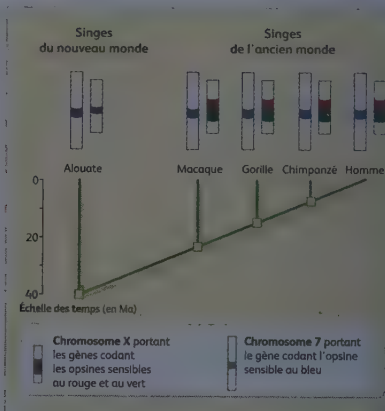
A Une proximité plus ou moins grande entre espèces

- La comparaison de séquences d'un même gène d'opsine entre Primates montre des similitudes plus ou moins grandes selon les espèces.
- Une ressemblance plus forte de séquence s'explique par une **proximité génétique plus étroite**, c'est-à-dire par la présence d'un **ancêtre commun spécifique**. Ainsi, l'Homme et le Chimpanzé partagent un ancêtre commun spécifique.
- On peut à partir de ces résultats **représenter les relations de parenté entre espèces par un arbre phylogénétique** dans lequel chaque embranchement appelé « **nœud** » représente un ancêtre commun duquel sont issues deux espèces.

B L'arbre phylogénétique des Primates

- Tous les Primates possèdent le gène de l'opsine bleue mais seuls **les singes de l'ancien monde** (Afrique) tels que les Chimpanzés possèdent, tout comme l'**Homme**, les trois gènes des opsines. Ils sont **trichromates**.
- **Les singes du nouveau monde** (Amérique) possèdent quant à eux les gènes de l'opsine bleue et soit de l'opsine verte soit de la rouge. Ils sont **dichromates**.
- À partir de la répartition des gènes, on peut reconstituer les relations de parenté entre espèces et construire un arbre phylogénétique.

Doc. Arbre phylogénétique simplifié des Primates



Après avoir été stimulés par la lumière, les photorécepteurs génèrent un message nerveux véhiculé jusqu'au cerveau.

1 De la rétine au cortex cérébral

A Une activation du cortex visuel

- Une stimulation lumineuse entraîne l'activation d'une zone à l'arrière du **cortex cérébral**, dans la région **occipitale**. Cette zone correspond au **cortex visuel**.
- Une lésion du cortex visuel, malgré l'intégrité de l'œil et des voies visuelles, entraîne une perte de la vision. Le cortex visuel est le lieu de construction des images, celui de la **perception visuelle**.

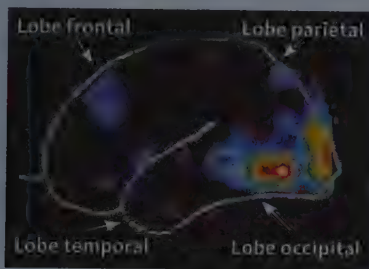
Lexique

Cortex cérébral : enveloppe du cerveau.

Occipital : situé à l'arrière du cerveau.

Cortex visuel : aire du cortex spécialisée dans la perception des messages visuels.

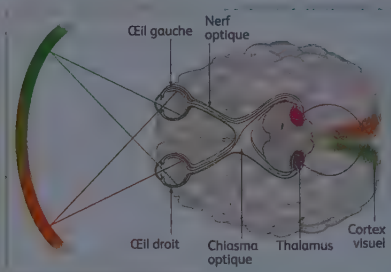
Doc. Activité du cortex cérébral suite à une stimulation visuelle



B De l'œil au cerveau, les voies visuelles

- Le message visuel en provenance de la rétine passe par les **nerfs optiques**, le **thalamus** puis aboutit au cortex visuel dans les deux **hémisphères cérébraux**.
- Les **nerfs optiques issus des deux yeux se croisent en partie** sur la face inférieure de l'encéphale et forment le **chiasma optique**.
- Toutes les fibres nerveuses issues d'une moitié de la rétine (côté nasal) se croisent au niveau du chiasma et parviennent à l'hémisphère cérébral opposé. Les fibres issues de la rétine temporale restent du même côté.
- Le croisement d'une seule moitié des fibres du nerf optique au niveau du chiasma explique que **chaque hémisphère cérébral reçoit des informations en provenance des deux yeux**, ce qui permet de percevoir les images en trois dimensions

