

Cahier de leçons EDS SVT Terminale

Thème 1 La Terre, la vie et l'organisation du vivant

Chapitre 1. Génétique et évolution

Partie 1 : L'origine du génotype

➤ La conservation des génomes : stabilité génétique et évolution clonale

Au cours d'un cycle cellulaire, l'alternance réplication/mitose permet de conserver le génome de l'individu de génération en génération :

- la réplication permet la création d'une copie de la molécule d'ADN constituant chaque chromosome ;
 - la mitose répartit équitablement ces deux copies dans chacune des deux cellules filles.
- Ainsi, le nombre des chromosomes de chaque cellule et l'information génétique qu'ils portent sont conservés au cours des générations cellulaires.

La succession de mitoses produit un clone, c'est-à-dire un ensemble de cellules, toutes génétiquement identiques, aux mutations près. Ces clones sont constitués de cellules séparées (cas des nombreuses bactéries ou de nos cellules sanguines) ou associées de façon stable (cas des tissus solides).

En l'absence d'échanges génétiques avec l'extérieur, la diversité génétique dans un clone résulte de l'accumulation de mutations successives dans les différentes cellules. Tout accident génétique irréversible (perte de gène par exemple) devient pérenne pour toute la lignée (sous-clone) qui dérive du mutant.

➤ Le brassage des génomes à chaque génération : la reproduction sexuée des eucaryotes

La fécondation entre gamètes haploïdes rassemble, dans une même cellule diploïde, deux génomes d'origine indépendante apportant chacun un lot d'allèles. Chaque paire d'allèles résultant est constituée de deux allèles identiques (homozygotie) ou de deux allèles différents (hétérozygotie). En fin de méiose, chaque cellule produite reçoit un seul des deux allèles de chaque paire avec une probabilité équivalente. Pour deux paires d'allèles, quatre combinaisons d'allèles sont possibles, équiprobables ou non en cas de gènes liés.

Il existe 2 types de brassage : interchromosomique et intrachromosomique :

- Le brassage interchromosomique des chromosomes est le résultat de la migration aléatoire des chromosomes homologues lors de la 1ère division de méiose. Le nombre de gamètes possibles est de 2^n où n représente le nombre de paires de chromosomes.
- Le brassage intrachromosomique a pour origine des échanges de fragments homologues de chromatides (crossing-over égal ou enjambement ou recombinaison homologue) se produisant entre chromosomes homologues d'une même paire, au cours de la méiose. Les chromosomes ainsi remaniés (issus de brassage intrachromosomique) subissent ensuite un brassage interchromosomique résultant de la migration aléatoire des chromosomes homologues lors de la 1ère division de méiose.

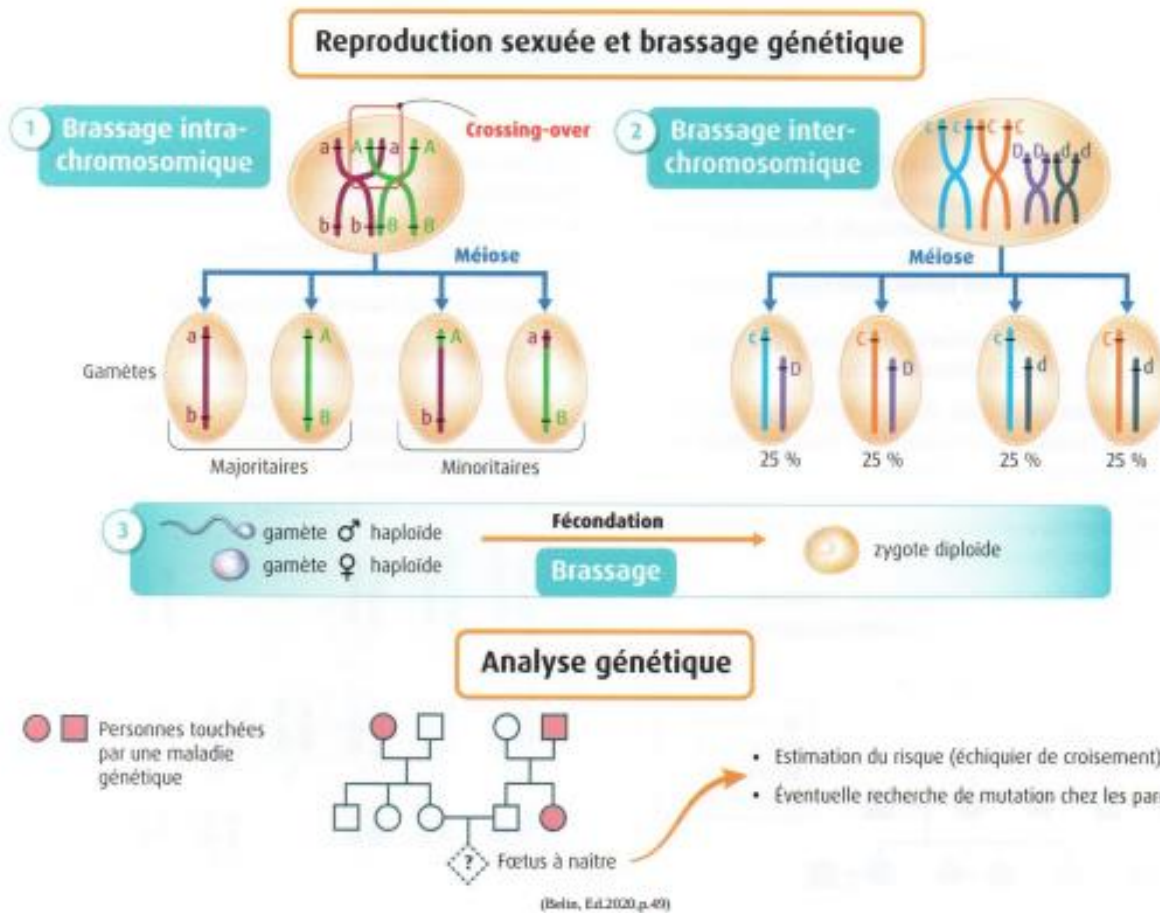
Une diversité potentiellement infinie de gamètes est ainsi produite.

Le nombre de combinaisons génétiques possibles dans les gamètes est d'autant plus élevé que le nombre de gènes à l'état hétérozygote est plus grand chez les parents.

➤ Comprendre les résultats de la reproduction sexuée : principes de base de la génétique

L'analyse génétique peut se fonder sur l'étude de la transmission héréditaire des caractères observables (phénotype) dans des croisements issus le plus souvent de lignées pures (homozygotes) et ne différant que par un nombre limité de caractères. Dans le cas de l'espèce humaine, l'identification des allèles portés par un individu s'appuie d'abord sur une

étude au sein de la famille, en appliquant les principes de transmission héréditaire des caractères. Le développement des techniques de séquençage de l'ADN et les progrès de la bioinformatique donnent directement accès au génotype de chaque individu comme à ceux de ces ascendants et descendants. L'utilisation de bases de données informatisées permet d'identifier des associations entre certains gènes mutés et certains phénotypes.



➤ Les accidents génétiques de la méiose

Des anomalies peuvent survenir au cours de la méiose :

- Une migration anormale d'un chromosome en anaphase (I ou II) se traduit par la formation de gamètes ayant un chromosome supplémentaire ou au contraire un chromosome en moins. Après fécondation, la cellule-œuf sera trisomique (possédant pour l'un de ses chromosomes trois exemplaires au lieu de deux ou monosomique (possédant pour l'un de ses chromosomes un seul exemplaire au lieu de deux).

- Les chromosomes peuvent subir d'autres types d'anomalies type crossing-over inégal qualifié de duplication génique :

- Fission : scission d'un chromosome en deux chromosomes distincts ;
- Fusion : soudure de deux chromosomes non homologues ;
- Inversion : cassure d'un chromosome, retournement puis soudure ;
- Translocation : cassure de deux chromosomes non homologues et soudure après échange réciproque d'une partie de chromosome. Ces anomalies ont des conséquences importantes pour l'individu qui en hérite.

Très souvent, les anomalies chromosomiques sont incompatibles avec la vie et conduisent à des avortements spontanés en début de grossesse (« fausses couches »). Dans l'espèce humaine, certaines anomalies sont cependant viables comme par exemple la trisomie 21 (la plus fréquente) ou la monosomie X.

Ces accidents sont une source de diversification génomique :

- La spéciation : On constate que des espèces étroitement apparentées (les primates hominoïdes par exemple) ont des caryotypes présentant de fortes similitudes. La comparaison de leurs caryotypes montre une variation du nombre de chromosomes due à des fusions ou des inversions. Ainsi, aussi paradoxal que cela puisse paraître, on observe que des anomalies

chromosomiques dues à des méioses anormales jouent un rôle important dans l'évolution des espèces. En effet, des configurations différentes du caryotype constituent des barrières entre populations, conduisant à un isolement reproducteur, prélude d'un événement de spéciation.

- Les familles multigéniques : des duplications suivies de mutations produisent un ensemble de gènes différents mais présentant des ressemblances de séquences dues à leur origine commune. Il est possible de reconstituer l'histoire d'une famille multigénique en comparant deux à deux les gènes qui en font partie (ou les protéines qu'ils codent), et en considérant que plus leurs ressemblances sont grandes, plus la duplication génique qui leur a donné naissance est récente. Dans le génome humain, on a pu identifier de nombreuses familles multigéniques (familles des globines, des hormones hypophysaires, des opsines...). Par exemple, chez les mammifères, il apparaît que de nombreuses espèces possèdent plusieurs copies du gène codant pour l'amylase salivaire, permettant une meilleure adaptation à leur régime alimentaire. Au sein même de l'espèce humaine, il existe une diversité du nombre de gènes codant pour cette enzyme. Cependant, les exemplaires dupliqués d'un même gène peuvent subir des mutations aléatoires, rendant ces gènes de plus en plus différents avec le temps. Cela peut aboutir à la fabrication de diverses protéines, procurant de nouvelles fonctions aux cellules qui expriment ces gènes. C'est ainsi que se constitue ce qu'on appelle une famille multigénique.

Ainsi, il apparaît qu'une part importante de la diversité des génomes résulte de duplications accidentelles suivies de mutations.

Pour réviser :

- <https://www.profsvt71.fr/pages/terminale-spe-svt/terminale-spe-svt/> <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-Tale-Spe-SVT.php>

En résumé :

En vidéo :

<https://www.youtube.com/watch?v=DkquDCGv-HE&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1>

<https://www.youtube.com/watch?v=H2->

[WEGtDPs&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=2](https://www.youtube.com/watch?v=H2-WEGtDPs&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=2)

https://www.youtube.com/watch?v=73P6tB_SN9A&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=3

<https://www.youtube.com/watch?v=Z8mC-hCbdVI&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=4>

<https://www.youtube.com/watch?v=y-UFfkyASDY&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=5>

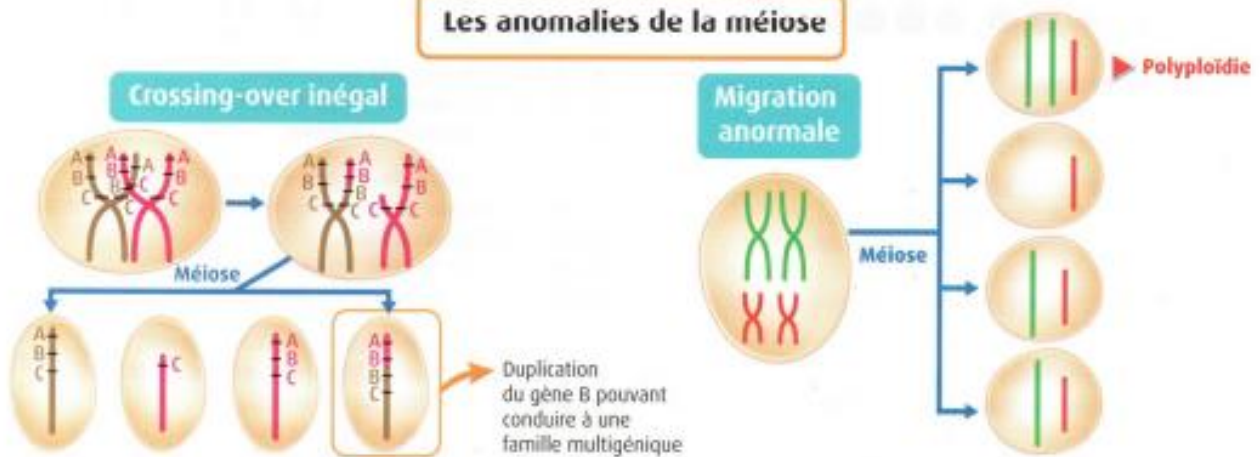
<https://www.youtube.com/watch?v=x80oCPJLshw&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=6>

<https://www.youtube.com/watch?v=gCvUHkpuYGI&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=7>

https://www.youtube.com/watch?v=1RZrmUuxy_s&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=8

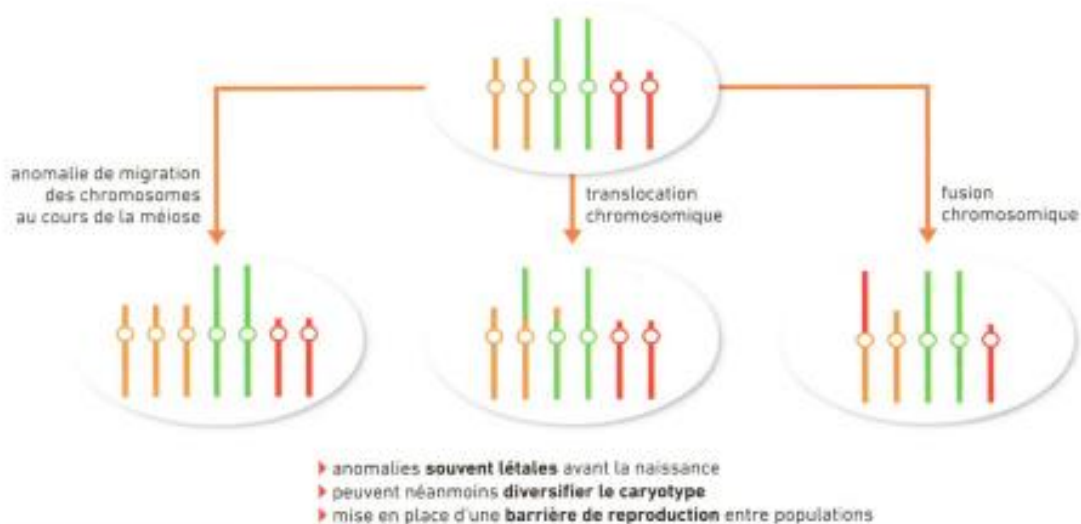
<https://www.youtube.com/watch?v=zCvpeXuW0f4&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=9>

Les anomalies de la méiose



(Beliz, Ed.2020,p.49)

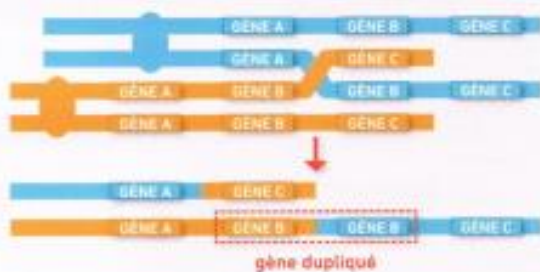
Des accidents générateurs d'une diversification du caryotype



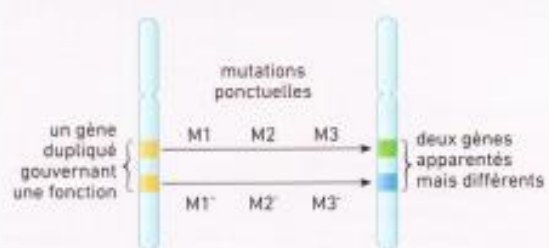
Des mécanismes génétiques qui enrichissent les génomes

Un mécanisme qui multiplie les gènes

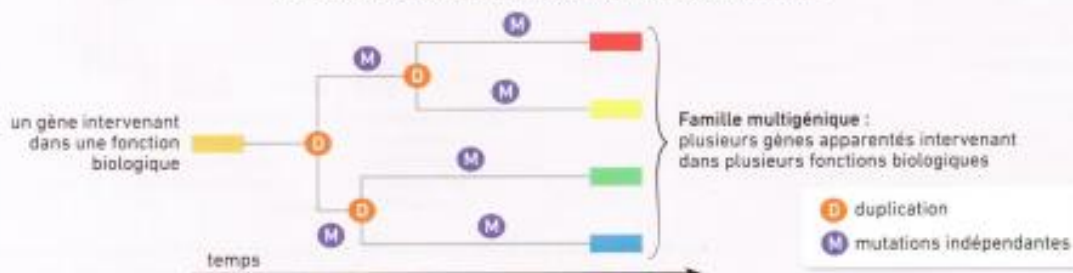
crossing-over inégal



Des gènes apparentés qui se différencient au cours du temps

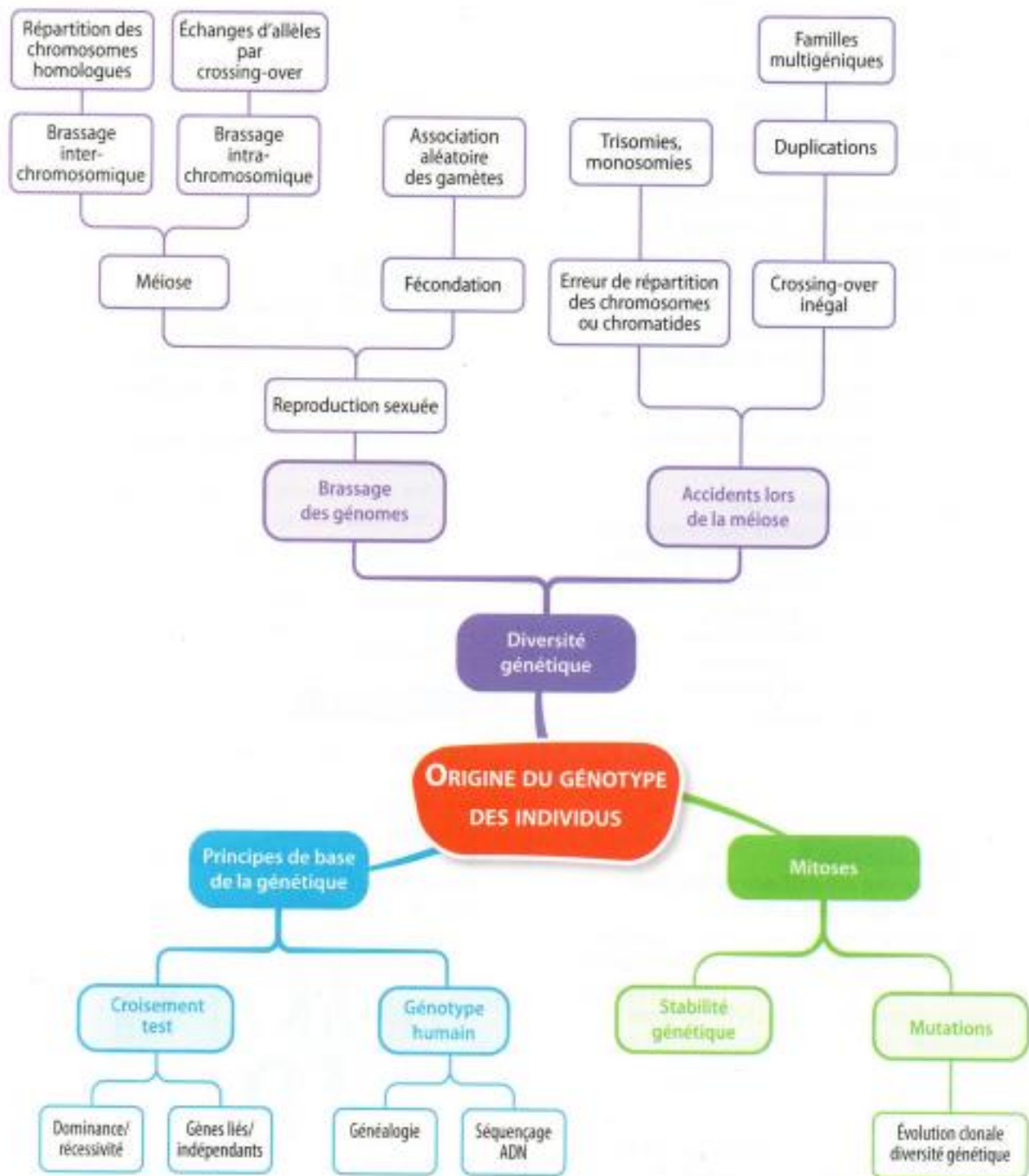


De nouveaux gènes qui confèrent de nouvelles fonctions



(Bordas, Ed.2020,p.57)

CARTE MENTALE



Partie 2 : La complexification des génomes : transferts horizontaux et endosymbiose

➤ L'universalité de l'ADN et transferts horizontaux

L'ADN est un acide nucléique un polymère de quatre nucléotides (NT) : NT à A, NT à T, NT à G et NT à C. La molécule est constituée de deux brins complémentaires : NT à A avec NT à T, NT à G avec NT à C. Sa structure est universelle dans le monde vivant et elle constitue le support de l'information génétique.

Ces caractéristiques de l'ADN autorisent alors des échanges génétiques entre organismes non nécessairement apparentés. Des échanges de matériel génétique, hors de la reproduction sexuée, constituent des transferts horizontaux (par opposition aux échanges verticaux des ascendants aux descendants). Ils se font par des processus variés (vecteurs viraux, conjugaison bactérienne...). Les transferts horizontaux sont très fréquents et peuvent s'effectuer de manière variable :

- La transformation. Un fragment d'ADN est libéré par une bactérie donneuse et récupéré par une bactérie receveuse (c'est ce qui a été historiquement démontré par Griffith sur les pneumocoques S et R alors que le facteur transformant a été démontré par Avery et MacLeod).
- La conjugaison. Une sorte de pont s'établit entre la bactérie donneuse et la receveuse par lequel de l'ADN est échangé sous forme de plasmide (petit chromosome circulaire indépendant du chromosome bactérien lui aussi circulaire).
- La transduction où c'est un virus qui infecte des bactéries (il est qualifié de phage) qui sert de vecteur de transfert d'ADN. Certains phages peuvent incorporer des fragments de génome bactérien dans leur génome et le transférer à une autre bactérie receveuse.