Doc. Le trajet du message visuel



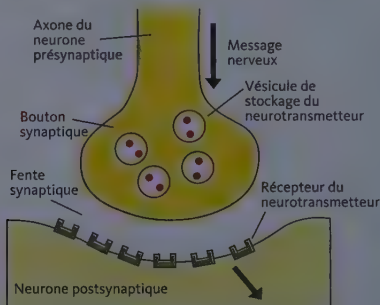
2 Transmission du message nerveux

Lexique

Fibres nerveuses :
prolongements de la
cellule nerveuse.

- Le message visuel provenant de la rétine transite par plusieurs neurones avant d'arriver au cerveau.
- Le **message nerveux** est constitué par une succession de signaux élémentaires électriques, les **potentiels d'action** qui se propagent le long des **fibres nerveuses**.
- La zone de jonction entre deux neurones se nomme **synapse**. À ce niveau, les deux neurones sont séparés par une **fente synaptique**.
- L'arrivée du message nerveux à l'extrémité du neurone présynaptique provoque la libération de **neurotransmetteur** dans la fente synaptique.
- Sa fixation sur des **récepteurs de forme complémentaire**, situés sur le neurone postsynaptique, est susceptible de donner naissance à un message nerveux sous forme de potentiels d'action.

Doc. La transmission synaptique



Les messages nerveux arrivés au cortex sont répartis entre différentes aires qui collaborent pour fabriquer des images. Malgré cette spécialisation poussée, le cerveau peut commettre des erreurs de perception, en particulier dans le cas d'hallucinations.

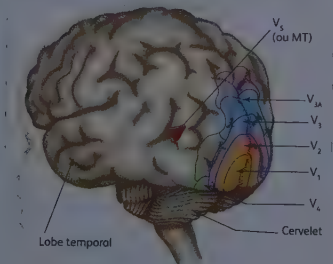
1 Une collaboration entre aires corticales

A Différentes régions corticales impliquées dans la vision

- L'arrivée des messages nerveux issus de la rétine a lieu sur le cortex occipital appelé aussi **cortex visuel primaire**.
- Mais l'imagerie médicale révèle l'activation d'**autres aires corticales** que celle du cortex primaire au cours d'une stimulation visuelle.
- Ainsi, des lésions cérébrales à différents niveaux peuvent affecter la vision : perte de la reconnaissance des couleurs, des formes ou de la perception du mouvement. Le type d'anomalie dépend de la zone du cortex concerné.
- Ces aires corticales en relation avec l'aire visuelle primaire sont appelées **aires associatives**.

B Des aires visuelles spécialisées

- Des enregistrements de l'activité corticale réalisés chez des individus ont permis d'identifier la fonction de différentes aires visuelles associatives.
- Une spirale blanche en rotation présentée à un individu active les aires V1 et V2 et en plus l'aire V5.
- Des objets colorés mais immobiles présentés à un individu activent les aires V1 et V2 et en plus l'aire V4.



Doc. Les aires cérébrales sollicitées par la vision

ARRIÈRE

- Un patient souffrant d'une destruction de l'aire V3 distingue les couleurs et les mouvements mais pas les formes.
- Ainsi, les aires V1 et V2, interconnectées, répartissent les différentes informations en provenance de la rétine vers des aires spécialisées : l'aire V3 qui intervient dans la perception des **formes**, l'aire V4, dans celle des **couleurs** et l'aire V5, responsable de la perception des **mouvements**.
- D'autres aires corticales, comme l'**aire temporelle**, participent à la reconnaissance et à la localisation des objets.
- Des **échanges d'informations** entre les différentes aires corticales rendent possible la **perception** d'une image globale. C'est le phénomène d'**intégration**.