On estime que plus de 30 % des génomes bactériens sont hérités de transferts horizontaux. Ils sont donc fréquents entre bactéries. On en trouve aussi chez les eucaryotes (exemple de la syncytine produite par certains mammifères, et dont le gène est d'origine virale. Il existe de nombreux autres exemples).

Ils ont des effets très importants sur l'évolution des populations et des écosystèmes. Les pratiques de santé humaine sont concernées : ces transferts sont responsables de la propagation des résistances aux antibiotiques mais ils permettent d'envisager des biotechnologies comme la transgénèse (par exemple la production d'insuline humaine par une bactérie receveuse).

➤ Les endosymbioses

Ce processus est à l'origine des mitochondries et des chloroplastes, organites de la cellule eucaryote contenant de l'ADN et permettant respectivement la respiration cellulaire et la photosynthèse.

Ces organites présentent des particularités (entourés par une double membrane, la plus externe correspondant à une membrane de phagocytose), ils ont leur propre ADN, leurs ribosomes sont de nature bactérienne, la transcription et la traduction sont simultanées comme chez les bactéries... Ce faisceau d'arguments montre que ces organites auraient une origine bactérienne (eubactéries plus précisément).

C'est la théorie endosymbiotique : Ces deux endosymbioses sont à l'origine de l'acquisition de la photosynthèse et de la respiration par les cellules eucaryote.

La phylogénie (étude des relations de parenté) montre que l'ADN des mitochondries ressemble à celui des alphaprotéobactéries ; l'ADN des chloroplastes ressemble à celui des cyanobactéries.

Ainsi, au cours de l'évolution, le génome de ces organites a fortement régressé, de nombreux gènes étant maintenant dans le génome nucléaire. Ces organites sont transmis avec le cytoplasme : c'est l'hérédité cytoplasmique.

Pour réviser :

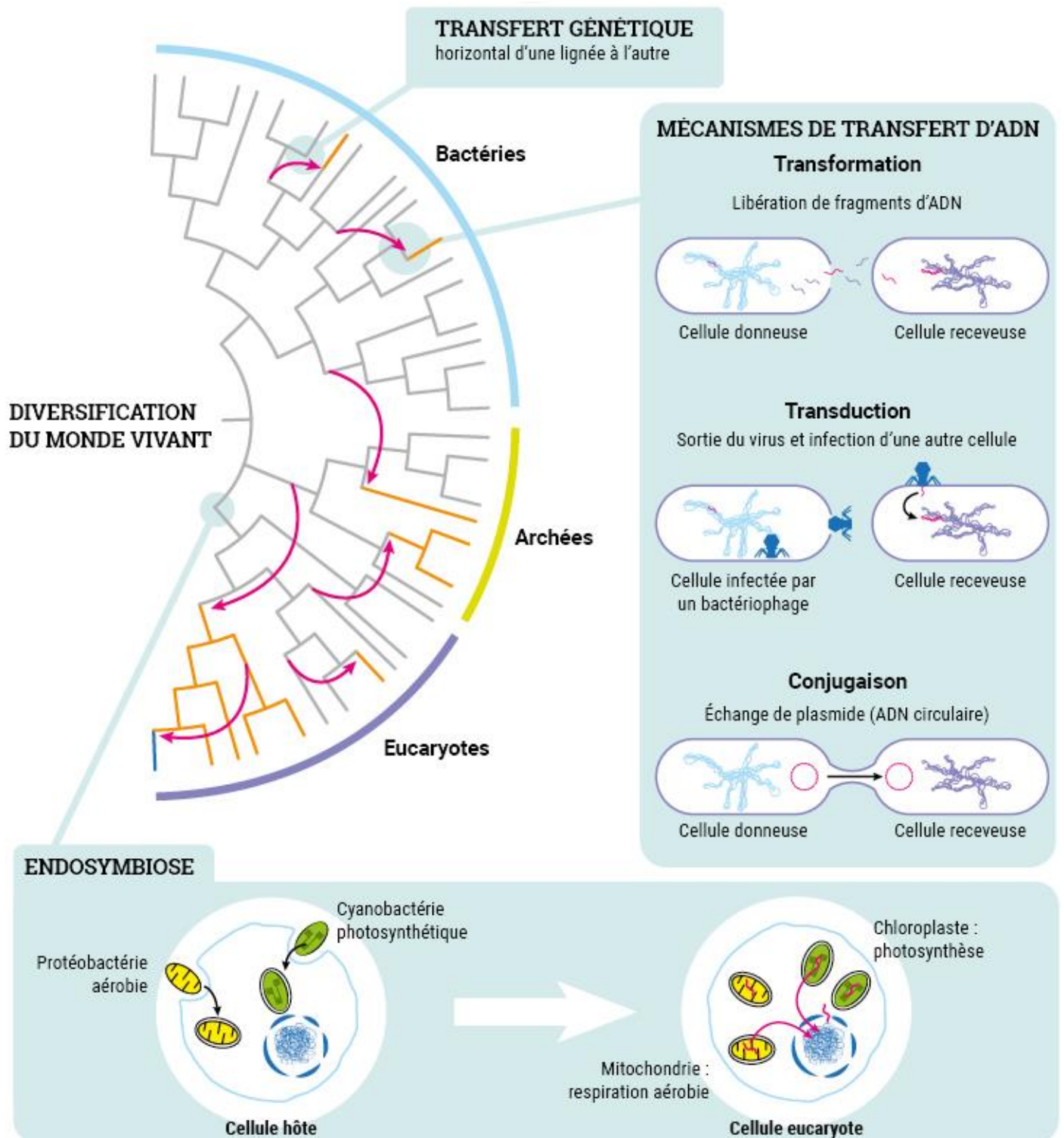
- <https://www.profsvt71.fr/pages/terminale-spe-svt/terminale-spe-svt/> <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-Tale-Spe-SVT.php>

En vidéo :

https://www.youtube.com/watch?v=X_Ba6-5k9QY&list=PLB2JikIA1NHfFic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=10

<https://www.youtube.com/watch?v=ZLIJCwe0Xn8&list=PLB2JikIA1NHfFic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=11>

En résumé :



Partie 3 : L'inéluctable évolution des génomes au sein des populations

➤ Un modèle théorique : la loi de Hardy-Weinberg

C'est de la génétique des populations (= modèle à l'échelle d'une population). Une population est un ensemble d'individus d'une même espèce vivant sur un même territoire géographique.

Chez les eucaryotes à reproduction sexuée, le modèle théorique de Hardy-Weinberg prévoit la stabilité des fréquences relatives des allèles dans une population.

Exemple de deux allèles pour un gène : A (de fréquence p) et B (de fréquence q) tel que $f(A) + f(B) = 1$. A l'échelle d'une population et au cours des générations :

- Les fréquences relatives des deux allèles se maintiennent ;
- Les fréquences des génotypes des zygotes issus de la reproduction sexuée se maintiennent telles que $p^2 + q^2 + 2pq = 1$.

On retrouve les fréquences génotypiques dans le tableau suivant.

Echiquier de croisement

	(A) p	(B) q
(A) p	(A/A) p^2	(A/B) pq
(B) q	(A/B) pq	(B/B) q^2

Ainsi, au cours des générations, les fréquences des allèles et des génotypes restent constantes à condition qu'aucune force évolutive s'exerce sur les individus. Les forces évolutives potentielles sont les suivantes :

- La préférence sexuelle : le choix des individus (donc des allèles) ne se fait pas au hasard empêchant alors la panmixie (croisements au hasard) ;
- Les mutations qui sont à l'origine de nouveaux allèles ;
- La sélection naturelle qui agit sur certains allèles (les mutations favorables ont tendance à se répandre dans la population) ;
- La dérive génétique qui fait fortement varier les fréquences alléliques lorsque les populations ont de faibles effectifs ;
- Les migrations qui entraînent des flux géniques (les individus qui migrent emportent certains allèles de la population de départ modifiant ainsi les fréquences).

Si l'équilibre n'est pas présent, c'est qu'au moins une des conditions précédentes n'est pas respectée. Il existe de nombreuses contraintes au modèle, qui ne peut donc souvent pas être respecté dans la nature

➤ La différenciation génétique

Une espèce est fondée sur les croisements possibles entre individus (= l'interfécondité) et la fertilité de la descendance (= un flux génétique est possible entre individus ce qui signifie l'absence d'isolement reproducteur). Si ce flux cesse (suite à des barrières géographique, comportementale, écologique), il peut y avoir spéciation (= naissance de nouvelles espèces) par isolement reproducteur (= empêchement ou limitation d'un croisement entre deux individus).

Les populations sont soumises à la sélection naturelle et à la dérive génétique.

- La dérive génétique est la variation aléatoire de la fréquence des allèles dans une population au cours du temps (conséquence de la reproduction sexuée). Elle concerne les allèles n'apportant ni avantage ni inconvénient aux individus. Lorsque l'effectif de la population est faible, la dérive génétique est forte (grandes variations temporelles des fréquences alléliques). Lorsque l'effectif est important, la dérive génétique est faible (relative stabilité des fréquences alléliques).

- La sélection naturelle est la modification de la fréquence des allèles dans une population au cours des générations successives (conséquence de la reproduction

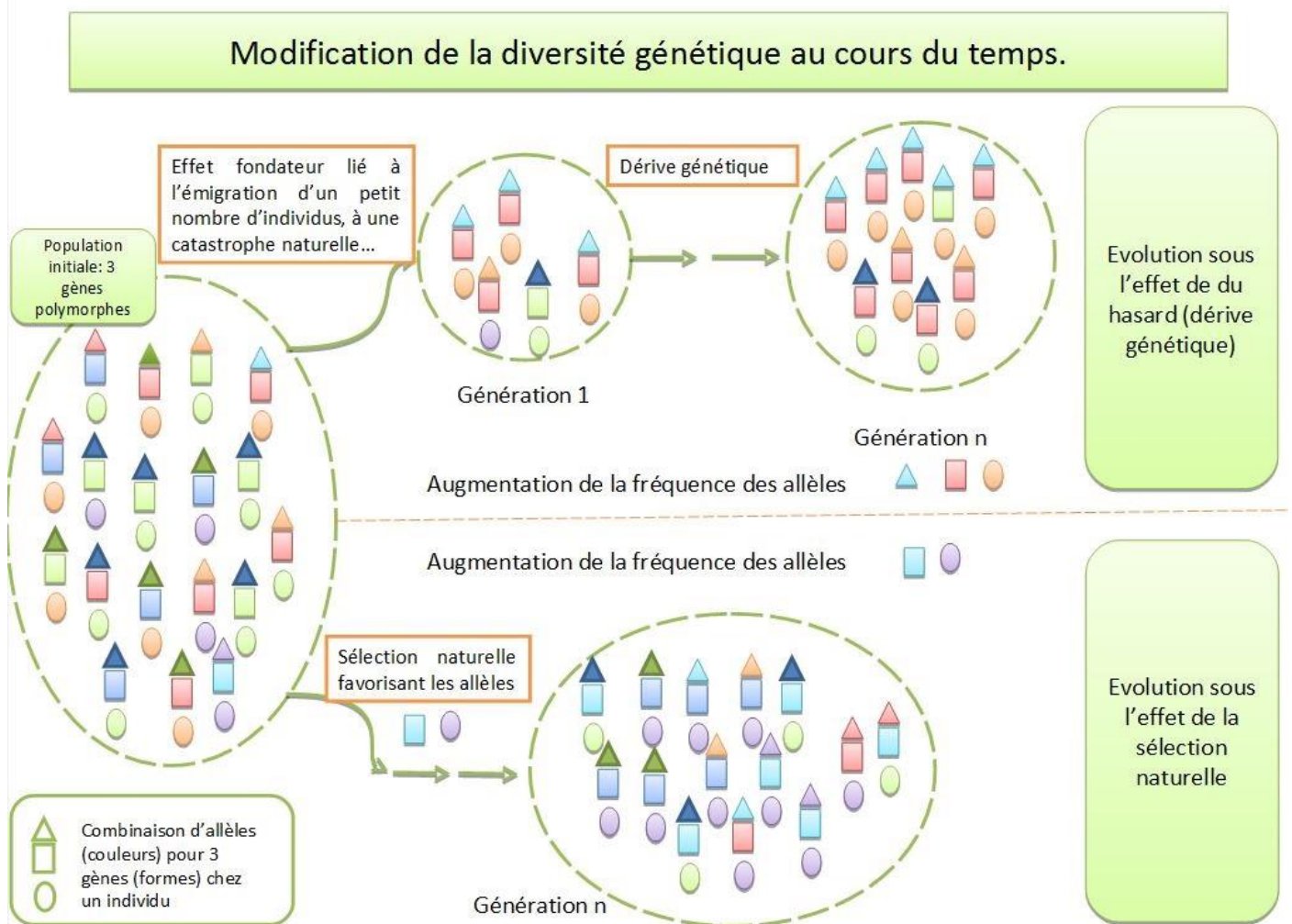
sexuée). Les allèles qui, sous certaines conditions (contrainte du milieu, qu'elle soit liée au vivant (= biotique) ou non (= abiotique)), apportent un avantage à ceux qui les possèdent, sont sélectionnés (= ils sont transmis préférentiellement aux descendants lors de la reproduction sexuée du fait d'une meilleure probabilité de survie des individus).

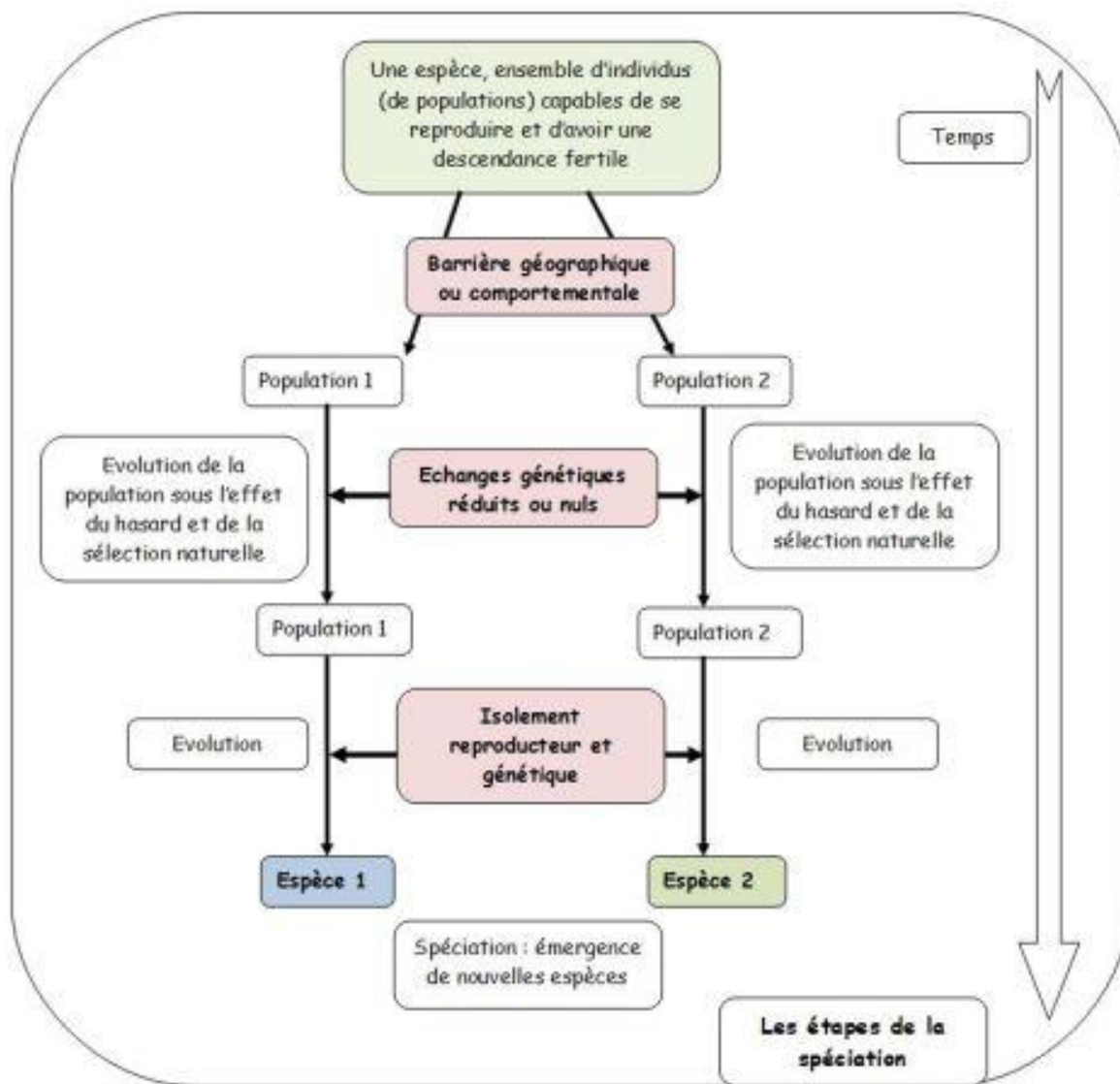
À cause de l'instabilité de l'environnement biotique et abiotique, une différenciation génétique se produit obligatoirement au cours du temps. Cette différenciation peut conduire à limiter les échanges réguliers de gènes entre différentes populations. Toutes les espèces apparaissent donc comme des ensembles hétérogènes de populations, évoluant continuellement dans le temps.

Pour réviser :

- <https://www.profsvt71.fr/pages/terminale-spe-svt/terminale-spe-svt/> <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-Tale-Spe-SVT.php>

En résumé :





En vidéo :

<https://www.youtube.com/watch?v=0p-AKbrNeSE&list=PLB2JikIA1NHfFic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=12>

Partie 4 : D'autres mécanismes contribuent à la diversité du vivant

➤ Diversification phénotypique sans diversification génomique

La diversification phénotypique des êtres vivants n'est pas uniquement due à la diversification génétique. D'autres mécanismes interviennent comme les associations non héréditaires (pathogènes ou symbiotes ; cas du microbiote acquis) :

- Pour les associations symbiotiques, les deux partenaires ensemble ont des caractéristiques que n'ont pas les partenaires pris isolément : c'est donc une source de diversification du vivant.
- De même pour des associations qui lient un être vivant pathogène et un autre être vivant : le comportement de l'être vivant infecté peut être modifié. C'est donc une source de diversification du vivant.
- Le microbiote est l'ensemble des microorganismes vivant chez un hôte (symbiose hôte - microbiote). Ce microbiote n'est pas transmis par voie génétique, mais est acquis à la naissance et évolue au cours de la vie. Il possède divers rôles dans l'organisme (dans la digestion des fibres par exemple, la stimulation du système immunitaire). Il peut devenir pathologique en cas de déséquilibre.

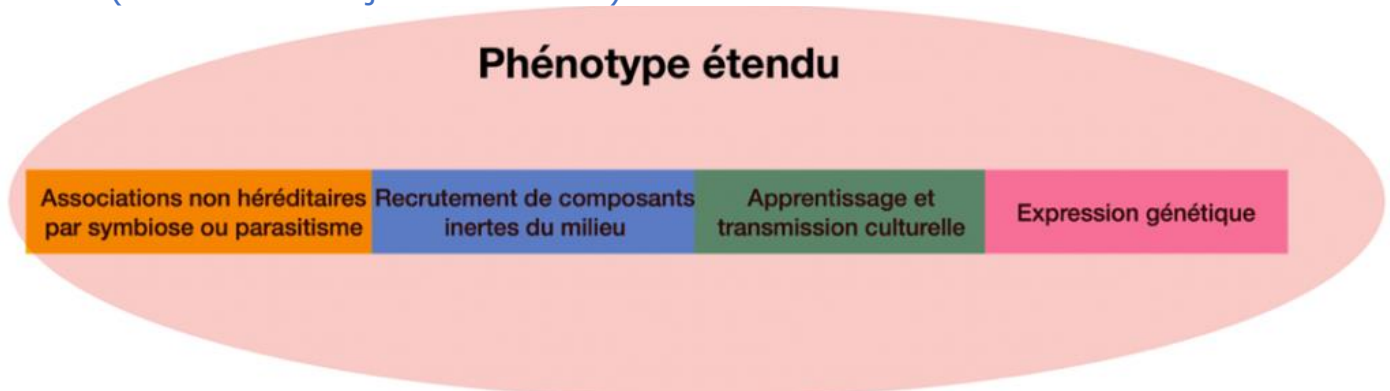
L'ensemble de ces associations se fait sans échange de matériel génétique et n'est pas transmise génétiquement

➤ La notion de phénotype étendu

La diversification phénotypique des êtres vivants peut également être liée au recrutement de composants inertes du milieu qui modulent le phénotype (constructions, parures...).

Le phénotype étendu est un concept selon lequel le phénotype ne doit pas être limité au seul résultat de l'expression des gènes, mais étendu à toutes les manifestations qui en découlent, comme le comportement de l'individu dans son environnement, des constructions...

Ces comportements et/ou constructions peuvent constituer des avantages sélectifs. Comme exemple, on peut trouver la soie de l'araignée qui a diverses fonctions suivant l'espèce considérée. D'autres êtres vivants comme les larves de trichoptères se servent d'éléments trouvés dans leur environnement pour se protéger (construction d'un fourreau). Des composants de l'environnement peuvent aussi servir d'attractif sexuel (ex. de l'oiseau jardinier satiné).