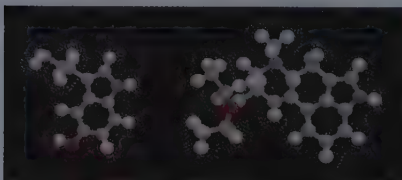
2 L'effet des drogues sur la vision

- L'usage de **psychotropes** comme le LSD entraîne des **hallucinations** visuelles. Le sujet croit percevoir des images qui pourtant n'existent pas dans la réalité. Celles-ci sont particulièrement riches en couleurs, ce qui donne le sentiment de voyager dans un « autre monde ».
- Le LSD, en raison de sa **forme tridimensionnelle** en partie semblable à celle du neurotransmetteur impliqué dans les synapses des voies visuelles, la **sérotonine**, peut se fixer sur les **récepteurs postsynaptiques** et générer un message nerveux en direction du cortex, malgré l'absence de messages provenant de la rétine.
- La sérotonine est impliquée dans d'autres synapses de l'encéphale, notamment celles impliquées dans l'émotivité, l'humeur, sur lesquelles agit le LSD, ce qui modifie le comportement et les sensations, jusqu'à créer un état dépressif grave.
- La consommation de LSD entraîne une **diminution du renouvellement des récepteurs** à la sérotonine.
- Par conséquent, pour continuer à ressentir le même effet, le toxicomane doit augmenter sa dose. C'est le phénomène d'**accoutumance**.

Lexique

Psychotropes : substances modifiant le fonctionnement du système nerveux central.

Hallucinations : altération de la perception.



Doc. Comparaison de molécule : à gauche la sérotonine, à droite le LSD

La mise en place des voies visuelles et l'organisation fonctionnelle du cortex se réalisent sous le contrôle du programme génétique et de l'environnement.

1 Plasticité et développement

A Un contrôle génétique

● On peut, grâce à l'injection d'un marqueur radioactif dans la rétine, rendre visible la **projection des neurones de chaque œil sur le cortex visuel**. Il apparaît alors un motif, caractéristique de cette projection, **identique chez tous les individus d'une même espèce**.

● Ainsi, les neurones du cortex visuel se mettent en place au cours du développement embryonnaire sous le **contrôle du programme génétique**.

B Une modulation par l'environnement

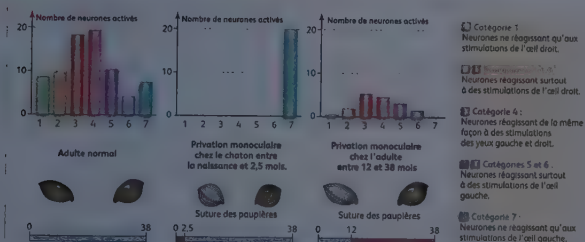
● Réalisée **peu après la naissance** et jusqu'à l'âge de 38 mois, la **suture d'un œil** chez un jeune chat entraîne la **cécité** définitive de cet œil. La rétine est pourtant fonctionnelle et les voies visuelles ne sont pas lésées.

● Pour se connecter correctement les neurones du cortex visuel doivent recevoir des messages visuels, générés par des stimulations de l'environnement. Cette stimulation est particulièrement importante au cours d'une période critique (située chez le chat entre 0 et 12 mois).

● En cas de cécité d'un seul œil, les neurones corticaux connectés à l'autre œil se développent en plus grand nombre. Ce phénomène permet une **compensation partielle**.

● Ainsi, il existe une **plasticité cérébrale**, le cortex est capable de modifier son développement en fonction des stimulations externes.

Doc. Nombre de neurones activés par catégorie chez l'adulte



2 Un remodelage des connexions cérébrales

- En cas de perte accidentelle de la vue chez l'adulte, on constate parallèlement un phénomène de compensation : le cortex visuel est colonisé par des neurones issus du cortex auditif. **De nouvelles connexions s'établissent.**
- Ainsi, la lecture en braille chez une personne aveugle de naissance ou depuis son jeune âge montre à l'imagerie médicale une activation du cortex visuel alors que cette opération ne fait appel qu'à la sensibilité tactile.
- Ainsi, même chez l'adulte, une sollicitation importante d'un organe des sens peut être suivie par une réorganisation corticale.
- Ces observations montrent que le phénomène de **plasticité cérébrale** se poursuit tout au long de la vie.

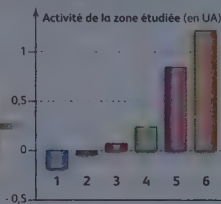
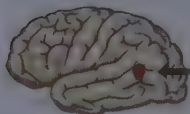
3 Plasticité et mémorisation

- La reconnaissance spécifique des mots peut être altérée alors que celle des formes est intacte. La **lecture** active une **zone corticale spécifique**.

1	2	3	4	5	6
Lettres inconnues	Lettres peu fréquentes	Lettres fréquentes	Deux lettres fréquentes	Quatre lettres fréquentes	Mot
ЛПГЖГЪУ	JZWYWK	QOADTQ	QUMBSS	AVONIL	MOUTON

Doc. Activation de la région de reconnaissance des mots

Localisation de la zone étudiée



- La **reconnaissance des mots** active une **zone cérébrale** dont l'équivalent chez les Primates est utilisée pour identifier visages et objets.
- Dans l'espèce humaine, **cette zone a été reconvertie au cours de l'évolution**. Mais cette transformation n'est pas spontanée : elle nécessite un **apprentissage de la lecture**. C'est un autre exemple de la plasticité cérébrale.
- Au-delà de l'apprentissage de la lecture, la plasticité cérébrale, c'est-à-dire des **modifications réversibles du cortex**, permet la **mémorisation** et rend, par ses expériences vécues, chaque individu unique y compris à l'échelle de ses connexions nerveuses.

Les chiffres renvoient aux numéros de pages

Accommodation	81
ADN polymérase	8
Agrosystème	43
Aire visuelle	91
Allèle	10, 68
AMH	54
Anomalie magnétique	25
Antibiogramme	78
Antibiotique	77
Apoptose	74
Arc insulaire	27
ARN messager	12, 13
ARN pré-messager	12
Asthénosphère	28, 33
Basalte	24, 26, 31
Bâtonnet	83, 84
Bimodale (courbe)	20
Biomasse	43
Biotope	41
Canal déférent	49
Canaux de Müller	50
Canaux de Wolff	50
Cancer	73, 74, 75
Castration	53
Cataracte	82
Chiasma optique	89
Chromatide	5
Code génétique	15
Codon	15
Cône	83, 84, 85, 86
Corps jaune	57
Cortex	66, 89, 91
Cristallines	82
Daltonisme	86
Diabète	72
Discontinuité	21
Dorsale océanique	25, 29, 33
Drépanocytose	17
Duplication	87
Écosystème	41, 42
Épissage	14

Exon	14
Expansion océanique	25
Faïlle transformante	30
FIVETE	62
Follicule ovarien	57, 58
FSH	59, 60, 62
Gabbro	24, 34
Gène	11
Génotype	18, 68
Gestation	50, 61, 64
Glaire cervicale	58, 63
GnRH	56, 60
Gonade	49
Granite	23
Hémoglobine	17
Hétérozygote	68
Homozygote	68
Hypophyse	55, 56, 60, 63
Hypothalamus	56, 60
Infertilité	61
Intégration	92
Interphase	5, 6
Intron	14
LH	59, 60, 62
Lithosphère	27, 28, 29, 30, 33
Loi de complémentarité	7
Magmatique (roche)	23
Métastase	73
Minéralogique (composition)	23
Mobilité horizontale	19
Moho	22, 23
Mucoviscidose	67
Mutagène	75
Neurotransmetteur	90, 92
Nidation	50
Niveau trophique	41
Œstrogènes	54, 59, 60
Oncogène	74