➤ Evolution culturelle et biologique

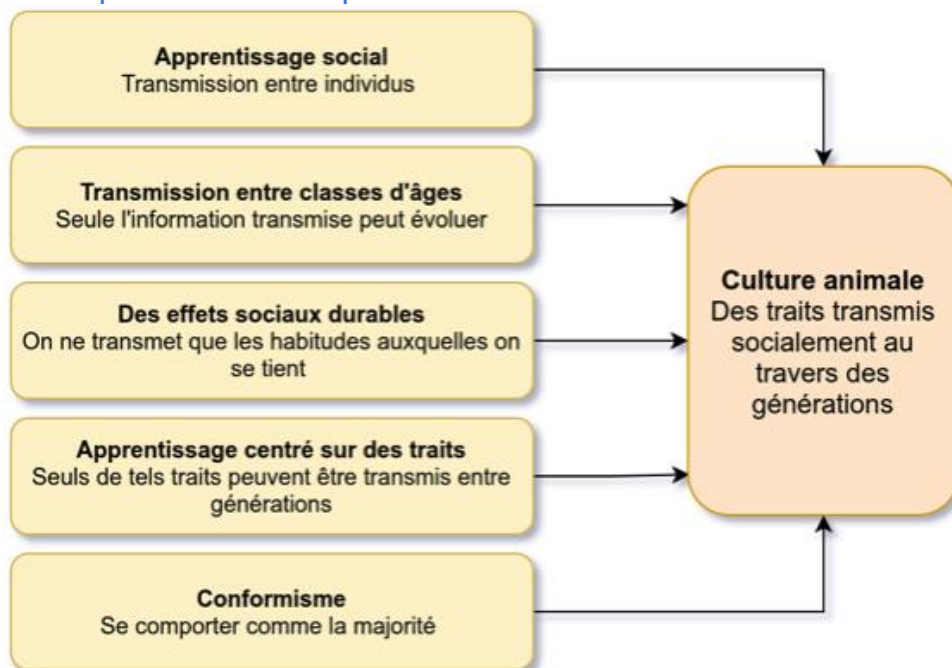
Chez certains animaux, les comportements acquis peuvent être transmis d'une génération à l'autre et constituer une source de diversité : ainsi du chant des oiseaux, de l'utilisation d'outils dans des populations animales, de la culture notamment dans les sociétés humaines. Ces traits sont transmis entre contemporains et de génération

en génération, et subissent une évolution (apparition de nouveaux traits, qui peuvent être sélectionnés, contre-sélectionnés ou perdus par hasard).

Les primates peuvent aussi présenter des comportements particuliers. Ces pratiques ou comportements sont transmis d'individus à d'autres dans la même génération (transmission horizontale) et aussi d'une génération à l'autre (transmission verticale). Cela se fait par imitation des parents et/ou congénères et apprentissage. Si ces comportements ou pratiques confèrent un avantage sélectif, ils se répandent dans la communauté qui les pratiquent et sont transmis de génération en génération (sélection). Cela n'exclut pas qu'ils peuvent être perdus (par le fruit du hasard, ou par contre-sélection car ils n'apportent plus d'avantage dans le nouvel environnement). Chez les oiseaux, il y a par exemple un comportement d'apprentissage du chant au contact des congénères : le chant n'est pas un comportement inné mais transmis au sein de la population. L'apprentissage du chant se fait progressivement par imitation d'un adulte (transmission verticale ou culturelle).

Dans l'espèce humaine, il y a aussi transmission de la culture (langues, régimes alimentaires, outils, art...).

Ces comportements acquis sont aussi une source de diversité.

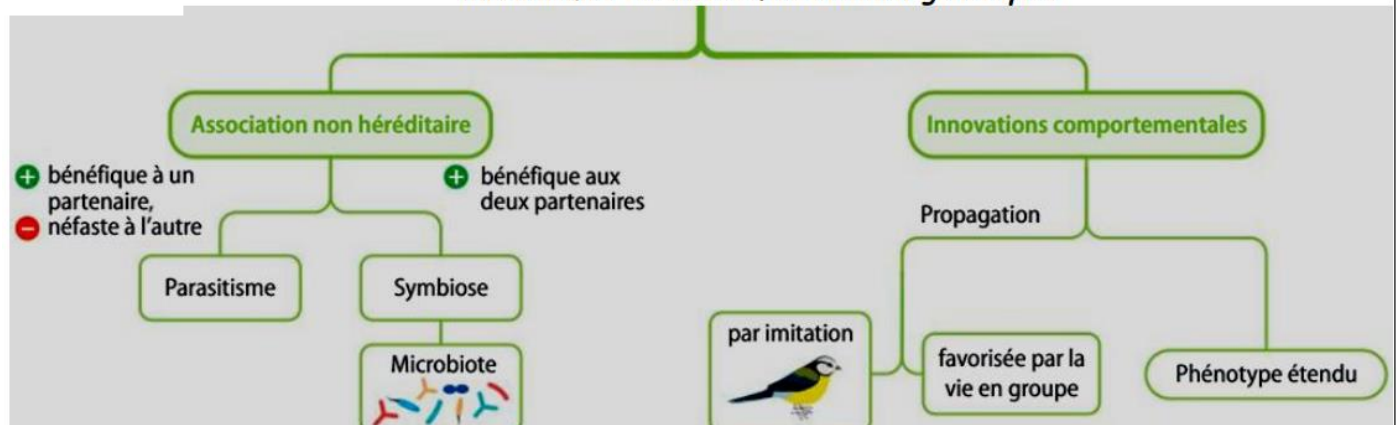


Pour réviser :

- <https://www.profsvt71.fr/pages/terminale-spe-svt/terminale-spe-svt/> <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-Tale-Spe-SVT.php>

En résumé :

Mécanismes de diversification non génétiques



En vidéo :

<https://www.youtube.com/watch?v=MnaUW0hcvTI&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=13>

Bilan Thème 1 sous partie 1 :

Les mécanismes à l'origine de la diversification du vivant.						
Les mutations	Reproduction sexuée		polyploïdisation	Transfert horizontal	Mutations dans une séquence régulatrice de l'expression de gène.	Symbiose
Diversités alléliques - polymorphisme des gènes	Méiose Brassage intrachromosomique Brassage interchromosomique Duplication génique	fécondation	mécanisme qui augmente le nombre de lots de chromosomes (hybridation) (anomalies de méioses/mitoses)	Transfert de gènes entre espèces différentes	Variations dans l'intensité d'expression des gènes	Association durable et à bénéfices réciproques entre deux espèces
La reproduction sexuée brasse les allèles des gènes obtenus par les mutations. Elle conduit à des combinaisons originales d'allèles.			Mécanismes qui reposent sur une modification du génome	Génome identique, modification de son expression	Mécanismes sans modification du génome	
↓						
Diversification du vivant, biodiversité des espèces, des populations.						
Les populations se modifient au cours du temps, sous l'effet :						
↓						
de la sélection naturelle			de la dérive génétique			
Sous l'effet de la pression exercée par l'environnement, certains individus se reproduisent plus que d'autres, on observe des modifications des caractères phénotypiques de la population au cours du temps			Lors de la reproduction sexuée, sous l'effet du hasard des individus qui se reproduisent et des gamètes utilisés, on observe une évolution des caractères phénotypique de la population au cours du temps			
↓						
Les modifications des populations au cours du temps constituent l'évolution biologique						
↓						
Au sein d'une même espèce, l'évolution des populations peut conduire à l'apparition de nouvelles espèces. Deux éléments contribuent à l'apparition d'une nouvelle espèce ou spéciation :						
Isolement reproducteur :			Isolement génétique :			
Au sein d'une même espèce, deux populations s'isolent, évoluent et ne peuvent plus se reproduire.			Au sein d'une même espèce, deux populations isolées n'échangent plus aucun allèle.			
Chaque population est considérée comme une nouvelle espèce. Le processus à l'origine de la formation d'une nouvelle espèce se nomme spéciation.						
↓						
Evolution des populations, spéciation, évolution des espèces						

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

Chapitre 2. A la recherche du passé géologique de notre planète

Partie 1 : Le temps et les roches.

La datation relative permet d'ordonner les uns par rapport aux autres des structures et des événements géologiques variés (strates, plis, failles, minéraux, discordance, sédimentation, intrusion, orogénèse). Elle ne donne pas d'âge absolu (= âge chiffré), ce qui correspond à la datation absolue.

➤ Chronologie relative

Les relations géométriques permettent de reconstituer la chronologie relative de structures ou d'événements géologiques de différentes natures et à différentes échelles d'observation. Il existe 3 principes :

- Le principe de superposition : une structure située au-dessus d'une autre est plus récente.
- Le principe de recoupement : une structure qui en recoupe une autre est plus récente.
- Le principe d'inclusion : une structure incluse dans une autre est antérieure
- Le principe de continuité indique qu'une strate (= une couche) a le même âge sur toute son étendue.

Ces principes sont applicables à différentes échelles d'observation (minéraux, roches, affleurements, cartes géologiques).

Les associations de fossiles stratigraphiques, fossiles ayant évolué rapidement et présentant une grande extension géographique, sont utilisées pour caractériser des intervalles de temps. L'identification d'associations fossiles identiques dans des régions géographiquement éloignées permet l'établissement de corrélations temporelles entre formations.

Les coupures dans les temps géologiques sont établies sur des critères paléontologiques : l'apparition ou la disparition de groupes fossiles. La superposition des intervalles de temps, limités par des coupures d'ordres différents (ères, périodes, étages), aboutit à l'échelle stratigraphique.

Dans l'échelle stratigraphique, les subdivisions sont « ères » puis « périodes » puis « étages ». Elle montre :

- que la séparation entre les trois ères est fondée sur des crises biologiques ;
- que la séparation entre certaines périodes est aussi fondée sur des crises biologiques ;
- que l'ère paléozoïque débute par la diversification du vivant ;
- Que les étages ont été définis par l'apparition d'une ou plusieurs espèces fossiles.

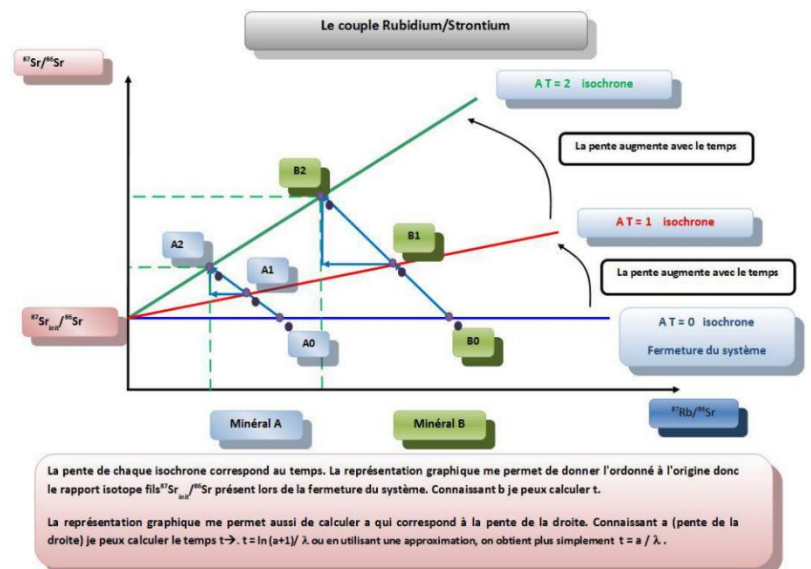
➤ Chronologie absolue

La désintégration radioactive est un phénomène continu et irréversible ; la demi-vie d'un élément radioactif est caractéristique de cet élément. La quantification de l'élément père radioactif et de l'élément fils radiogénique permet de déterminer l'âge

des minéraux constitutifs d'une roche. Différents chronomètres sont classiquement utilisés en géologie. Ils se distinguent par la période de l'élément père. Le choix du chronomètre dépend de l'âge supposé de l'objet à dater, qui peut être appréhendé par chronologie relative.

Les éléments radioactifs doivent s'incorporer dans les roches : c'est en fait la fermeture du système que l'on date, c'est-à-dire le moment où il n'y a plus d'échange avec le milieu extérieur. On peut ainsi dater différents types de roches, essentiellement les roches magmatiques et métamorphiques à partir des quantités d'éléments père et/ou fils. Au sein d'une même roche, des minéraux peuvent avoir des âges différents compte tenu qu'ils ont des températures de fermeture différentes. Il existe plusieurs couples de radiochronomètres, caractérisés par des demi-vies différentes : on choisit le couple suivant la présence initiale d'isotopes radioactifs dans l'échantillon mais aussi de l'âge de l'objet à dater (certains couples sont adaptés à des périodes très anciennes, d'autres très récentes). Pour cela, une estimation de l'âge de l'échantillon par chronologie relative est nécessaire. En général, au bout de 8 à 10 demi-vies, la méthode n'est plus utilisable.

- Le couple Rubidium (père)/ Strontium (fils). Le couple ^{87}Rb (élément père) et ^{87}Sr (élément fils) a une demi-vie de 48,8 Ga. On ne connaît pas la quantité initiale de $^{87}\text{Rb}_0$ ni la quantité initiale de $^{87}\text{Sr}_0$. Dans l'équation à résoudre, on se



- retrouve donc avec plusieurs inconnues. Il faut alors passer par un autre isotope du Sr : ^{86}Sr , lui aussi stable, mais non issu de la désintégration. Cela permet alors d'obtenir une droite, dite droite isochrone, dans un graphique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = f(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})$. Le coefficient directeur de la droite donne alors accès à l'âge recherché puisque $t = \ln(a + 1) / \lambda$.
- Le couple potassium (père)/ argon (fils). On l'utilise pour des périodes assez anciennes du fait de la demi-vie de 1,25 Ga. On mesure ici la production de ^{40}Ar ainsi que ^{40}K restant sachant que la concentration en $^{40}\text{Ar}_0$ est nulle lors de la fermeture du système. Comme on connaît les quantités finale et initiale en isotope fils, la quantité finale d'isotope père, la demi-vie, il est possible de trouver l'âge de fermeture du système. On peut dater les feldspaths et les micas, qui contiennent du K.
- Le couple uranium (père)/ plomb (fils). Dans cette méthode, on mesure les rapports de deux couples pour dater : $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ (demi-vie de 4,47 Ga) et $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ (demi-vie de 0,704 Ga). Toutes les combinaisons possibles de ces couples sont alors situées sur une courbe

nommée Concordia (dans le graphique $206\text{Pb}/238\text{U} = f(207\text{Pb}/235\text{U})$). Si le système n'a pas été perturbé, alors les valeurs des rapports isotopiques de l'échantillon qui se situent sur la courbe donnent l'âge depuis la fermeture du système.

La datation absolue permet de donner des âges à l'échelle stratigraphique

Partie 2 : Les traces du passé mouvementé de la Terre

➤ Des domaines continentaux révélant des âges variés

Les continents associent des domaines d'âges différents. Ils portent des reliquats d'anciennes chaînes de montagnes (ou ceintures orogéniques) issues de cycles orogéniques successifs (= mécanismes aboutissant à la création d'une chaîne de montagnes, puis son démantèlement).

L'âge des ceintures orogéniques peut être estimé en déterminant l'âge des roches continentales qu'elles recoupent. Les roches donc ont enregistré la trace d'événements anciens. On retrouve différentes structures et formations géologiques dans les ceintures orogéniques : plis, failles inverses, charriages et chevauchements, traces de métamorphisme, traces de plutonisme, ceintures ophiolitiques.

Une ceinture orogénique forme une cicatrice ou suture entre deux blocs continentaux désormais soudés.

➤ Les ophiolites sont des roches de la lithosphère océanique

Les ophiolites sont des roches de la lithosphère océanique (= association basaltes en coussins, gabbros, péridotites). La présence de complexes ophiolitiques formant des sutures au sein des chaînes de montagnes témoigne de la fermeture de domaines océaniques, suivie de la collision de blocs continentaux par convergence de plaques lithosphériques. L'émergence d'ophiolites résulte de phénomènes d'obduction ou de subduction, suivis d'une exhumation :

- Lorsque les ophiolites ne contiennent que des minéraux hydratés comme la serpentine, la chlorite et l'actinote, c'est qu'elles sont restées en surface. En effet, ces minéraux du métamorphisme n'apparaissent que sous un gradient BP-HT. Ils témoignent d'un refroidissement et d'une hydratation de la LO au contact de l'océan. Ce métamorphisme montre que ces roches sont toujours restées en surface : elles ont été charriées sur la LC par obduction.
- On peut aussi trouver des ophiolites avec de nouvelles associations minéralogiques contenant de la glaucophane (faciès schiste bleu) ou de la jadéite et du grenat (faciès éclogite). Tous ces minéraux du métamorphisme sont stables sous des gradients HP-BT qui règnent lors d'une subduction.

Les ophiolites visibles dans une chaîne de montagnes ne constituent que des lambeaux d'une ancienne LO : l'essentiel a disparu par subduction (= passage sous une LC). La convergence des plaques se manifeste donc par l'obduction, la subduction et en dernier par la collision (= convergence de 2 LC). - Les ophiolites ont été exhumées lors de la collision, ce qui permet leur retour en surface.

➤ Les marques de la fragmentation continentale et de l'ouverture océanique

Une marge passive est une zone de transition stable entre une Lithosphère Continentale et une Lithosphère Océanique (absence de séismes et de volcanisme).

La marge passive est marquée par : un amincissement crustal (remontée du Moho) associé à un amincissement lithosphérique couplé à une remontée de l'asthénosphère (remontée de l'isotherme 1300°C).

Au niveau d'une marge passive, on passe d'une croûte de nature granitique continentale, à une croûte gabbro-basaltique océanique. On distingue de nombreuses

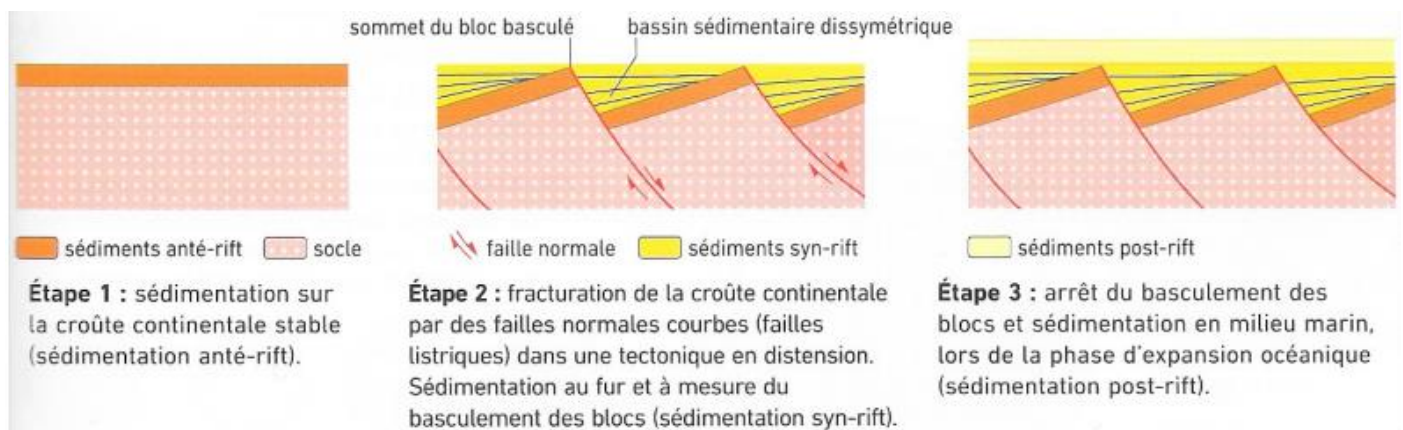
failles normales traversant les formations sédimentaires qui reposent sur les croûtes. La Croûte Continentale est elle-même fracturée en blocs basculés qui piègent des sédiments. Les différents dépôts sédimentaires témoignent d'un approfondissement du milieu au cours du temps.

Une marge continentale passive correspond ainsi à une ancienne zone de divergence lors de laquelle la croûte s'est progressivement fracturée. Comme la marge passive est une zone de transition entre Lithosphère Continentale et une Lithosphère Océanique, cela signifie que la déchirure continentale a été complète : une dorsale est apparue générant de la Lithosphère Océanique (et responsable d'une accrétion océanique).

Les activités magmatique et tectonique se concentrent désormais à la dorsale.

Animation : de la déchirure continentale à l'accrétion océanique.
https://www.youtube.com/watch?v=eIcZjH_bCxc

Modèle explicatif de la marge passive. D'après SVT spécialité terminale Bordas 2020.



Voici un résumé du processus depuis la déchirure continentale jusqu'à la naissance d'un océan.

- La divergence au niveau d'une Lithosphère Continentale étire cette dernière, et elle se fracture (apparition de failles normales parallèles qui délimitent des blocs basculés).
- Au niveau de l'axe central (zone étroite) se produit un effondrement progressif associé à un amincissement lithosphérique (croûte + manteau lithosphérique) : c'est le rift continental (ex. rift est-africain, plaine d'Alsace).
- L'asthénosphère remonte, provoquant une fusion partielle des péridotites mantelliques (franchissement du solidus comme sous les dorsales) générant des magmas de composition gabbro-basaltique, et donc de la CO (apparition d'une dorsale).
- L'eau finit par envahir le centre du rift. Des sédiments se déposent donnant des roches sédimentaires, d'abord en milieu peu profond puis progressivement plus profond.
- Les bords de l'ancien rift sont maintenant qualifiés de marge passive (l'activité sismique et volcanique se concentrant alors à la dorsale).

Le cycle de Wilson.

La géographie des continents se modifie au cours du temps suite à la tectonique des plaques. On peut reconstituer la position des continents dans le passé : c'est la paléogéographie. Parfois les continents sont réunis en un seul bloc : c'est un continent unique. On connaît par exemple la Pangée voici 0,3 Ga. Pour former un seul bloc, les continents entrent en collision, créant alors des chaînes de montagnes (ceintures orogéniques). Puis ils se fragmentent : des rifts continentaux apparaissent générant de nouvelles dorsales lorsque le processus va à son terme.

Wilson a démontré que ces phénomènes se produisent cycliquement (cycles de 400 à 600 Ma). Ce modèle est toutefois encore discuté.

Pour réviser :

- <https://www.profsvt71.fr/pages/terminale-spe-svt/terminale-spe-svt/> <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-Tale-Spe-SVT.php>

En résumé :

Les principes de la datation relative

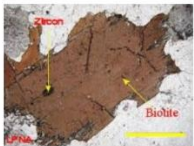
svtlyceedevienne.com

Principe de superposition :

En absence de bouleversement structuraux, une couche est plus récente que celle qu'elle recouvre et plus ancienne que celle qui la recouvre.

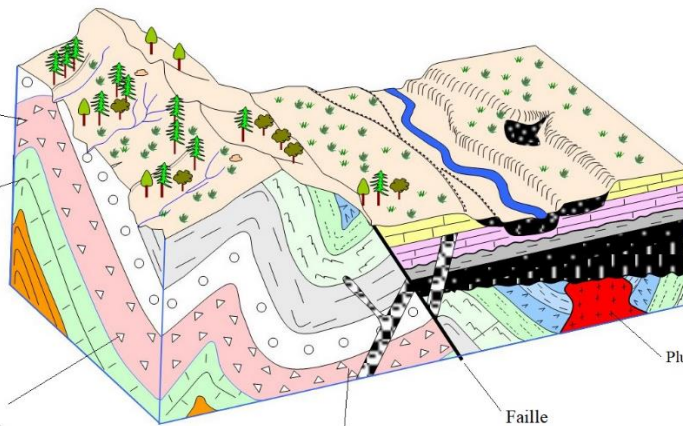
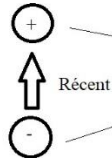
Principe d'inclusion :

Ce qui est inclus est plus âgé



Principe d'horizontalité :

Les couches sédimentaires se déposent horizontalement. Une séquence sédimentaire non horizontale a subi des déformations postérieures à son dépôt.



Principe de continuité :

Une couche a le même âge sur toute son étendue.

Discordance :

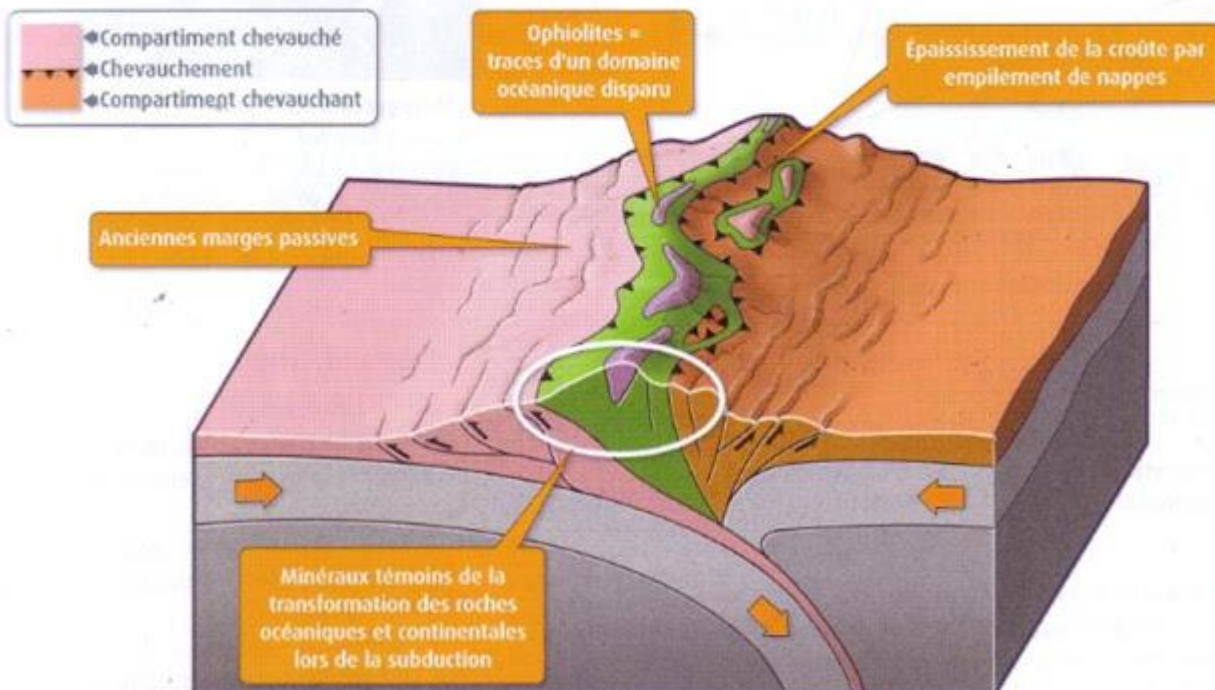
Pas de continuité chronologique entre deux couches. Il existe une lacune d'érosion ou lacune de sédimentation (arrêt de dépôt).

Principe de recoupement :

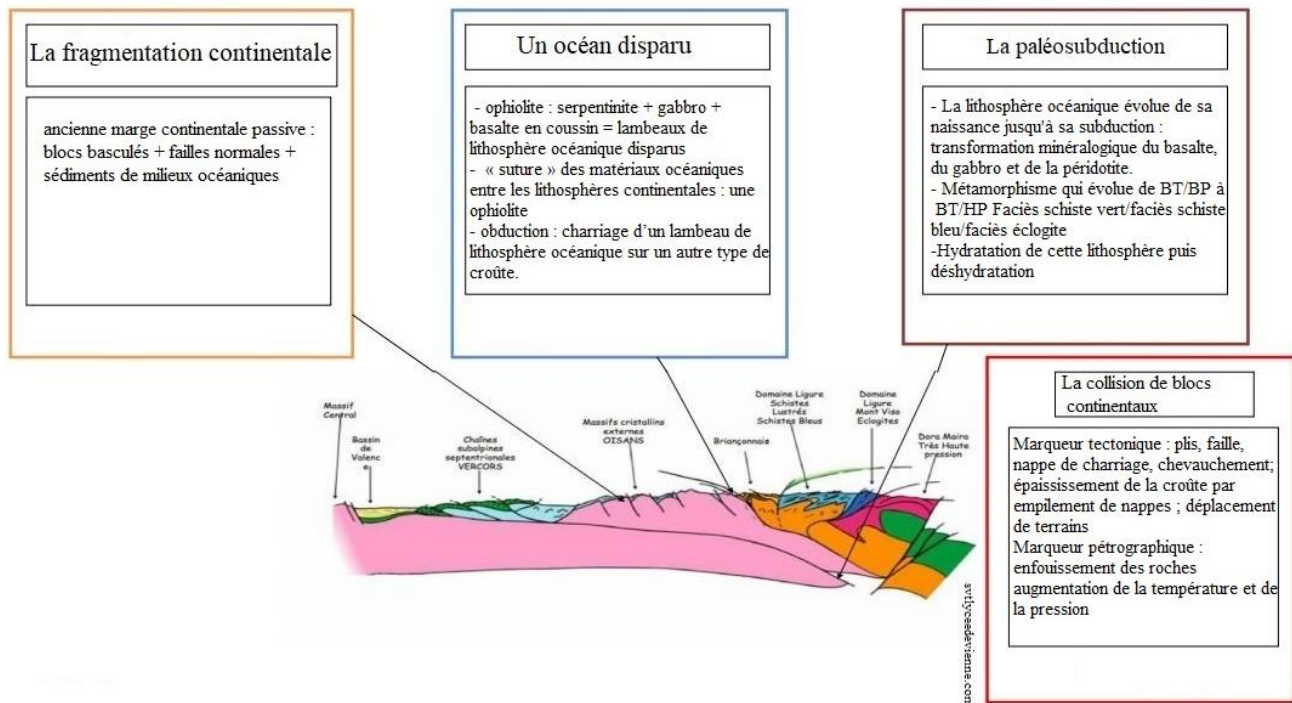
Ce qui est recoupé ou affecté est plus ancien.

Moteur de la subduction = différence de densité entre la lithosphère océanique âgée et l'asthénosphère

2 Subduction de la lithosphère continentale et collision



Les traces du passé mouvementées de la Terre



En vidéo :

<https://www.youtube.com/watch?v=oKDCfgPwN5o&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=28>

<https://www.youtube.com/watch?v=zldZ0e59OmM&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=29>

<https://www.youtube.com/watch?v=ZTbUUi5zInE&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=30>

<https://www.youtube.com/watch?v=uSnyTvbILgE&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=31>

<https://www.youtube.com/watch?v=gAO3dzb4OMI&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=32>

<https://www.youtube.com/watch?v=dvJ75uUuJBY&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=33>

<https://www.youtube.com/watch?v=AKIbpuQI5v8&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=34>

<https://www.youtube.com/watch?v=jNY1gIzbMLE&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=35>

Thème 2 : Enjeux contemporains de la planète

Chapitre 1 : De la plante sauvage à la plante domestiquée

Partie 1 : L'organisation fonctionnelle des plantes à fleurs

Une plante, par ses diverses caractéristiques, est adaptée à sa vie fixée qui lui impose de subir les contraintes variables du milieu. Les plantes à fleur peuvent avoir des adaptations particulières aux contraintes de la vie fixée : adaptations morphologiques, anatomiques, physiologiques, biochimiques... On en connaît de nombreux exemples. Elle présente différents organes qui ont des fonctions particulières (ex : la fleur pour la reproduction, les bourgeons à l'origine de nouvelles feuilles ou fleurs...) :

➤ Les échanges atmosphère/sol

Par diverses caractéristiques, les plantes terrestres montrent une capacité d'adaptation à la vie fixée à l'interface sol/atmosphère, dans des environnements variables. Les plantes développent de grandes surfaces d'échange :

- Aériennes=feuilles qui réalisent la photosynthèse (= synthèse de molécules organiques par les cellules chlorophylliennes grâce à l'énergie lumineuse) et qui permettent les échanges gazeux (O_2 , CO_2 et H_2O) avec l'atmosphère par les stomates (structure foliaire à ouverture variable). Les feuilles constituent une vaste surface d'échange avec l'atmosphère permettant de capter un maximum d'énergie solaire et optimisant les échanges gazeux ;
- Souterraines=racines qui ancrent la plante dans le sol et qui permettent des échanges avec ce dernier. L'extrémité des racines possède des poils absorbants (un poil = une cellule très allongée) qui absorbent l'eau et les ions (sels) minéraux. Les racines sont très souvent en association symbiotique avec des champignons, les mycorhizes. Le champignon prélève les ions du sol et reçoit en échange un excédent de matière organique issue de la photosynthèse de la plante (la symbiose est une relation de mutualisme : les deux partenaires en tirent un avantage). Les racines constituent ainsi une vaste surface d'échange avec le sol ;

➤ La circulation de matière

Une (des) tige(s) porte(nt) les feuilles. Dans la tige circule de la matière grâce aux vaisseaux conducteurs de sèves qui canalisent les circulations de matière dans la plante, notamment entre les lieux d'approvisionnement en matière minérale, les lieux de synthèse organique et les lieux de stockage. On trouve ainsi deux types de vaisseaux conducteurs :

- Les vaisseaux du xylème, constitués de cellules mortes, dans lesquels passe la sève brute dont la composition est eau + ions minéraux concentrés et qui est très pauvre en matière organique. La sève brute est obligatoirement ascendante et le moteur principal de son ascension est l'évapotranspiration foliaire. Elle apporte les ions et l'eau nécessaires à la photosynthèse.
- Les vaisseaux du phloème, constitués de cellules vivantes, dans lesquels passe la sève élaborée dont la composition est eau + molécules organiques (saccharose en particulier) issues de la photosynthèse. La sève élaborée part d'organes sources (produisant la matière organique = feuilles) vers des organes puits (demandant de la MO), par ex. des organes de stockage (fruits, tubercules...).

➤ Croissance, différenciation et hormones

Au sein d'une plante, on trouve des méristèmes dans lesquels des cellules non différenciées se divisent par mitoses.

On les retrouve à l'extrémité des racines (croissance racinaire), dans les bourgeons apical et axillaire (croissance des tiges principale et secondaires). Un autre méristème permet la croissance en épaisseur (tige, racine) : c'est le cambium (= croissance du phloème et du xylème ou bois).

Un bourgeon est un organe contenant de jeunes feuilles et des ébauches foliaires, ainsi qu'un méristème apical de tige et des ébauches de méristèmes axillaires. L'ensemble est protégé par des écailles (= passage de la mauvaise saison). Au niveau d'un bourgeon, les cellules qui se divisent dans les méristèmes sont à l'origine des organes aériens après différenciation : tige, feuilles et bourgeons.

Au niveau du méristème racinaire, situé à l'extrémité d'une racine, on observe une zone de mitoses sous la coiffe protectrice. En arrière, les cellules qui se sont divisées s'allongent puis se différencient ensuite en tissus racinaires.

Pour la tige, l'activité du bourgeon conduit toujours à une organisation identique : feuille implantée sur la tige avec bourgeon à l'aisselle (nœud), tige (entre-nœud), feuille implantée sur la tige (nœud) etc. On parle d'une organisation en phytomères (= modules identiques qui sont assemblés les uns derrière les autres).

La plante est sensible aux conditions du milieu. Par exemple, dans le cas du phototropisme (particulièrement étudié chez le coléoptile de céréales), la plante se tourne vers la source

lumineuse. De nombreuses expériences historiques ont démontré le rôle de la lumière sur la croissance des coléoptiles : On observe une courbure du coléoptile en réponse à un éclairage anisotrope. L'éclairement est perçu par l'apex du coléoptile qui synthétise normalement une hormone, l'auxine, lui permettant de s'allonger. Lorsque l'éclairement est anisotrope, l'auxine se dirige vers le côté non éclairé, provoquant une croissance des cellules de ce côté du coléoptile, et donc sa courbure vers la source de lumière.



Lorsque le coléoptile est éclairé d'un seul côté, il se courbe du côté de la lumière.



Quand la pointe du coléoptile est coupée, la croissance s'arrête et on n'observe aucune courbure.



Quand un capuchon opaque est posé sur la pointe du coléoptile, la croissance se poursuit mais sans courbure.

L'environnement (les conditions du milieu) peut donc influencer le développement d'une plante via les hormones végétales : ainsi, une tige croît en direction de la source d'éclairement ; une racine croît verticalement sous l'effet de la gravité... D'une manière générale, les phytohormones (hormones végétales) contrôlent le développement de la plante.

Partie 2 : La plante, productrice de matière organique

➤ Les mécanismes de la photosynthèse

Les feuilles (parfois les tiges) sont les organes chlorophylliens de la plante : leurs cellules possèdent les organites chloroplastes contenant les molécules de chlorophylle permettant la photosynthèse, c'est-à-dire la production de matière organique à partir d'énergie solaire et de matière minérale (eau et ions minéraux provenant du sol et apportés par la sève brute et CO_2 atmosphérique entrant par les stomates).

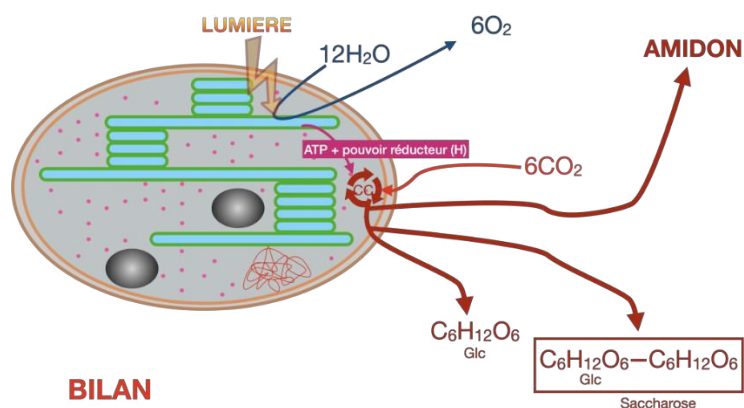
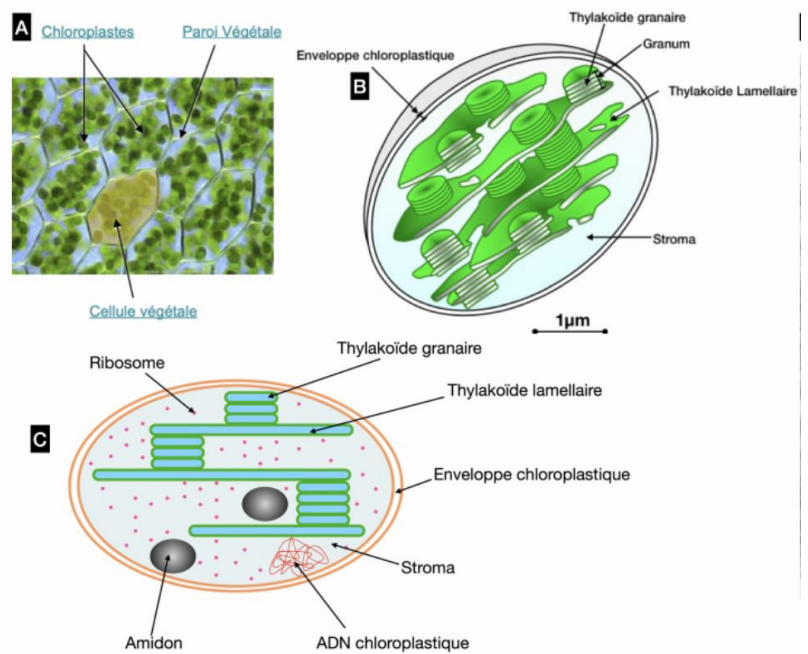
La synthèse d'amidon (molécule organique polymère de glucose) s'effectue ainsi dans les chloroplastes. De nombreuses expériences historiques permettent de démontrer la photosynthèse.

Un chloroplaste présente trois membranes distinctes (membrane externe, membrane interne, membrane des thylakoïdes) qui déterminent trois compartiments séparés (espace inter-membranaire, stroma, espace intra-thylakoïdien).

Les thylakoides dont les membranes contiennent les pigments photosynthétiques (chlorophylle et pigments accessoires) sont localisés dans le stroma.

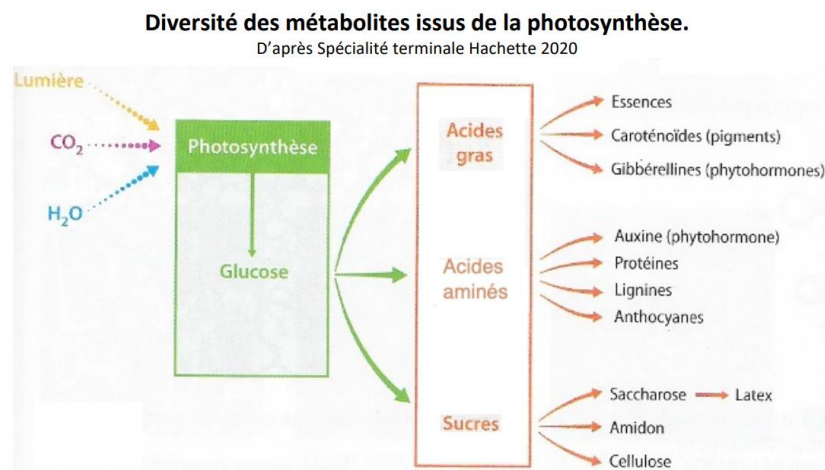
Il existe une diversité de pigments photosynthétiques : chlorophylles a et b, xanthophylles et carotène (les deux derniers sont des caroténoïdes). Les pigments photosynthétiques absorbent les parties rouge (680 à 700 nm environ) et bleu-violet (400 à 500 nm environ) du spectre de la lumière visible : c'est le spectre d'absorption. La production d' O_2 traduit l'efficacité de la photosynthèse aux différentes longueurs d'ondes : on constate que les longueurs d'ondes absorbées sont également les plus efficaces dans la photosynthèse. C'est le spectre d'action.

Au cours de la photosynthèse, la photolyse de l'eau conduit à la formation de dioxygène. Puis, dans les chloroplastes, la réduction du dioxyde de carbone conduit à la formation de glucose et d'autres sucres solubles.



➤ Le devenir du glucose produit

Les produits de la photosynthèse sont ensuite soit utilisés sur place (pour les cellules autotrophes = cellules qui effectuent la photosynthèse), ou sont distribués vers des organes qui en ont besoin via le phloème et la sève élaborée (cellules hétérotrophes = cellules qui ne font pas la photosynthèse). Les molécules organiques circulent majoritairement sous forme de saccharose dans la sève élaborée.



Ces produits de la photosynthèse ont ensuite diverses utilisations suivant l'équipement enzymatique des cellules qui les reçoivent, leur permettant de se spécialiser. Ainsi, ils interviennent dans :

- La croissance et le port de la plante (cellulose, lignine) : La synthèse de la cellulose pariétale (= la paroi) s'effectue à partir d'enzymes localisées dans la membrane plasmique de la cellule, qui utilisent le glucose comme substrat et qui le polymérisent. La paroi cellulosique est aussi souvent renforcée par de la lignine (qui constitue le bois) qui elle aussi est synthétisée à partir des produits de la photosynthèse.
- Le stockage de la matière organique (saccharose, amidon, protéines, lipides) sous forme de réserves dans différents organes, qui permet notamment de résister aux conditions défavorables ou d'assurer la reproduction ;
- Les interactions mutualistes ou compétitives avec d'autres espèces : Tanins et anthocyanes sont des métabolites secondaires et sont des exemples d'interactions entre organismes :
 - Des tanins sont synthétisés à partir des produits de la photosynthèse, et se déposent dans les parois des cellules. Ils sont notamment antibactériens, antifongiques et protègent donc la plante des attaques extérieures.
 - Les anthocyanes sont eux aussi synthétisés à partir des produits de la photosynthèse, et on les retrouve dans les vacuoles des cellules. Ils colorent notamment certaines fleurs (plutôt celles dans les couleurs rouge-violacées) et permettent d'attirer des pollinisateurs.

Partie 3 : Reproduction de la plante entre vie fixée et mobilité

➤ La reproduction asexuée

La reproduction asexuée repose sur la totipotence (=capacité d'une cellule à se différencier en n'importe quelle cellule spécialisée.) des cellules végétales et les capacités de croissance indéfinie des plantes (en effet elles poussent tout au long de leur vie grâce aux cellules des méristèmes), à partir de presque n'importe quelle partie du végétal (tiges, racines, feuilles). Suite à la reproduction asexuée on obtient des plantes avec une information génétique identique : ce sont des clones.