Index

Opsine	85, 86, 87	Sismologie	21
Ovocyte	50, 51, 57, 60	Solidus	33
Pangée	19, 38	Spermatogenèse	55
Papillomavirus	76	SRY (gène)	52
Péridotite	24, 34	Subduction	27, 28, 30
Phase folliculaire	57, 58	Subsidence	35, 40
Phase lutéale	57, 58	Susceptibilité (gène de)	72
Phénotype	17, 18	Synapse	83, 90, 92
Photorécepteur	83, 84	Système de récompense	65
Plaque	29, 30, 32	Testicule	49, 50, 55, 56
Plasmide	80	Testostérone	54, 55, 56
Plasticité cérébrale	93, 94	Thalamus	89
Plurifactorielle (maladie)	71	Thérapie génique	69
Point chaud	30	Tissu interstitiel	53
Polypeptide	11	Tomographie sismique	27, 28
Presbytie	82	Traduction	15, 16
Producteur primaire	42	Transcription	13, 18
Progestérone	59, 60	Trichromatique	85
Protéine	53, 74	Trompe	50, 61
Puberté	54	Tubes séminifères	54
Récessif	68, 86	Tumeur	73
Réseau trophique	41	Utérus	50, 53, 57, 58, 76
Rétine	81, 83	Vecteur	69
Rétrocontrôle	60	Vergence	81
Ribosome	16	Wegener	19, 23
Rift continental	37	Zone d'ombre	22
Séquence	9, 10, 11, 12		
Sérotonine	92		

- **Acide aminé** : molécule simple constitutive des protéines.
- **Agent mutagène** : substance ou agent physique augmentant la fréquence de mutation.
- **Agrosystème** : écosystème transformé afin de produire des végétaux et des animaux, et de pratiquer l'élevage ou la culture.
- **Allèle** : version d'un gène. Les allèles d'un même gène diffèrent par leur séquence en nucléotides.
- **AMH (hormone anti-müllérienne)** : hormone responsable de la régression des canaux de Müller chez le mâle.
- **Anomalie magnétique** : valeur mesurée du champ magnétique supérieure ou inférieure à la valeur moyenne du champ magnétique terrestre.
- **Asthénosphère** : partie du manteau supérieur plus fluide, située sous la lithosphère.
- **Biomasse** : masse totale de la matière des êtres vivants.
- **Chromatide** : partie d'un chromosome contenant une molécule d'ADN.
- **Code génétique** : système de correspondance entre le langage nucléotidique et les acides aminés.
- **Codon** : suite de trois nucléotides d'ARN correspondant à un acide aminé.
- **Contraception** : méthode visant à empêcher de façon réversible la conception.
- **Cortex cérébral** : partie superficielle du cerveau constituée de plusieurs couches de neurones.
- **Courbe bimodale** : courbe présentant deux pics, ce qui indique l'existence de deux catégories distinctes pour la variable mesurée.
- **Dorsale océanique** : relief sous-marin au niveau duquel se forme la lithosphère océanique.
- **Épissage** : mécanisme assurant l'élimination des introns de l'ARN pré-messager et l'association des exons.
- **Exon** : séquence d'ARN messager conservée à l'issue de la maturation.
- **Expansion océanique** : augmentation de la surface océanique liée à l'activité des dorsales.
- **Famille multigénique** : ensemble de gènes de séquence proche résultant de duplications successives et de mutations.
- **FIVETE (fécondation in vitro et transfert d'embryon)** : technique de procréation médicalement assistée au cours de laquelle la fécondation se produit hors de l'organisme (in vitro).
- **Flux géothermique** : quantité de chaleur dissipée à la surface du globe (exprimée en watts par unité de surface).
- **Follicule ovarien** : ensemble formé par l'ovocyte et les cellules folliculaires qui l'entourent.
- **Gamètes** : cellules sexuelles.
- **Gène architecte** : gène qui commande l'expression d'autres gènes.
- **Génotype** : ensemble des gènes portés par les chromosomes, sous leurs différentes formes ou allèles.
- **Hétérozygote** : individu qui possède deux allèles différents pour un gène donné.
- **Homozygote** : individu qui possède deux allèles identiques pour un gène donné.
- **Hormone** : messager chimique, transporté par le sang, agissant sur des cellules cibles munies de récepteurs spécifiques.
- **Hydrocarbures** : combustibles exclusivement composés de carbone et d'hydrogène (gaz, pétrole).
- **Intron** : séquence d'ARN messager éliminée à l'issue de la maturation.
- **Lithosphère** : couche superficielle du globe, rigide et cassante, constituée de la croûte et d'une partie du manteau.
- **Magma** : liquide provenant de la fusion d'une roche.