Il existe plusieurs techniques de reproduction asexuée :

- le bouturage (en coupant un fragment de végétal et en le plantant ou en le mettant dans l'eau, des racines naissent),
- le marcottage (on enterre une tige qui est encore sur le pied mère et avec le temps il finit par se former des racines à la place des anciens bourgeons de tige, puis on sépare la tige de la plante mère),
- la culture in vitro (régénération d'une plante entière à partir de cellules ou de tissus végétaux avec maîtrise du milieu de culture et des balances hormonales des phytohormones comme l'auxine et les cytokinines)...

➤ La reproduction sexuée

On rappelle le cycle de vie d'une plante à fleur : graine à germination à jeune plante à fleur à fruit avec graine.

La fleur est l'organe de la reproduction sexuée. Une fleur a une morphologie variable et est constituée de :

- sépales en nombre variable. C'est le calice (pièce stérile) ;
- pétales en nombre variable. C'est la corolle (pièce stérile) ;
- des étamines en nombre variable. Pièce fertile ;
- le pistil. Pièce fertile.

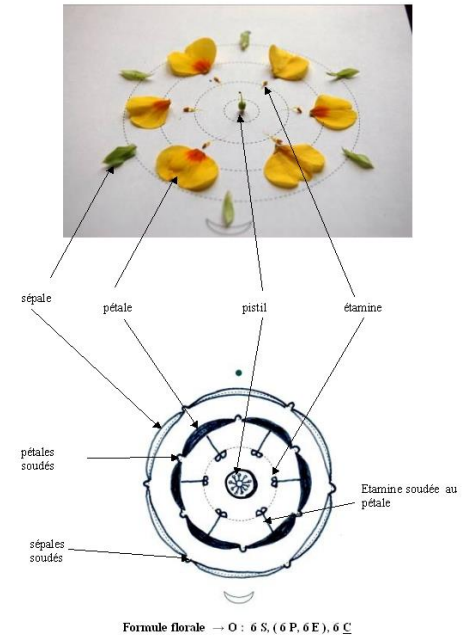
Les angiospermes peuvent être hermaphrodites (fleurs contenant pièces mâles et femelles), monoïques (fleurs mâles et fleurs femelles sur une même plante mais séparées), dioïques (fleurs mâles et femelles sur des plantes différentes).

La reproduction sexuée est assurée chez les Angiospermes par la fleur où se trouvent les gamètes femelles, au sein du pistil, et les grains de pollen, portés par les étamines, vecteurs des gamètes mâles. Chez certaines espèces, la fécondation des gamètes femelles par les gamètes mâles de la même fleur est possible, voire obligatoire : c'est l'autopollinisation. Dans les autres cas, elle est rendue impossible par divers mécanismes d'incompatibilité (d'auto-incompatibilité génétique ; des décalages dans la maturité des organes fertiles de la fleur (les pièces mâles peuvent être mûres avant les pièces femelles par exemple. C'est de l'incompatibilité temporelle) ; des sexes séparés (plantes monoïques et dioïques) ; des pièces mâles par exemple plus longues que les femelles (incompatibilité anatomique) ou produisant de gros grains de pollen alors que le stigmate est fin...).

Toutefois, dans la majorité des cas le pollen doit féconder une autre fleur : c'est la fécondation croisée implique une mobilité des grains de pollen d'une plante à une autre.

• *Les mécanismes de la pollinisation*

Dans une majorité de cas, la pollinisation croisée repose sur une collaboration entre plante et pollinisateur en relation avec la structure florale : par exemple si le vecteur du pollen est un insecte : on parle alors de plantes entomogames. Il y a généralement une attraction et/ou une récompense pour l'insecte, mais ce n'est pas



obligatoire puisque certaines plantes peuvent bernier les insectes avec de fausses récompenses. Pour attirer le vecteur, ce peut être une odeur, une couleur ou une forme... La récompense peut être du nectar ou du pollen (sources de nourriture). Le pollen de plante entomogames est souvent relativement gros et ornementé. Parfois on observe aussi ce que l'on dénomme de la coévolution (= ensemble de transformations coordonnées de deux espèces en interaction l'une avec l'autre) plante et animal pollinisateur sont étroitement adaptés.

Le vent peut aussi transporter le pollen : on parle de plantes anémogames. Le pollen est souvent très petit et libéré en grande quantité pour pallier les aléas de la pollinisation. Souvent les fleurs sont également discrètes.

- *De la fécondation à la graine*

À l'issue de la fécondation, la fleur qui porte des ovules se transforme en un fruit qui renferme une ou plusieurs graines. La graine contient l'embryon d'une future plante qu'elle protège (enveloppe résistante) et nourrit à la germination en utilisant des molécules de réserve préalablement accumulées.

La graine finit par germer dans le sol lorsqu'elle trouve des conditions favorables. Par ailleurs, pour germer :

- la dormance (= métabolisme ralenti) doit être levée ;
- la graine doit s'hydrater (elle est fortement déshydratée pour qu'elle puisse se conserver) ;
- des conditions supplémentaires peuvent être nécessaires (passage au froid, besoin de lumière, passage dans un tube digestif...).

- *La dispersion des graines*

La dispersion des graines est une étape de mobilité dans la reproduction de la plante. Elle repose sur :

- un mutualisme animal disperseur/ plante : Les animaux peuvent transporter passivement les fruits ou alors peuvent les consommer (dans ce cas la graine n'est pas digérée). C'est donc un exemple de mutualisme (les espèces tirent mutuellement profit de la présence de l'autre : source de nourriture contre dispersion). Les animaux disséminateurs sont attirés par différentes caractéristiques : couleur, taille des fruits, aspect des fruits, pulpe... Parfois il peut y avoir coévolution entre la plante et l'animal disséminateur.
- sur des agents physiques (vent, eau) ou des dispositifs spécifiques à la plante.

- *La germination des graines*

La germination se traduit par le développement d'une jeune racine et d'une jeune tige qui porte les premières feuilles (qui s'appellent des cotylédons) : c'est une jeune plantule qui germe à partir de l'embryon.

La germination de la graine nécessite la mobilisation de réserves accumulées lors de sa formation puisque l'embryon ne peut faire la photosynthèse. Les réserves peuvent être localisées dans les cotylédons ou ailleurs dans la graine. La nature des réserves est très variable suivant la graine (réserves glucidiques, protéiques ou lipidiques).

Des expériences sur le caryopse de céréales ont montré que l'embryon qui trouve des conditions favorables de germination produit la phytohormone acide gibbérellique qui déclenche la production d'une enzyme permettant l'hydrolyse d'amidon en sucres plus simples utilisés pour la croissance de l'embryon

Partie 4 : La domestication des plantes

Les pratiques culturelles (par exemple pour la production de graines) constituent un enjeu majeur pour nourrir l'humanité, les végétaux constituant une part importante de l'alimentation humaine.

➤ La sélection et la production de nouveaux phénotypes

Les plantes cultivées sont issues d'une domestication et proviennent d'espèces sauvages. Cette domestication s'est faite à partir de foyers de domestication connus : c'est l'endroit sur le globe où l'on retrouve les espèces sauvages apparentées. La sélection s'est d'abord faite empiriquement, c'est-à-dire sans connaissance en génétique (par simple observation, et semis des graines des plantes intéressantes).

Les plantes domestiquées présentent des différences par rapport à leurs ancêtres sauvages suite au syndrome de domestication. Ce syndrome de domestication correspond aux caractéristiques qui différencient la plante cultivée domestique de la plante sauvage suite au travail de l'humain qui sélectionne artificiellement des caractéristiques intéressantes pour lui (c'est une forme de sélection naturelle dont l'humain constitue la pression de sélection). Les plantes perdent ainsi progressivement leur capacité de survie en milieu naturel. Leur reproduction et leur propagation sont assurées par l'humain. Cette sélection s'est opérée au cours de l'établissement d'une relation mutualiste entre plantes et êtres humains (profit mutuel entre les deux).

La mise au point de nouvelles variétés est un processus qui prend du temps. On sélectionne les individus qui présentent des caractères intéressants, et qui seront les « parents » de la nouvelle variété, on fait des séries de croisements, puis on sélectionne encore...

Aujourd'hui, les sélectionneurs peuvent utiliser plusieurs sources de diversité biologique :

- des variétés anciennes,
- des espèces sauvages apparentées,
- des mutations spontanées,
- des mutations induites par des agents mutagènes,
- des techniques de transfert ou d'édition de gènes (biotechnologies) : permet de créer des PGM (plantes génétiquement modifiées). Cela permet de s'affranchir des barrières entre espèces. Il s'agit d'introduire dans des plantes cibles des séquences d'ADN codant un caractère d'intérêt (la technique utilise l'universalité de l'ADN et du code génétique). Pour introduire les gènes d'intérêt, on utilise des vecteurs : des bactéries (*Agrobacterium tumefaciens* qui infecte naturellement les plantes), des microbilles... On peut ainsi rendre les plantes résistantes aux herbicides, leur faire fabriquer des molécules insecticides... au risque de développer

des résistances. Une technique récente est celle de l'édition de gène par le complexe CRISP-Cas9. Cette technique permet de couper, modifier, remplacer n'importe quel ADN. Cela permet d'inactiver des gènes ou d'en insérer de nouveaux dans un génome. La technique soulève cependant d'importantes questions éthiques.

- l'hybridation : on croise deux parents homozygotes dont chacun possède des caractéristiques intéressantes (différentes entre les deux individus). On obtient alors un hybride hétérozygote qui cumule les propriétés des deux parents : les hybrides F1 sont homogènes et montrent une vigueur que n'ont pas les parents. En revanche, il est impossible de les ressemer puisque du fait de l'hétérozygotie la génération suivante ne sera pas homogène.
- le rétrocroisement (croisement en retour ou backcross en anglais). Par exemple, on croise une variété « élite » aux caractéristiques intéressantes avec une autre variété qui possède un caractère d'intérêt. On veut que cette variété élite garde ses caractéristiques, mais qu'elle acquière en plus le caractère d'intérêt. La première génération possède les caractéristiques de la variété élite, mais aussi celles de la variété avec le caractère d'intérêt (donc beaucoup de caractéristiques non voulues). Pour ne conserver que les caractères élite et le caractère d'intérêt, on fait toute une série de rétrocroisements = on croise les individus obtenus à chaque génération avec des individus élites pendant plusieurs générations pour ne conserver à la fin que les caractères élite mais aussi le caractère d'intérêt qui est désormais fixé. On peut sélectionner les individus à chaque génération en utilisant un marquage génétique, ce qui permet de ne garder que les individus intéressants (la sélection s'opère grâce au repérage des différents marqueurs moléculaires).

La production de semences commerciales est devenue une activité spécialisée.

➤ Plantes sauvages VS plantes domestiquées

Une espèce cultivée présente souvent de nombreuses variétés (forme de biodiversité engendrée par l'humain) suivant les critères retenus par l'humain. Cette diversité résulte de mutations dans des gènes particuliers.

L'étude des génomes montre un appauvrissement global de la diversité allélique lors de la domestication. La perte de certaines caractéristiques des plantes sauvages (comme des défenses chimiques ou des capacités de dissémination sans l'intervention humaine) et l'extension de leur culture favorisent le développement des maladies infectieuses végétales. Par exemple : C'est le cas pour le bananier dont les plantations constituent des clones. Un champignon pathogène provoquant la maladie de Panama a provoqué la disparition de la variété clone Gros Michel. Elle a été remplacée par la variété Cavendish résistante, mais cette variété est elle-même sensible à une nouvelle souche de ce champignon.

Ces fragilités doivent être compensées par des pratiques culturales spécifiques. L'exploitation des ressources génétiques (= les espèces sauvages ou les variétés anciennes) permet d'envisager de nouvelles méthodes de cultures (pour réduire l'usage des intrants comme les produits phytosanitaires, limiter des ravageurs) :

- On peut panacher les variétés dans une même parcelle plutôt que d'en cultiver une seule. Les avantages en sont un moindre développement des maladies du fait d'effets de :
 - dilution (par éloignement des individus sensibles, et donc une propagation de l'agent pathogène ralentie) ;
 - barrière (les individus résistants piègent les agents pathogènes et protègent les plantes sensibles) ;
 - prémunition (les plantes résistantes peuvent déclencher chez les plantes sensibles des mécanismes de défense les protégeant d'attaques).
- Cette technique culturale peut par ailleurs permettre une moindre utilisation de produits phytosanitaires.
- D'autres pratiques culturales sont possibles (lutte biologique par exemple).

➤ Domestication des plantes et évolution humaine

La domestication des plantes, menée dans différentes régions du monde, a eu des conséquences importantes dans l'histoire des populations humaines. Elle a contribué à la sélection de caractères génétiques humains spécifiques. Rappelons quelques exemples :

- L'amylase est une enzyme qui hydrolyse l'amidon en glucose. Il y a une grande variabilité de la production d'amylase dans les populations humaines, variabilité due à un nombre de copies du gène AMY1 codant l'amylase variable d'un individu à l'autre. Les populations qui ont un régime riche en amidon ont globalement plus de copies du gène AMY1 que celles qui ont un régime pauvre en amidon. Le régime alimentaire a donc un effet sur le nombre de copies du gène des différentes populations humaines (suite à des duplications géniques qui apportent un avantage sélectif pour les populations consommant de l'amidon). Les débuts de l'agriculture il y a 10 000 ans, avec la domestication de plantes dont les graines sont riches en amidon, ont probablement joué un rôle important dans l'évolution du nombre de copies du gène de l'amylase salivaire. Une évolution culturelle, en modifiant l'environnement (ici le régime alimentaire) des humains, a entraîné une évolution biologique.
- La morphologie de la mâchoire inférieure humaine s'est également modifiée depuis 6 000 ans chez les individus : on observe une réduction de la taille de la mâchoire que l'on peut relier au changement d'alimentation (moins difficile à mastiquer, donc moins besoin de muscles masticateurs puissants qui s'insèrent dans la mâchoire).
- Les aliments riches en acides gras oméga-3 sont importants pour le développement cérébral. Ce sont des acides gras poly-insaturés. Les voies de biosynthèse de ces acides gras font intervenir deux enzymes clés (des désaturases) qui interviennent à différents niveaux. Les allèles codant ces enzymes ont été sélectionnés au cours de l'évolution, suite à la plus grande proportion de végétaux dans notre alimentation (ces enzymes interviennent notamment dès le début de la voie de biosynthèse à partir d'acides gras végétaux). Là aussi l'alimentation a un impact sur l'évolution humaine. Il s'agit d'une coévolution.

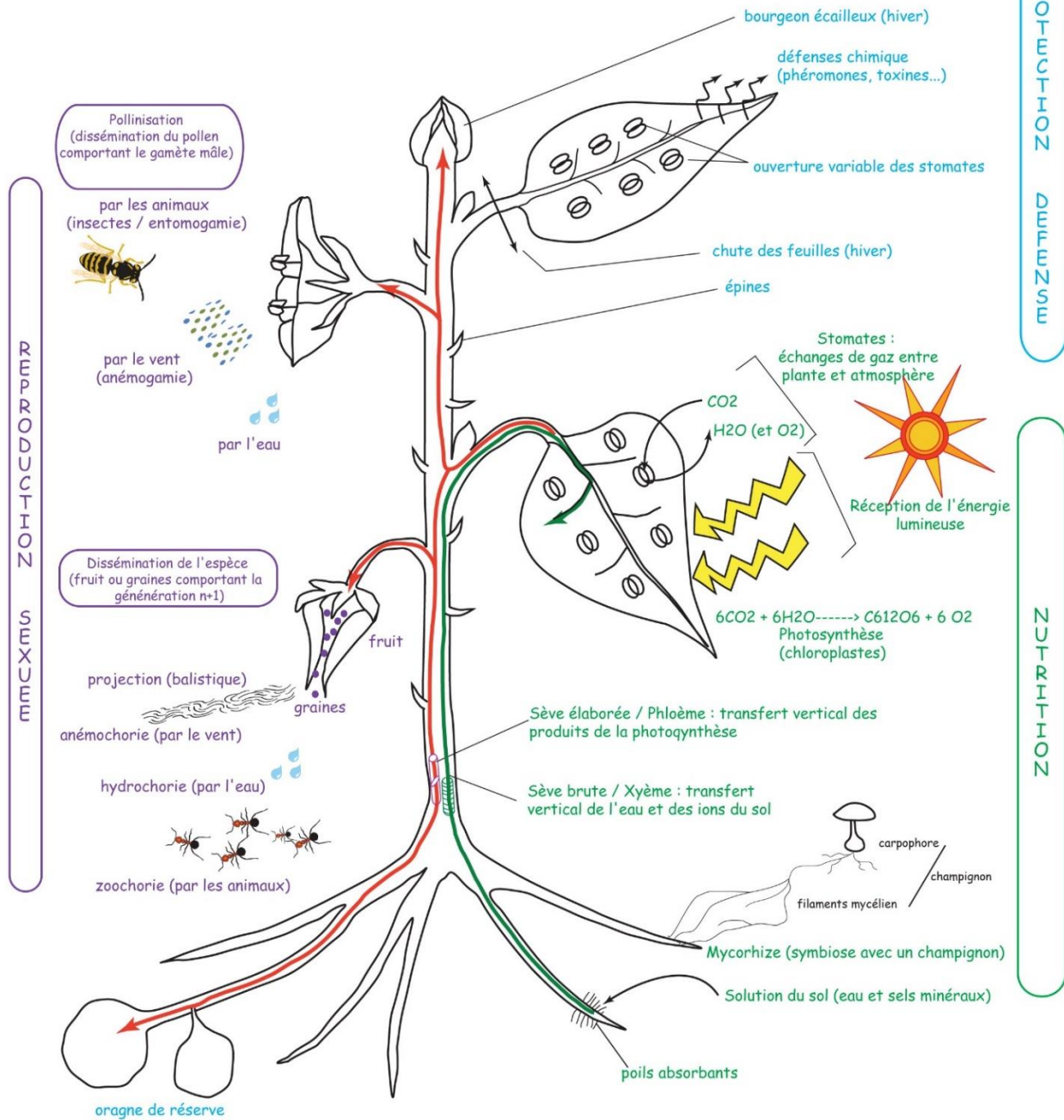
Pour réviser :

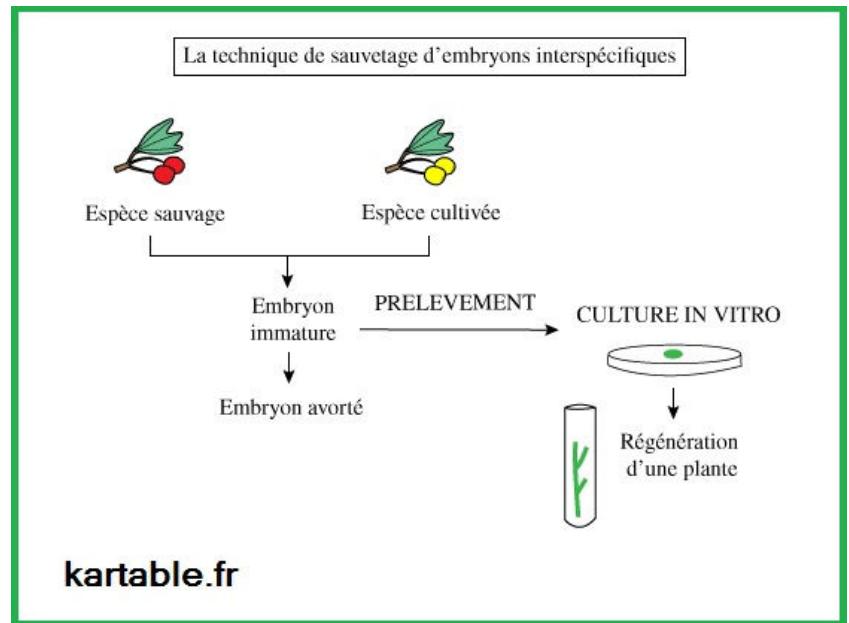
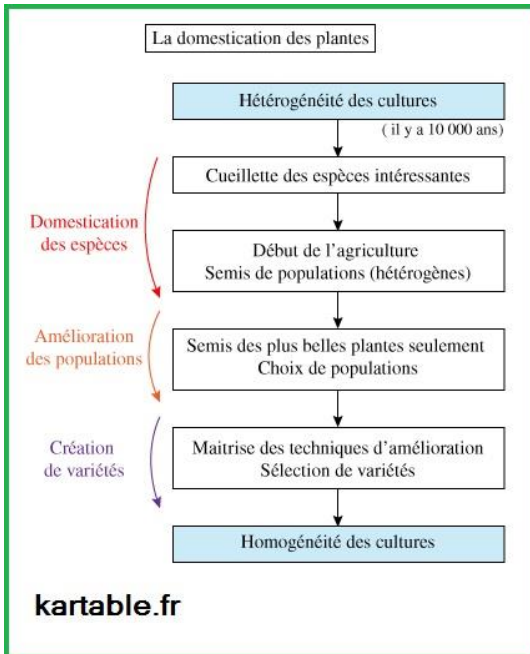
- <https://www.profsvt71.fr/pages/terminale-spe-svt/terminale-spe-svt/> <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-Tale-Spe-SVT.php>

En résumé :

Adaptations des plantes à fleurs à la vie fixée

En





vidéo :

Partie 1

<https://www.youtube.com/watch?v=7IhKR1-I9KI&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=14>

Partie 2

https://www.youtube.com/watch?v=_MKXgsnndGk&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=15

https://www.youtube.com/watch?v=o3_6X9Qemms&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=16

<https://www.youtube.com/watch?v=HZSmsgbqU9I&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=17>

<https://www.youtube.com/watch?v=tJwJW4scFw0&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=18>

Partie 3

<https://www.youtube.com/watch?v=eF8cUZKFDVU&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=19>

<https://www.youtube.com/watch?v=Z6Gwl9Cn6-c&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=20>

<https://www.youtube.com/watch?v=oCtXwtcyQNI&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=21>

Partie 4

<https://www.youtube.com/watch?v=PYc6CpPRVsE&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=22>

<https://www.youtube.com/watch?v=pGkrHedoYd8&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=23>

Chapitre 2 : Les climats de la Terre : comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Partie 1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

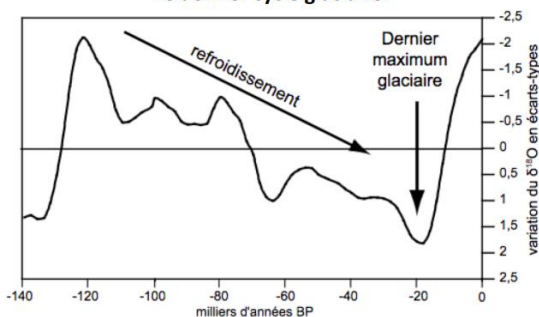
D'environ 1°C en 150 ans, le réchauffement climatique observé au début du XXI^e siècle est corrélé à la perturbation du cycle biogéochimique du carbone par l'émission de gaz à effet de serre (notamment en CO₂) liée aux activités humaines. La hausse des émissions de GES se traduit en effet par une augmentation de la concentration atmosphérique en GES, et donc à un accroissement de l'effet de serre conduisant à un forçage radiatif positif.

➤ Méthodes de reconstitution des climats du passé

À l'échelle du Quaternaire, des données préhistoriques, géologiques et paléo-écologiques attestent l'existence que :

- Au Pléistocène, on observe l'alternance de périodes glaciaires (avec une forte extension des glaces continentales) et interglaciaires (retrait des glaciers continentaux). Les alternances entre périodes interglaciaires et glaciaires sont périodiques.
- Sur la période s'étendant entre -120 000 et -11 000 ans, il y a une glaciation, c'est-à-dire d'une période de temps où la baisse planétaire des températures conduit à une vaste extension des calottes glaciaires.
- A l'Holocène, période qui a débuté voici -11 000 ans est une période plutôt chaude, dite interglaciaire.

Le dernier cycle glaciaire.



On a pu reconstituer le climat de cette période grâce à différents indices :

- Les pollens (la science est la palynologie). En utilisant le principe d'actualisme (les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient également valables dans le passé), on peut déduire les conditions écologiques et climatiques de développement des espèces rencontrées. On élabore alors des diagrammes polliniques.
- la mesure de rapports isotopiques de l'oxygène dans les carottes polaires antarctiques = thermomètre isotopique. C'est une méthode fondée sur les isotopes de O et H qui constituent la molécule de H₂O. La neige, quand elle tombe, contient une très faible quantité de $\delta^{18}\text{O}$ ou de ^2H (= D pour deutérium). Cette quantité de $\delta^{18}\text{O}$ ou de 2 H dans la neige est d'autant plus faible que les températures sont basses (variation linéaire du $\delta^{18}\text{O}$ ou du δD suivant la T°C). Ainsi, les glaces continentales (qui proviennent de la transformation de la neige qui s'est accumulée au sol) ont un $\delta^{18}\text{O}$ ou le δD d'autant plus négatif que les températures sont basses.
- les sédiments marins qui font apparaître une alternance de périodes glaciaires et interglaciaires durant les derniers 800 000 ans. Réalisation de tests (coquilles calcaires) d'unicellulaires marins appelés foraminifères. L'élaboration de leur test en CaCO₃ (carbonate de calcium) nécessite le prélèvement d'O dans l'eau de mer : ainsi, plus l'on trouve de $\delta^{18}\text{O}$ dans l'eau de mer, plus leur test en contient. Or les océans contiennent plus de $\delta^{18}\text{O}$ en période glaciaire : ainsi le $\delta^{18}\text{O}$ des tests carbonatés des foraminifères est d'autant plus élevé que l'eau est froide.

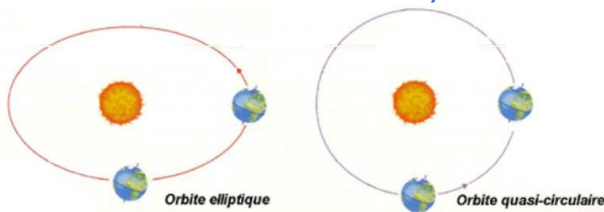
Faire attention : les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ ne sont pas les mêmes dans les glaces et les sédiments marins car les référentiels de calcul ne sont pas les mêmes.

- Les témoignages glaciaires : moraines (sédiments déposés par les glaciers au cours de leur avancée), blocs erratiques (blocs isolés transportés laissés sur place), vallées creusées en auge (en U), lacs d'origine glaciaires (creusés par les glaciers), roches moutonnées (= polies) et roches striées (= rayées).
- L'exploitation de fossiles (micro- ou macro-fossiles). Certaines espèces sont symptomatiques de climats donnés. Par exemple la représentation d'espèces rencontrées par l'humain sur la paroi de grottes (art pariétal) apporte des informations.

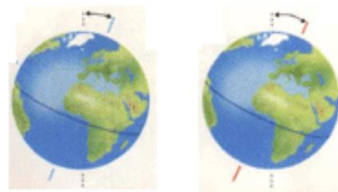
➤ Les paramètres orbitaux et les rétroactions : à l'origine des changements climatiques du Quaternaire.

Les paramètres orbitaux, au nombre de trois, ont été décrits par Milankovitch. Ils définissent la position de la Terre dans l'espace par rapport au soleil.

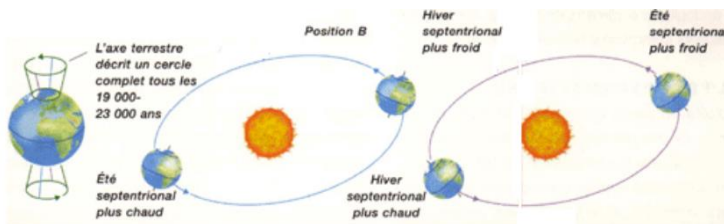
- L'excentricité correspond à l'aplatissement plus ou moins prononcé de l'orbite terrestre autour du soleil. Cycles de 400 000 et 100 000 ans.



- L'obliquité correspond à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre qui est plus ou moins grande. Période de 41 000 ans.



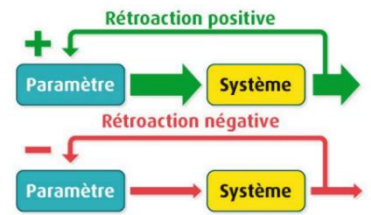
- La précession des équinoxes : l'axe de rotation de la Terre tourne comme une toupie. La conséquence de la précession est que le solstice d'été dans un hémisphère donné a lieu alternativement tous les 11 000 ans soit près du Soleil, soit loin du soleil. Périodes de 19 000 et 24 000 ans



Images : <http://www.cnrs.fr>

Les rapports isotopiques montrent des variations cycliques coïncidant avec des variations périodiques des paramètres orbitaux de la Terre. Celles-ci :

- ont modifié la puissance solaire reçue que de quelques %, et donc les températures enregistrées de quelques dixièmes de degrés Celsius. - Ce sont les moteurs des changements climatiques.
- ont été accompagnées de boucles de rétroactions positives et négatives. Une rétroaction est une action en retour d'un système à la modification d'un paramètre. Si la réponse du système amplifie le phénomène, on parle de rétroaction positive. Si elle l'atténue, c'est une rétroaction négative.



L'albédo est le rapport entre l'énergie solaire reçue (incidente) par un corps et l'énergie qu'il réfléchit. Plus la surface est blanche, plus l'albédo est fort (donc plus l'énergie est réfléchi). La neige a un très fort albédo. Les surfaces sombres (océan, les sols sombres...) ont un faible albédo.

Donc, plus les surfaces englacées sont importantes, plus l'albédo augmente et plus l'énergie est réfléchi : c'est une rétroaction positive. A l'heure actuelle, il y a une asymétrie de la répartition des masses continentales dans les deux hémisphères : l'Antarctique centré sur le pôle sud est englacé provoquant un albédo global moyen d'environ 30 %.

La solubilité du CO₂. Plus la température de l'eau est basse, plus le CO₂ est soluble et plus potentiellement les océans peuvent contenir de CO₂ (qui diffuse depuis l'atmosphère). De ce fait lorsque la température des océans baisse, davantage de CO₂ est soluble (puits de CO₂) et donc l'effet de serre diminue : c'est une rétroaction positive.

Albédo et solubilité du CO₂ sont des mécanismes amplificateurs des changements climatiques : leurs variations expliquent que les températures fluctuent de plusieurs °C entre période glaciaire et interglaciaire. Couplés aux variations des paramètres orbitaux, ils permettent ainsi les entrées et les sorties de glaciations.

➤ Evolution des climats au cours des temps géologiques

1. Globalement, à l'échelle du Cénozoïque (période comprise entre -65 et 0Ma, le Quaternaire en fait partie), et depuis 30 millions d'années, les indices géochimiques des sédiments marins montrent une tendance générale à la baisse de température moyenne du globe. Ceci s'explique par :
 - La baisse de la concentration atmosphérique de CO₂ (concentration proche ou un peu inférieure à la concentration actuelle)
 - La baisse de concentration de ce GES explique que l'effet de serre a progressivement diminué : l'apparition de la calotte glaciaire antarctique augmente l'albédo de la planète et aussi par la hausse de la solubilité du CO₂.
 - L'érosion des matériaux continentaux : altération des roches (= « usure » physique et chimique), de transport des sédiments altérés. Suite à l'érosion, les sédiments transportés se déposent dans un bassin de sédimentation où ils vont progressivement se transformer en roche sédimentaire. L'altération des roches silicatées, les roches majoritaires au sein des chaînes de montagnes, consomme du CO₂ (puits de CO₂) : cela a donc contribué à la baisse de la concentration atmosphérique en CO₂.
 - Orogénèses alpines au sens large du Tertiaire.
 - De plus, la variation de la position des continents a modifié la circulation océanique (l'Antarctique est isolée des eaux plus chaudes).

2. Au Mésozoïque (ère s'étendant de -245 à -65Ma), pendant le Crétacé (entre -135 et -65Ma), les variations climatiques se manifestent par une tendance à une hausse de température. Les roches sédimentaires en sont les témoins : présence de nombreux gisements de roches carbonatées (charbon, pétrole) ; $\delta^{18}\text{O}$ de tests de foraminifères montrent la présence d'eaux chaudes océaniques ; pas de témoins de dépôts glaciaires (ou tillites) = pas de calotte glaciaire = albedo faible ; présences de fossiles typiques de climats chauds ; vastes formations de craie liées à une hausse du niveau marin ; l'augmentation de l'activité des dorsales (le plancher océanique est moins profond) ; la géodynamique terrestre interne (forte activité de dorsale + de points chauds + absence d'orogénèse).

Tous ces indices montrent une augmentation de la concentration atmosphérique en CO_2 : ce qui est à l'origine de la hausse de l'effet de serre et donc des températures.

3. Au Paléozoïque (ère s'étendant de -540 à -245 Ma), des indices paléontologiques et géologiques, corrélés à l'échelle planétaire et tenant compte des paléolatitudes, révèlent une importante glaciation au Carbonifère-Permien. Les indices témoins de cette glaciation : présence de tillites sur divers continents près du pôle sud ; présence de fossiles typiques de climat chaud à l'équateur ; dépôts de charbon et de bauxites. Par la modification du cycle géochimique du carbone (baisse de la concentration de CO_2 atmosphérique, augmentation de la solubilité du CO_2 = rétroaction positive) qu'elles ont entraînée, l'altération de la chaîne hercynienne (= érosion des roches suite à la formation du vaste continent La Pangée grâce à de vastes collisions donnant la chaîne hercynienne + présence d'une partie de ce vaste continent dans le pôle sud formant un vaste inlandsis : augmentation de l'albedo global donc refroidissement plus important par rétroaction positive) et la fossilisation importante de matière organique (grands gisements carbonés= forts puits de CO_2) sont tenues pour responsables de cette glaciation.

Partie 2 : Comprendre les conséquences du réchauffement climatique et les possibilités d'actions

➤ Des modèles théoriques du climat et recherches scientifiques

Un effort de recherche scientifique majeur est mené depuis quelques dizaines d'années pour élaborer un modèle robuste sur le changement climatique, ses causes et ses conséquences, et pour définir les actions qui peuvent être conduites pour y faire face.

➤ Les conséquences du réchauffement climatique

Le réchauffement climatique perturbe le fonctionnement naturel des écosystèmes : influence sur les cycles de vie des espèces (espèces aux cycles de vie modifiés, espèces dont la répartition spatiale change, espèces qui migrent vers des territoires plus froids pour survivre...).

Ainsi, en dehors des effets abiotiques, le réchauffement climatique a des impacts importants sur la biodiversité et la santé humaine :

- par des effets directs sur les populations : effectifs, état sanitaire (pathologies liées à la chaleur, maladies parasitaires comme la dengue ou le chikungunya), répartition à la surface du globe (migrations humaines liées à la montée du niveau marin, de la désertification des sols, de l'accès à l'eau...) et sur leur évolution ;
- par des effets indirects liés aux perturbations des écosystèmes naturels et agricoles : approvisionnement et régulation. On observe que les végétaux se développent plus tôt au printemps (printemps plus chauds) et sont plus sujets aux gels tardifs ; l'augmentation de la fréquence d'événements climatiques extrêmes (sécheresses, inondations...) ; l'utilisation intensive des sols et l'irrigation provoquent une salinisation des sols néfastes pour la culture des végétaux. L'augmentation de la concentration en CO₂ favorise la production de biomasse, mais l'effet positif sur le rendement photosynthétique sera contrebalancé par l'effet négatif engendré par des températures plus élevées.

➤ Les actions pour atténuer l'impact humain sur le réchauffement climatique

Aux niveaux individuel et collectif, il convient de mener des recherches et d'entreprendre des actions :

- en proposant des atténuations (mesures prises pour limiter l'ampleur d'un événement négatif) pour réduire les émissions de gaz à effet de serre :
 - les bénéfices et inconvénients de méthodes de stockage du carbone sont à l'étude, par exemple : produire de l'électricité ou du gaz en exploitant la biomasse végétale ou stocker le CO₂ dans des réservoirs souterrains, ou augmenter la part de carbone stocké dans le sol ;
 - les actions individuelles comme manger moins de viande, consommer plus local...
- en proposant des adaptations (mesures prises pour réduire la vulnérabilité des écosystèmes ou des activités humaines face à un événement négatif).
 - Il existe, dans différents pays, des plans d'action bâtis sur un consensus scientifique, dont l'objectif est de renforcer l'acquisition des connaissances, ainsi que l'évaluation éclairée et modulable des

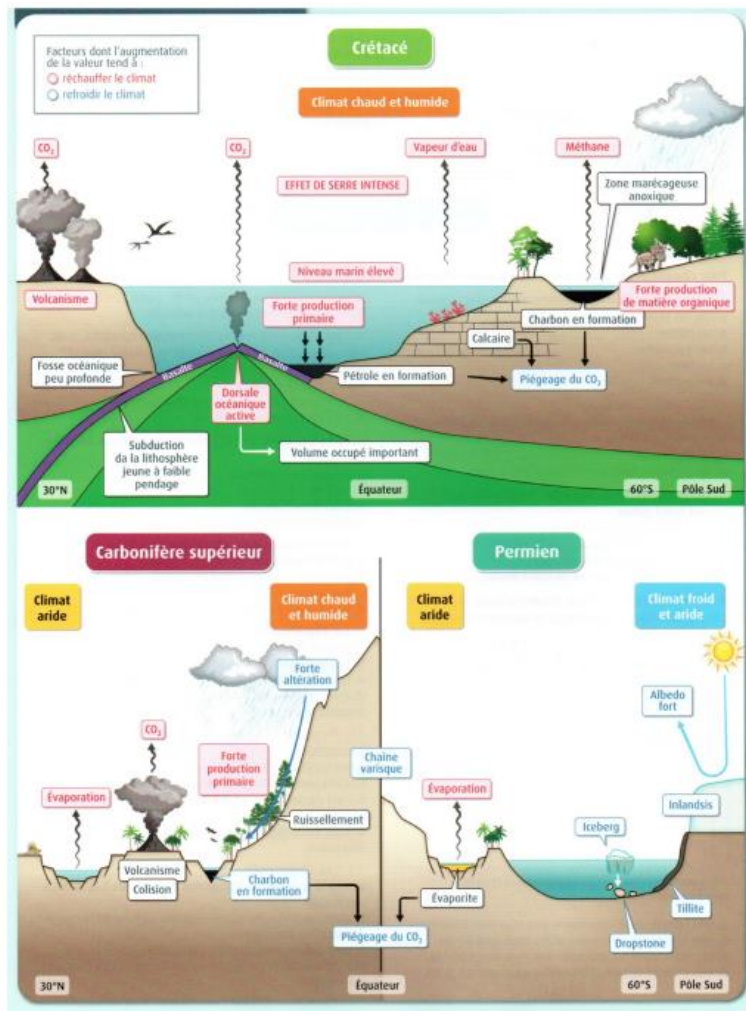
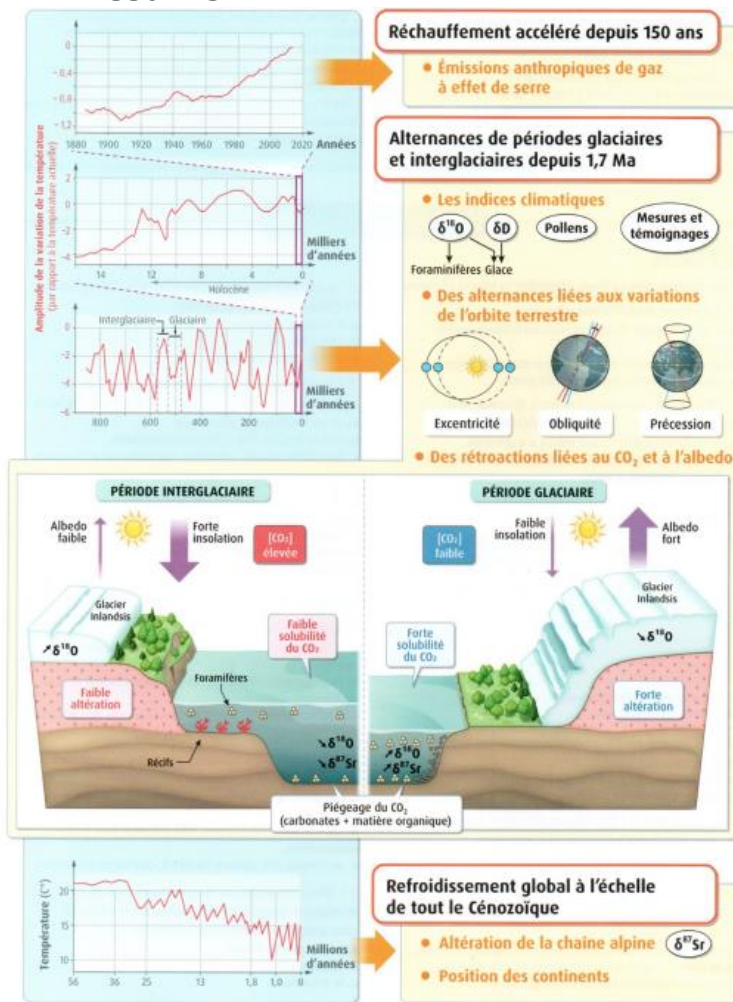
stratégies mises en place = modélisations et projections climatiques du GIEC à destination des décideurs politiques et de la population. Ce réchauffement, inéluctable, a et aura des conséquences.