- **Métastase** : tumeur formée après la migration de cellules cancéreuses dans un nouveau site.
- **Mutation** : modification de la séquence en ADN.
- **Nidation** : implantation de l'embryon dans l'utérus.
- **Ondes sismiques** : vibrations qui se propagent dans les roches de proche en proche à la suite d'une brusque libération d'énergie.
- **Ovulation** : expulsion d'un ovocyte hors de l'ovaire.
- **Pangée** : supercontinent unique formé par la réunion des continents actuels.
- **Phénotype** : ensemble des caractères d'un individu.
- **Photorécepteurs** : cellules qui convertissent le signal lumineux en message nerveux.
- **Plaque** : portion de lithosphère en mouvement.
- **Plasticité cérébrale** : capacité du cortex à se modifier en fonction de l'environnement.
- **Producteurs primaires** : êtres vivants produisant leur matière organique à partir de matière minérale.
- **Productivité** : quantité de matière produite par unité de temps et de surface.
- **Réseau trophique** : ensemble de chaînes alimentaires interconnectées au sein d'un écosystème.
- **Récessif (allèle)** : allèle qui ne s'exprime que s'il est présent en double exemplaire.
- **Semi-conservative (réplication)** : mécanisme de réplication de l'ADN qui forme une nouvelle molécule dans laquelle un brin de l'ancienne est conservé.
- **Ribosomes** : éléments cytoplasmiques assurant la traduction.
- **Rétrocontrôle** : action en retour d'un organe sur celui qui le contrôle.
- **Sélection naturelle** : influence de l'environnement sur la probabilité de survie d'une population.
- **Séquence** : ordre dans lequel s'enchaînent les acides aminés d'une protéine ou les nucléotides d'un ADN ou d'un ARN.
- **Solidus** : courbe correspondant aux conditions minimales de température et de pression permettant la fusion partielle.
- **Subduction** : enfoncement en profondeur du plancher océanique au niveau des fosses océaniques.
- **Subsidence** : affaissement progressif de la lithosphère.
- **Tectonique** : étude des déformations relatives aux mouvements.
- **Thérapie génique** : technique consistant à compenser un gène déficient en introduisant dans les cellules un allèle normal de ce gène.
- **Tillites** : ensemble de blocs de roches consolidées provenant du déplacement d'un glacier.
- **Traduction** : synthèse d'une chaîne protéique à partir de l'information contenue dans l'ARN messager.
- **Transcription** : synthèse de l'ARN pré-messager.

Pour réviser vite et bien !

**DES FICHES SIMPLES ET CLAIRES
POUR UN MAXIMUM D'EFFICACITÉ !**

- **45 fiches détachables** au format poche
- **Des synthèses** sur tous les points du programme
- **De très nombreux schémas** utiles pour le bac
- **Des bulles d'aide** en marge : vocabulaire, remarques, conseils...

« Pour réviser
un peu tout le temps. »

ET EN PLUS

« On voit tout
d'un coup d'œil
sans effort. »

- **Un système pratique**
pour suivre ses révisions ☒ Lue ☐ Relue ☐ Apprise
- **Toutes les infos-clés** disponibles sur les rabats de couverture : lexique, schémas incontournables...
- **Des compléments numériques**
sur www.abcbac.com

TITRES DISPONIBLES EN 1^{re}

- Français 1^{re} L.E.S.S
- Français 1^{re} séries technologiques
- Histoire-Géographie 1^{re} ES-L
- Histoire-Géographie 1^{re} S
- Mathématiques 1^{re} S
- Physique-Chimie 1^{re} S
- Sciences 1^{re} ES.L
- SVT 1^{re} S

6,20 €

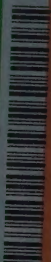
ISBN 978 209 150



9 782091 503219



Nathan



KR-297-049