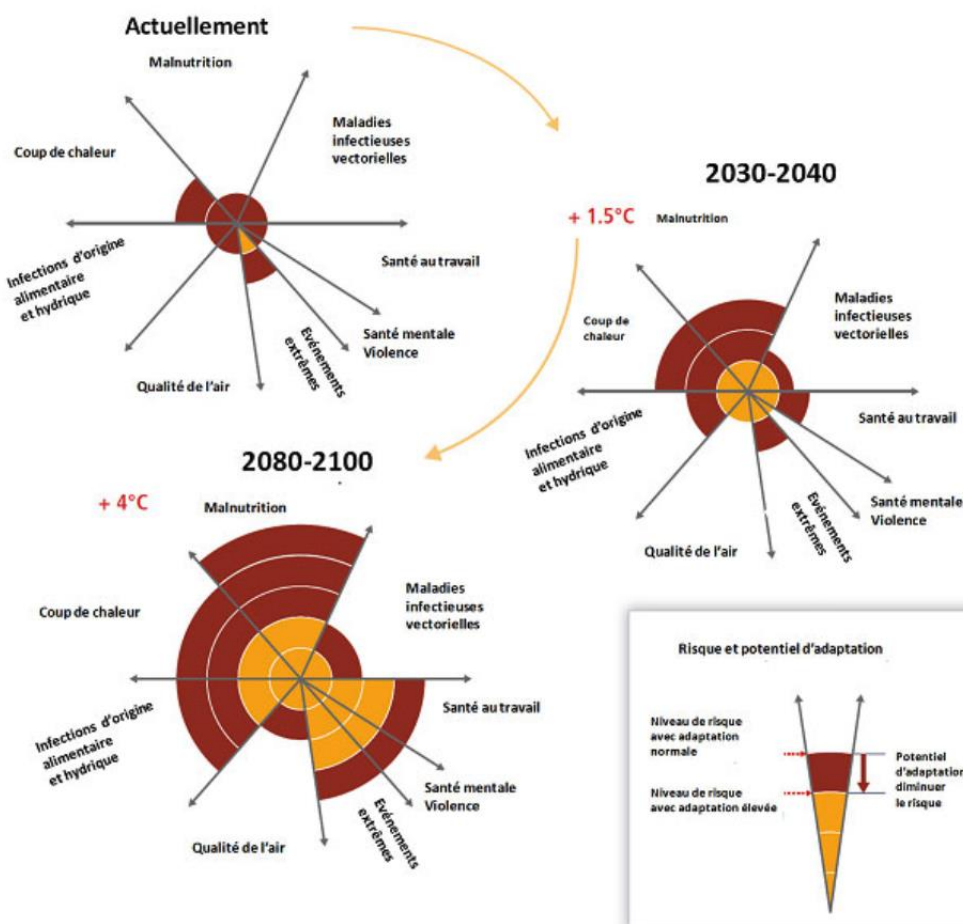
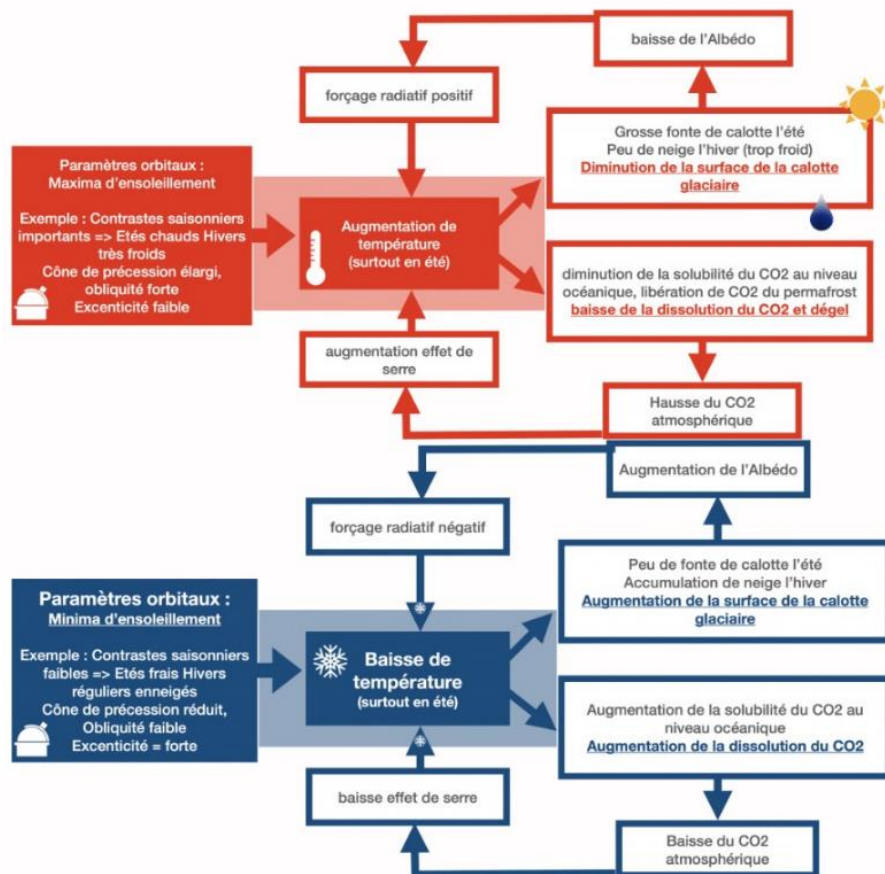
- En s'appuyant sur la différence de température observée entre les campagnes et les villes (=ICU = îlot de chaleur urbain), on végétalise les villes afin de refroidir la température grâce à l'évapotranspiration qui en consommant de l'énergie refroidit le milieu. On peut aussi implanter des points d'eau, mettre un revêtement à fort albedo...
- Au niveaux individuel et collectif, il faudra réduire nos émissions de GES afin de d'atténuer l'ampleur du réchauffement climatique. Il faut pour cela des politiques nationales et internationales (exemple des COP).

Pour réviser :

- <https://www.profsvt71.fr/pages/terminale-spe-svt/terminale-spe-svt/> <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-Tale-Spe-SVT.php>

En résumé :





En vidéo :

https://www.youtube.com/watch?v=aF78Fn6_DJO&list=PLB2JikIA1NHFfic2iEHVGcpmkZxfj1S1&index=24
<https://www.youtube.com/watch?v=pZqVOFAAmEY&list=PLB2JikIA1NHFfic2iEHVGcpmkZxfj1S1&index=25>
<https://www.youtube.com/watch?v=pxPmOo8nPDA&list=PLB2JikIA1NHFfic2iEHVGcpmkZxfj1S1&index=26>
https://www.youtube.com/watch?v=dEhTEXXZe_k&list=PLB2JikIA1NHFfic2iEHVGcpmkZxfj1S1&index=27

Thème 3 : Corps humain et santé

Chapitre 1 : Comportements, mouvement et système nerveux

Partie 1 : Les réflexes

La posture est maintenue en permanence et involontairement par la contraction et le relâchement de muscles antagonistes (= action opposée). Ce maintien de la posture est permis par le réflexe myotatique. - Le réflexe myotatique est la contraction automatique d'un muscle en réponse à son propre étirement. - La réponse est rapide, involontaire et stéréotypée.

➤ Les organes impliqués dans l'arc-réflexe myotatique

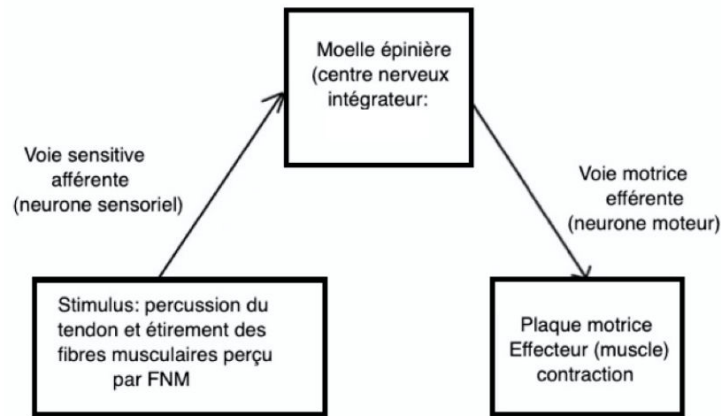
Les réflexes mettent en jeu différents éléments qui constituent l'arc-réflexe : les organes sensoriels, les nerfs sensitifs et moteurs, la moelle épinière et l'organe effecteur (le muscle).

➤ Le fonctionnement de l'arc-réflexe myotatique

1. À partir d'une sensation de départ (stimulus) captée par un récepteur sensoriel (= fuseaux neuro-musculaires (structure constituée de fibres musculaires modifiées entourées par les dendrites de neurones sensitifs ou sensoriels))
2. Un message nerveux sensitif codé en potentiels d'action est élaboré. Il circule dans les neurones sensoriels (= Les dendrites issus des fuseaux neuro-musculaires sont ceux des neurones sensitifs dont les corps cellulaires sont dans le ganglion de la racine dorsale du nerf rachidien, qui est un nerf mixte : passage des informations sensitives et motrices) jusqu'au centre nerveux (corne dorsale de la moelle épinière).
3. La moelle épinière est le centre nerveux (qui traite l'information). Elle est constituée de deux zones : la substance blanche (riche en axones et fibres nerveuses de neurones) et la substance grise (riche en corps cellulaires de neurones). Le message revient par la racine ventrale de la moelle épinière vers le muscle étiré par des neurones moteurs (motoneurones) dont les corps cellulaires sont localisés dans la substance grise de la moelle épinière. Leurs axones aboutissent aux fibres musculaires effectrices par l'intermédiaire des plaques motrices (ou jonction neuromusculaire).
4. La plaque motrice est une zone de synapses neuromusculaires. Le passage d'un message nerveux dans un motoneurone (train de Potentiels d'Action) se traduit par la contraction des fibres musculaires. Le trajet du message nerveux se démontre par les expériences de section de nerf rachidien.

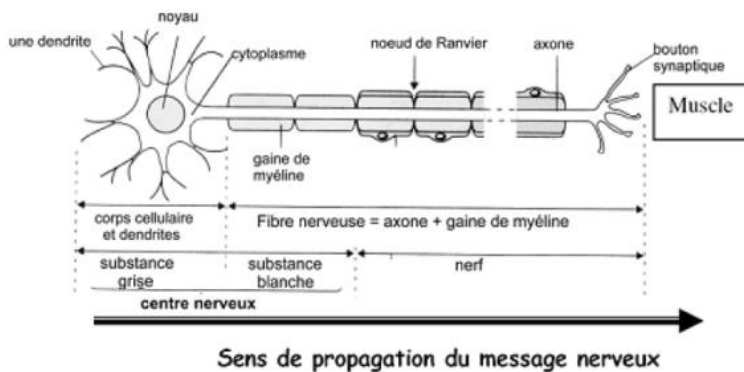
C'est un arc réflexe monosynaptique (un seul relais dans la substance grise) médullaire (le centre nerveux est la moelle épinière).

L'arc réflexe du réflexe myotatique.



➤ Les caractéristiques de la communication nerveuse.

Un nerf est constitué de fibres nerveuses, les neurones.



Un neurone est une cellule différenciée, spécialisée dans la conduction de message nerveux de nature électrique. Il est constitué d'un corps cellulaire (qui comprend le noyau), de dendrites (prolongement cellulaire rattaché au corps cellulaire, qui reçoit les informations d'autres neurones), d'un axone (structure elle aussi rattachée au corps cellulaire,

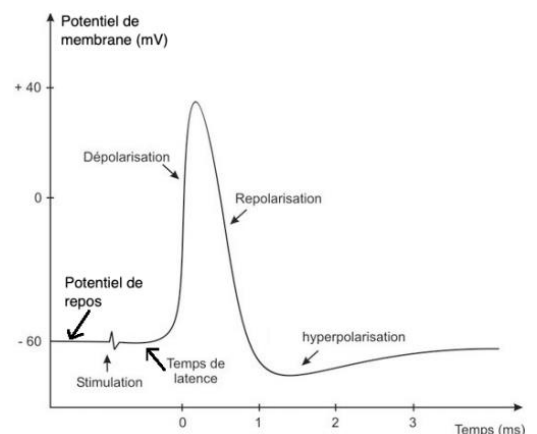
mais émettrice d'un message nerveux). L'axone se termine par un ou plusieurs boutons synaptiques.

Le neurone étant une cellule polarisée, le message nerveux passe en sens unique : dendrite à corps cellulaire à axone à bouton synaptique.

Dans une fibre nerveuse au repos, il existe une différence de potentiel entre la face externe de la cellule chargée positivement et la face interne cytoplasmique chargée négativement : cette différence de potentiel, de l'ordre de -60 à 70 mV correspond au potentiel de repos du neurone.

Lorsqu'un neurone est stimulé, apparaissent des signaux bioélectriques transitoires tous identiques. Chaque signal correspond à une modification soudaine du potentiel de repos de la fibre : brutale inversion de la polarisation membranaire puis repolarisation très rapide (de l'ordre de la ms) : c'est un potentiel d'action (PA). Un potentiel d'action est donc une inversion transitoire de la polarisation membranaire. Il se déplace à une vitesse de de 1 à 100 m.s⁻¹ (vitesse qui varie suivant le diamètre de la fibre et la présence ou non d'une gaine de myéline).

Le potentiel d'action. <http://passeport.univ-lille1.fr> consulté le 26/03/19, modifié



Le Potentiels d'Action n'apparaît qu'à la condition qu'une valeur seuil de stimulation soit dépassée (loi du tout ou rien) : une fois cette valeur dépassée, le Potentiels d'Action conserve une amplitude de 100 mV tout au long de sa propagation le long d'une fibre nerveuse.

Une augmentation de l'intensité de stimulation se traduit par une fréquence de plus en plus importante des Potentiels d'Action : on parle de « train de Potentiels d'Action ». Les messages nerveux sont codés par la fréquence des Potentiels d'Action (codage en modulation de fréquence). La fréquence d'un message nerveux est conservée tout au long de sa propagation dans la fibre.

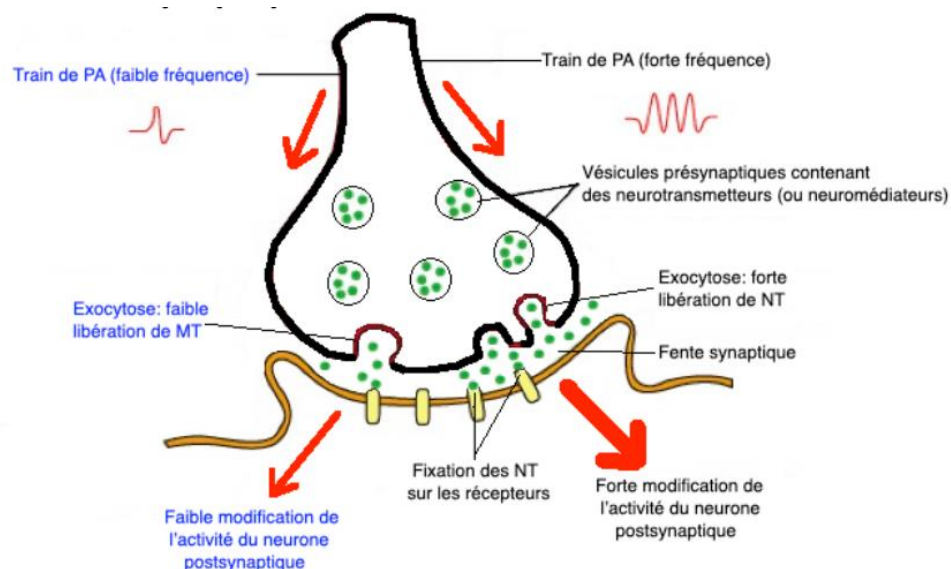
Les zones de relais entre cellules nerveuses : les synapses.

Une synapse est une zone de relais entre une cellule nerveuse et une autre cellule (nerveuse ou non : par exemple dans le cas de la synapse neuromusculaire localisée au niveau des plaques motrices, la fibre musculaire n'est pas une cellule nerveuse). Le message nerveux est ralenti au niveau d'une synapse suite à une conversion en message chimique lors du passage de la fente (ou espace) synaptique. Il y a donc un délai synaptique. Du côté pré-synaptique du neurone, des vésicules contenant des molécules de neurotransmetteur (NT) sont stockées. A l'arrivée d'un train de PA, les vésicules se dirigent vers la membrane pré-synaptique, fusionnent avec, et libèrent leur contenu dans la fente synaptique par exocytose.

Dans le cas de la synapse neuromusculaire, le neurotransmetteur est l'acétylcholine (ACh). - L'acétylcholine va se fixer sur des récepteurs post-synaptiques ouvrant un canal aux ions Na^+ , ce qui dépolarise la membrane de la cellule postsynaptique (la cellule musculaire) générant un potentiel d'action musculaire provoquant la contraction du muscle.

La libération de l'acétylcholine par le neurone présynaptique puis sa fixation sur les récepteurs post-synaptiques explique le délai synaptique, mais également que le message nerveux passe obligatoirement en sens unique au niveau synaptique. Lorsque des neurones sont stimulés avec une intensité croissante, on remarque une quantité d'acétylcholine libérée qui augmente : le message est donc codé suivant la concentration de neurotransmetteurs au niveau d'une synapse.

Fonctionnement synaptique. D'après <http://www.maxicours.com> consulté le 19/06/18, modifié



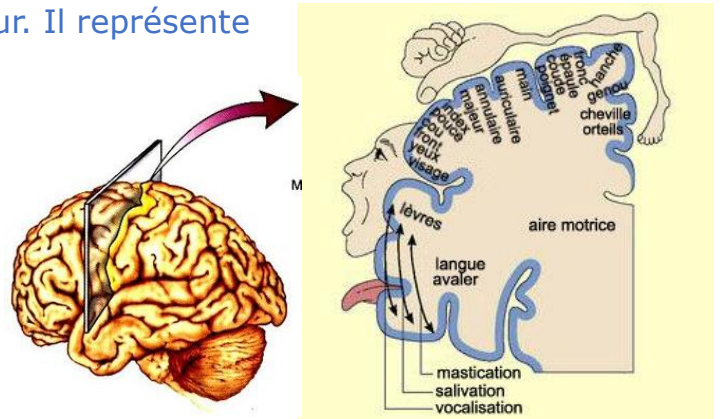
En vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=rj7aJQZwyHA&list=PLB2JikIA1NHfifc2iEHVgCpmkZxfi1S1&index=36>
<https://www.youtube.com/watch?v=-VbEF5ih5k&list=PLB2JikIA1NHfifc2iEHVgCpmkZxfi1S1&index=37>

Partie 2 : Le cerveau et mouvement volontaire

➤ Organisation du cerveau

Le cerveau est composé de neurones et de cellules gliales (plus nombreuses que les neurones) assurant le bon fonctionnement de l'ensemble. Parmi les cellules gliales, on trouve les astrocytes (qui contrôlent les flux de glucose à destination des neurones), les oligodendrocytes (formant la gaine de myéline autour des neurones), les cellules de la microglie (rôle de macrophage dans le cerveau).

L'exploration du cortex cérébral (situé à la surface du cerveau, couche superficielle de quelques mm) permet de situer les aires motrices spécialisées à l'origine des mouvements volontaires. Elles sont situées à l'arrière du lobe frontal. L'emplacement de ces aires est confirmé par la technique d'IRMf (IRM fonctionnelle) qui explore l'activité cérébrale. La cartographie des aires motrices montre une représentation déformée du corps : c'est l'homonculus moteur. Il représente la surface des zones des aires motrices qui contrôlent la motricité des différentes parties du corps. Les muscles qui effectuent des mouvements complexes y occupent une vaste surface. - La réalisation des mouvements volontaires est complexe : elle nécessite une coopération avec d'autres aires cérébrales.



➤ Le mouvement volontaire

La voie de la motricité volontaire est la voie pyramidale. Elle débute depuis le cortex moteur et descend par la substance blanche de la moelle épinière (tout en croisant à la base du bulbe rachidien). Les faisceaux d'axones de cette voie entrent en contact avec les motoneurones à différents niveaux de la moelle (au niveau de synapses dans la substance grise). Du fait du croisement des faisceaux de neurones pyramidaux, l'aire motrice de l'hémisphère droit contrôle la partie gauche du corps, et inversement.

L'intégration

Le corps cellulaire du neurone-moteur reçoit des informations diverses qu'il intègre sous la forme d'un message moteur unique.

Dans la substance grise, un neurone pyramidal entre en contact par une synapse neuro-neuronique avec les dendrites d'un motoneurone. Si un train de potentiel d'action arrive au niveau d'une synapse neuro-neuronique, alors le corps cellulaire du motoneurone intègre les différents messages qu'il reçoit (il en fait la somme), et élabore un nouveau message moteur unique qui transitera alors en direction de la fibre musculaire innervée.

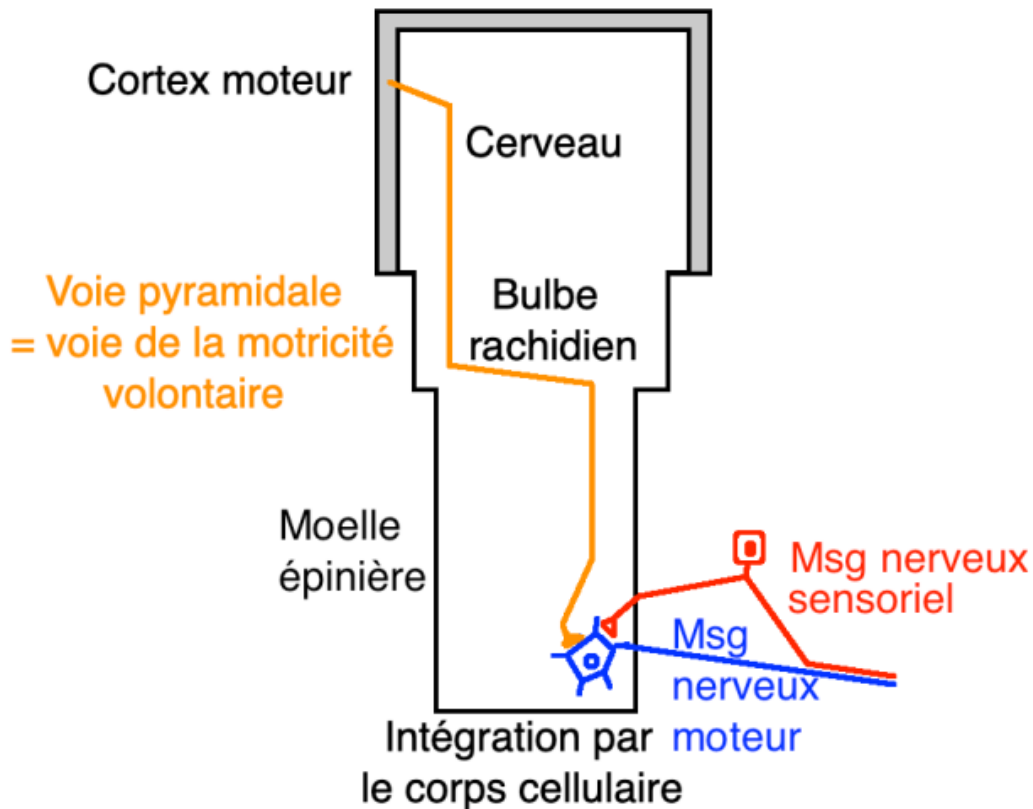
Une fibre musculaire reçoit le message d'un unique motoneurone.

Cette intégration correspond à une sommation, et peut être de deux types :

- spatiale. Plusieurs potentiels d'action venant de plusieurs afférences arrivent en même temps au niveau d'un corps cellulaire postsynaptique qui en fait alors la sommation spatiale.

- temporelle. Si au sein d'un neurone présynaptique les potentiels d'action sont suffisamment rapprochés, le neurone postsynaptique en fait la somme, ce qui peut permettre la genèse d'un nouveau potentiel d'action. On rappelle qu'un neurone postsynaptique peut à la fois intégrer des messages excitateurs et inhibiteurs.

La voie de la motricité volontaire et l'intégration



➤ Dysfonctionnement du système nerveux

Certains dysfonctionnements du système nerveux modifient le comportement et ont des conséquences sur la santé.

Par exemple dans le cas de la sclérose en plaques, la démyélinisation des axones du système nerveux central entraîne divers symptômes.

Quand la voie de la motricité volontaire est coupée lors de lésions de la moelle épinière, cela conduit à des paralysies plus ou moins importantes suivant la localisation. Par contre le réflexe myotatique est conservé.

➤ La plasticité cérébrale : récupération et apprentissage

L'entraînement et l'apprentissage modifient la carte motrice (= ensemble des régions du cortex moteur qui sont activées lors de la réalisation d'un mouvement volontaire donné) des individus. Cela témoigne de la plasticité du cortex moteur.

La plasticité en règle générale est la capacité d'adaptation anatomique et fonctionnelle du cerveau suivant les expériences vécues par l'individu (« le cerveau est malléable »). Elle repose sur des renforcements ou des modifications des connexions entre neurones, ce qui permet l'apprentissage ou la récupération partielle ou totale de la fonction cérébrale après un accident (AVC par exemple).

Partie 3 : Le cerveau, un organe fragile à préserver

➤ La communication en aires corticales

Les aires corticales communiquent entre elles par des voies neuronales où se propagent des potentiels d'action dont la fréquence d'émission est modulée par un ensemble de neurotransmetteurs.

L'étude d'IRMf permet de mettre en évidence une coopération entre différentes aires corticales. Cette coopération fait intervenir des voies neuronales interconnectées où se propagent des messages codés en fréquence de potentiels d'action.

Les neurones qui interviennent peuvent être excitateurs ou inhibiteurs : cela dépend du neurotransmetteur libéré, ce qui permet de moduler la fréquence des potentiels d'action le long des voies neuronales (via l'intégration par les neurones). Par exemple, l'acétylcholine est un neurotransmetteur excitateur, alors que GABA est inhibiteur.

➤ Perturbation du système nerveux et substances exogènes

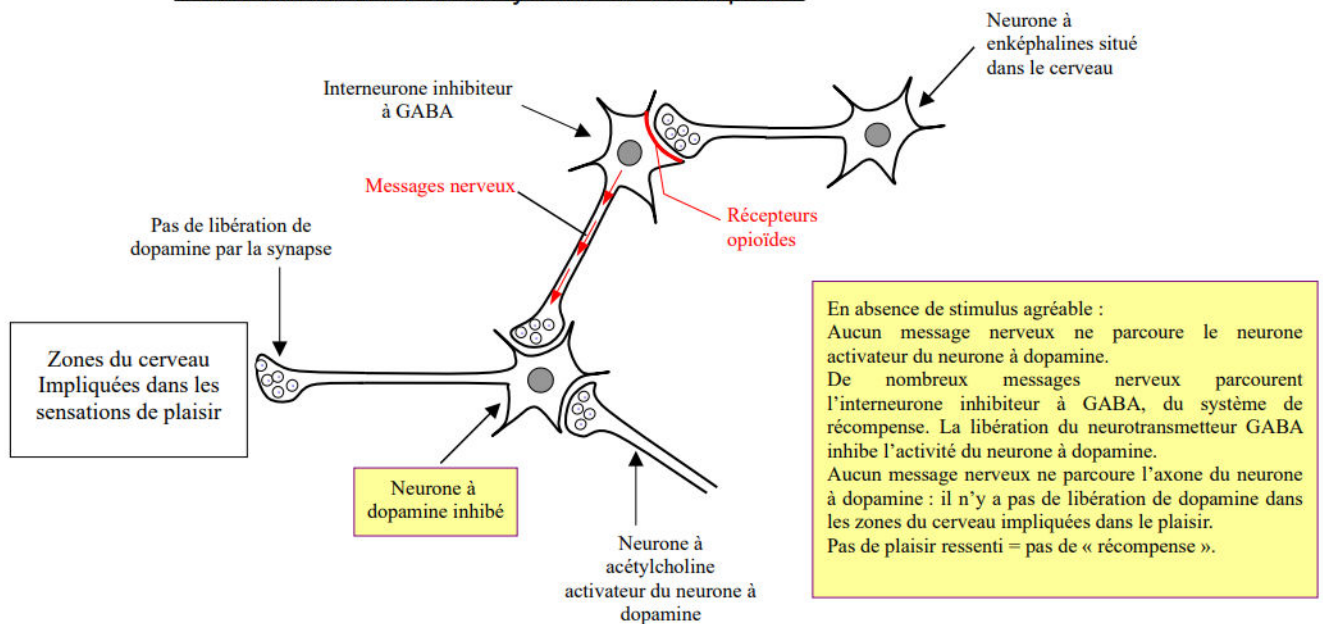
La prise de substances exogènes (= substances non synthétisées par le corps comme l'alcool, les drogues) peut entraîner la perturbation des messages nerveux.

Les substances exogènes peuvent activer le système de récompense. Le système est un ensemble de zones cérébrales interconnectées qui sont à l'origine de la sensation de plaisir.

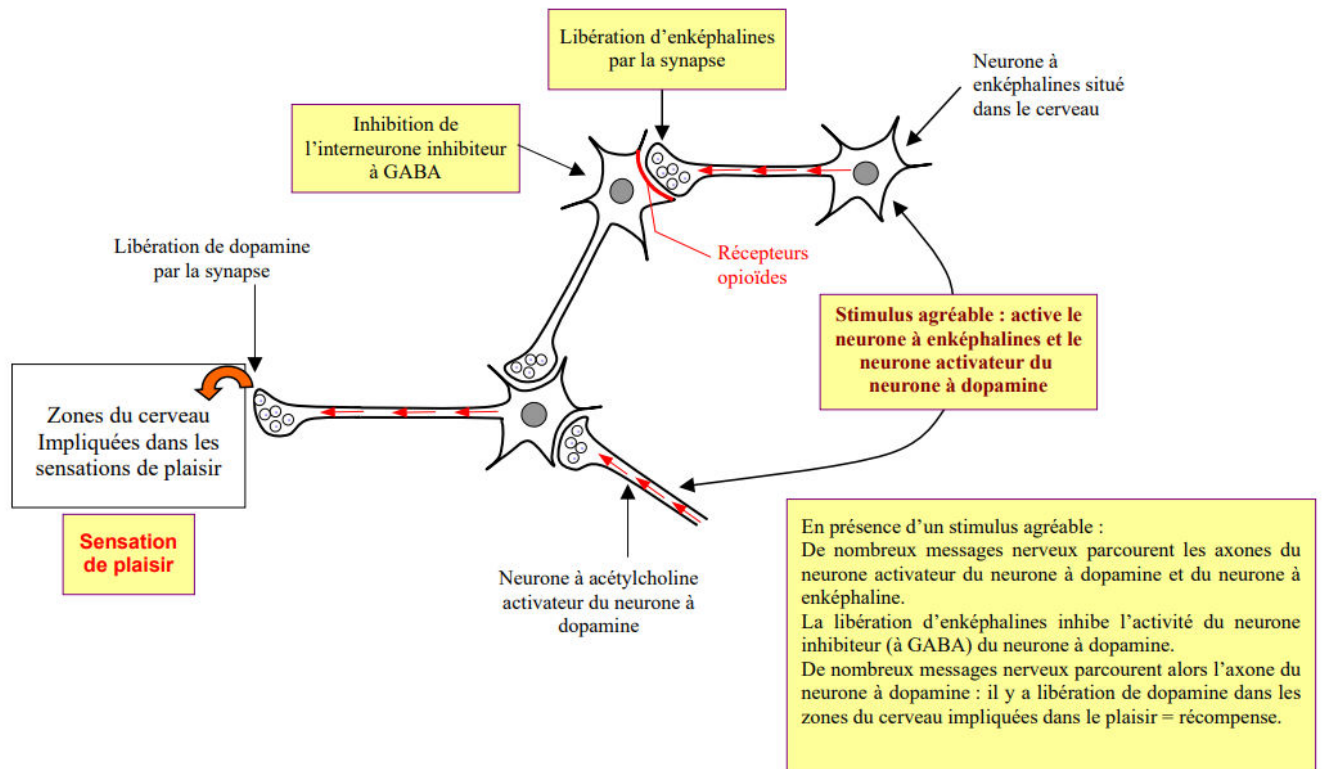
L'activation du système de récompense libère un neurotransmetteur, la dopamine entraînant une perturbation des messages nerveux. Cela peut conduire à des comportements addictifs.

L'addiction est la consommation répétée d'une substance ou la reproduction d'un comportement motivés par la satisfaction qu'ils apportent

Fonctionnement basal du système de récompense

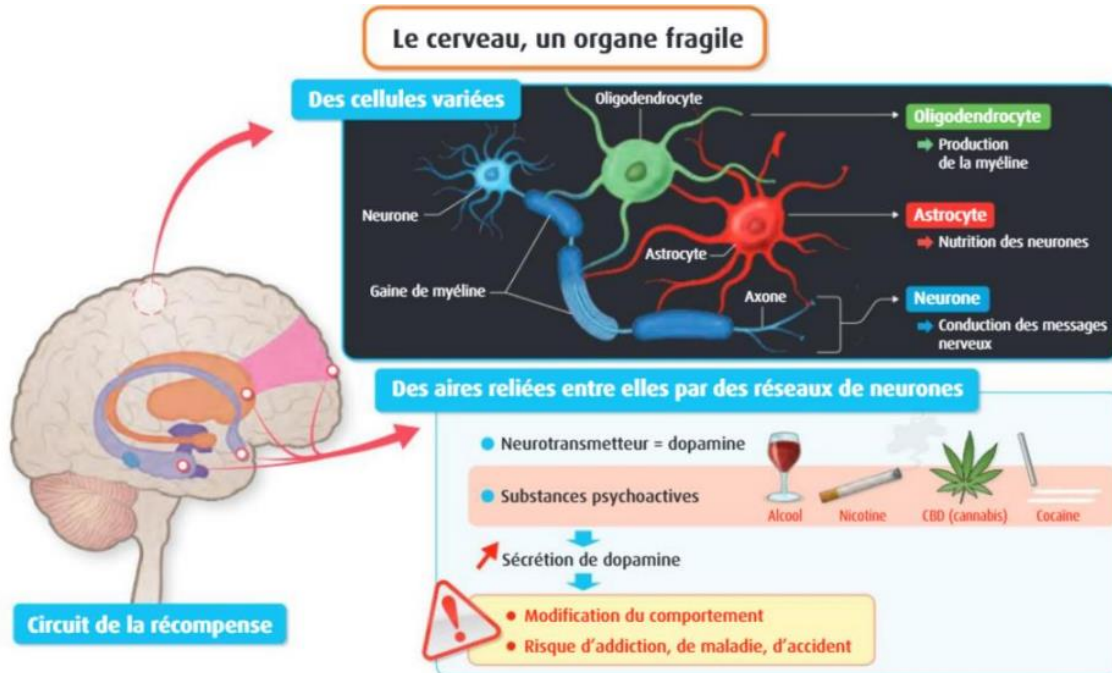
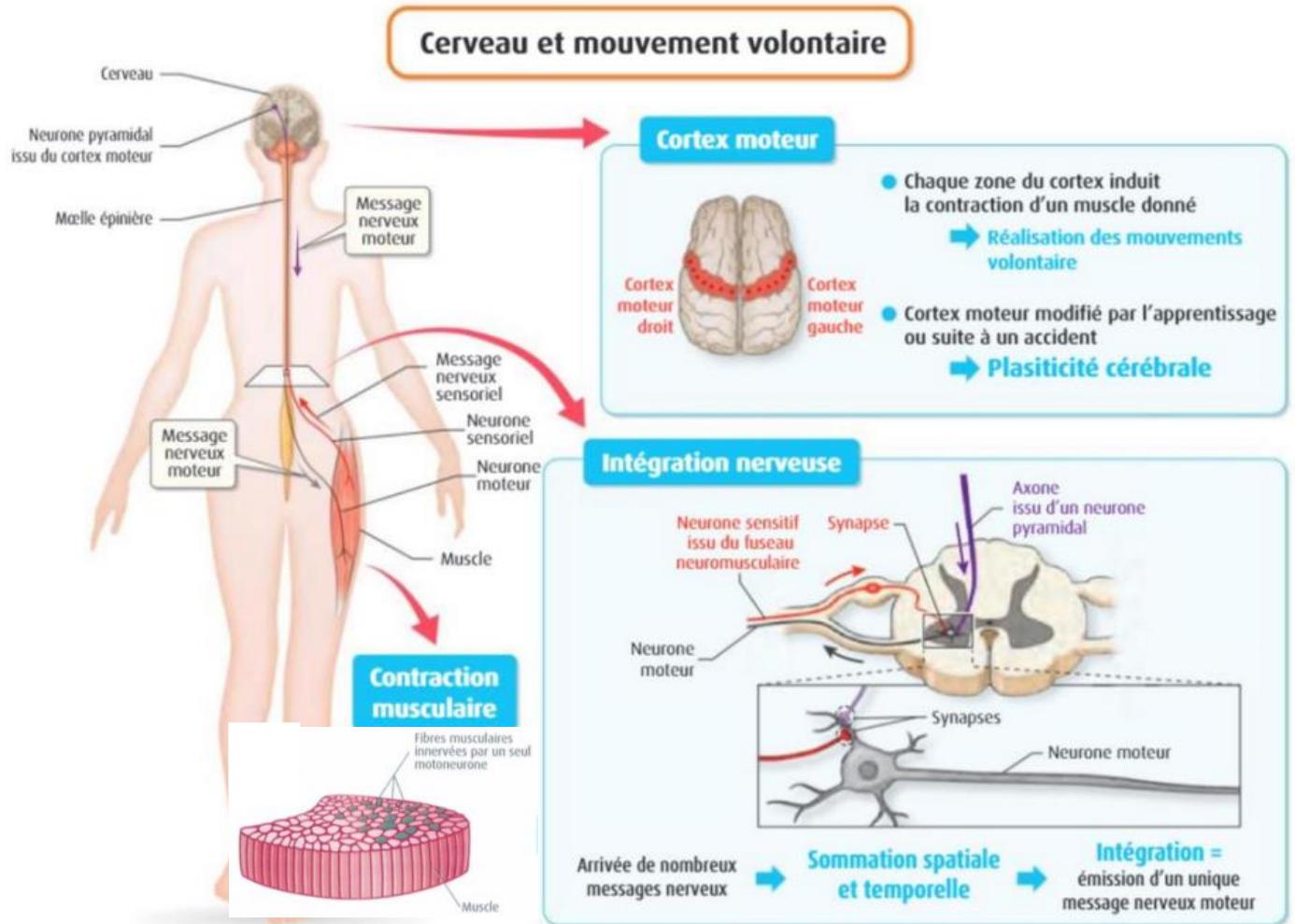


Activation du système de récompense



Pour réviser : <https://www.profsvt71.fr/pages/terminale-spe-svt/terminale-spe-svt/> <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-Tale-Spe-SVT.php>

En résumé :



En vidéo :

<https://www.youtube.com/watch?v=ODCeMiq4s1c&list=PLB2JikIA1NHfFic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=38>

https://www.youtube.com/watch?v=zSTQN_HeUo4&list=PLB2JikIA1NHfFic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=39

<https://www.youtube.com/watch?v=fdrVjdO-6Yc&list=PLB2JikIA1NHfFic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=40>

<https://www.youtube.com/watch?v=byqQwNeGGz8&list=PLB2JikIA1NHfFic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=41>

Chapitre 2 : Produire le mouvement : contraction musculaire et apport d'énergie

Partie 1 : La cellule musculaire : une structure spécialisée permettant son propre raccourcissement

➤ Les organes du mouvement

Les muscles sont les organes du mouvement : ils sont reliés aux os par les tendons au niveau des articulations. Le tendon est constitué de cellules (fibroblastes) qui produisent du collagène (molécule de la matrice extracellulaire qui est un assemblage de molécules qui lient les cellules entre elles permettant leur organisation en tissu). Dans le tendon, le collagène forme des fibres très résistantes.

Au niveau d'un membre, on trouve des muscles antagonistes (= action opposée puisqu'extenseur et fléchisseur). La contraction d'un muscle se traduit par son raccourcissement et son épaississement permettant le mouvement. Le muscle antagoniste lui se relâche (sinon le mouvement est impossible). La contraction du muscle tire sur le tendon (qui se déforme peu) et donc sur l'os ce qui permet le mouvement relatif des os au niveau de l'articulation (les os sont reliés entre eux par des ligaments).

➤ Organisation d'un muscle strié

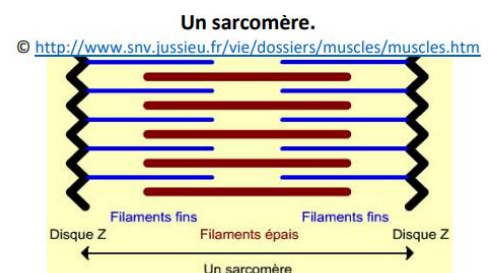
Le muscle strié est un ensemble de cellules musculaires (=fibres musculaires) dites striées, organisées en faisceaux musculaires parallèles entre eux.

Une fibre musculaire est une cellule géante plurinucléée qui possède des protéines organisées en myofibrilles parallèles entre-elles dans son cytoplasme.

La cellule musculaire, cellule spécialisée très allongée et striée, est caractérisée par un cytosquelette particulier, c'est-à-dire en sarcomères = unités de base contractiles qui se répètent tout le long des myofibrilles, d'où la vision des stries en surface des cellules musculaires.

Chaque sarcomère est constitué de protéines d'actine et de myosine organisées en myofilaments. Dans un sarcomère, les filaments épais de myosine alternent régulièrement avec des filaments fins d'actine.

Lors de la contraction de la cellule musculaire, la longueur de la cellule diminue et les stries se rapprochent par diminution de la longueur des sarcomères. Ceci est possible grâce au glissement au sein de chaque sarcomère, des filaments d'actine par rapport à ceux de myosine (les longueurs des filaments d'actine et de myosine restent donc constantes). Le glissement des filaments d'actine est rendu possible par l'accrochage des têtes de myosine en des sites précis de l'actine, puis le pivotement des têtes permet le glissement des filaments d'actine (l'angle de la tête se modifie).



➤ La contraction musculaire

La contraction musculaire nécessite des ions calcium et l'utilisation d'ATP comme source d'énergie (prouvé à partir d'expériences montrant que la tension d'un muscle augmente en présence de calcium et d'ATP).

Le Ca^{2+} libéré par le réticulum sarcoplasmique se fixe en des sites précise sur le filament d'actine permettant de démasquer les listes de liaison des têtes de myosine et ainsi la contraction musculaire.

En présence de Ca^{2+} (non visible sur le schéma) les têtes de myosine (couplées à ADP et P_i) s'attachent alors à l'actine. Le départ d'ADP et P_i provoque un changement de conformation de la tête de myosine et son pivotement, faisant glisser l'actine vers le centre du centromère. De l'ATP arrive alors permettant le détachement de la tête de myosine de l'actine, puis l'hydrolyse en ADP + P_i provoque le pivotement de la tête de myosine. Le cycle s'achève, et un autre peut recommencer tant que l'ion Ca^{2+} est présent. - L'énergie chimique contenue dans la molécule d'ATP est en fait convertie en énergie mécanique (d'où le mouvement).

➤ La myopathie

Dans certaines myopathies comme la myopathie de Duchenne, la maladie se manifeste dans les formes les plus sévères par des difficultés motrices vers 2 ou 3 ans, puis par une perte de la capacité à marcher vers 12 ans. L'espérance de vie est limitée à 20-30 ans (et la maladie représente en France 1 naissance sur 3 300 et quasi essentiellement des garçons).

Les cellules des muscles squelettiques, lisses (=paroi des vaisseaux sanguins ou des viscères comme l'intestin, l'utérus,) et le muscle cardiaque s'abiment à chaque contraction et finissent par se détruire.

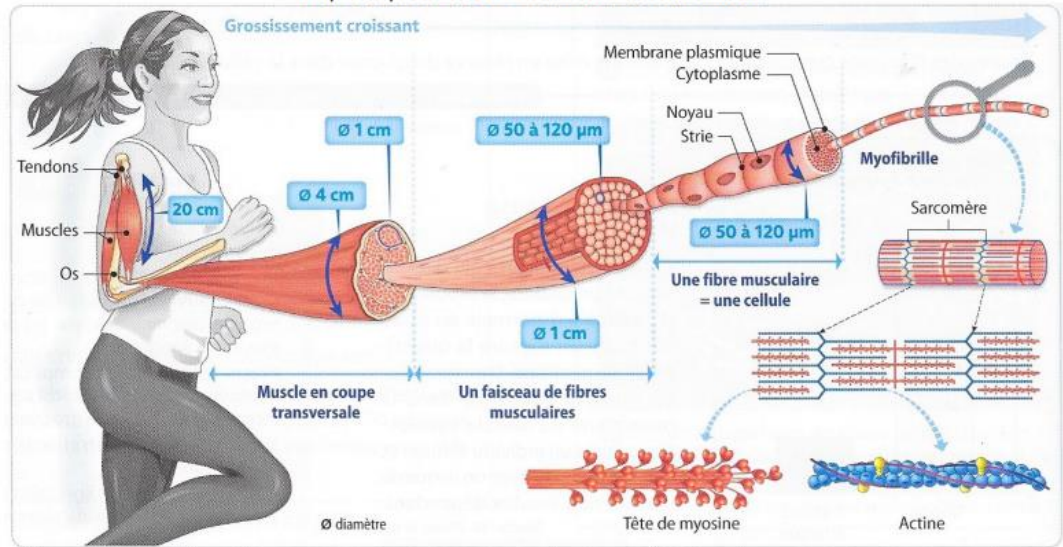
Le gène DMD à l'origine de la myopathie, et codant la protéine dystrophine est le plus long gène humain. Il est situé sur le chromosome X (d'où la prévalence presque exclusive chez l'homme). La dystrophine n'est pas produite chez les malades. La dystrophine protège l'intégrité de la membrane plasmique au cours des cycles de contraction / relâchement de la cellule musculaire. Elle lie les myofilaments d'actine à des protéines membranaires, elles-mêmes attachées à des protéines de la matrice extracellulaire qui emballe les fibres musculaires. Cette absence de liaison par non-présence de dystrophine est à l'origine de la dégénérescence des fibres musculaires.

Pour réviser : <https://www.profsvt71.fr/pages/terminale-spe-svt/terminale-spe-svt/> <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-Tale-Spe-SVT.php>

En résumé :

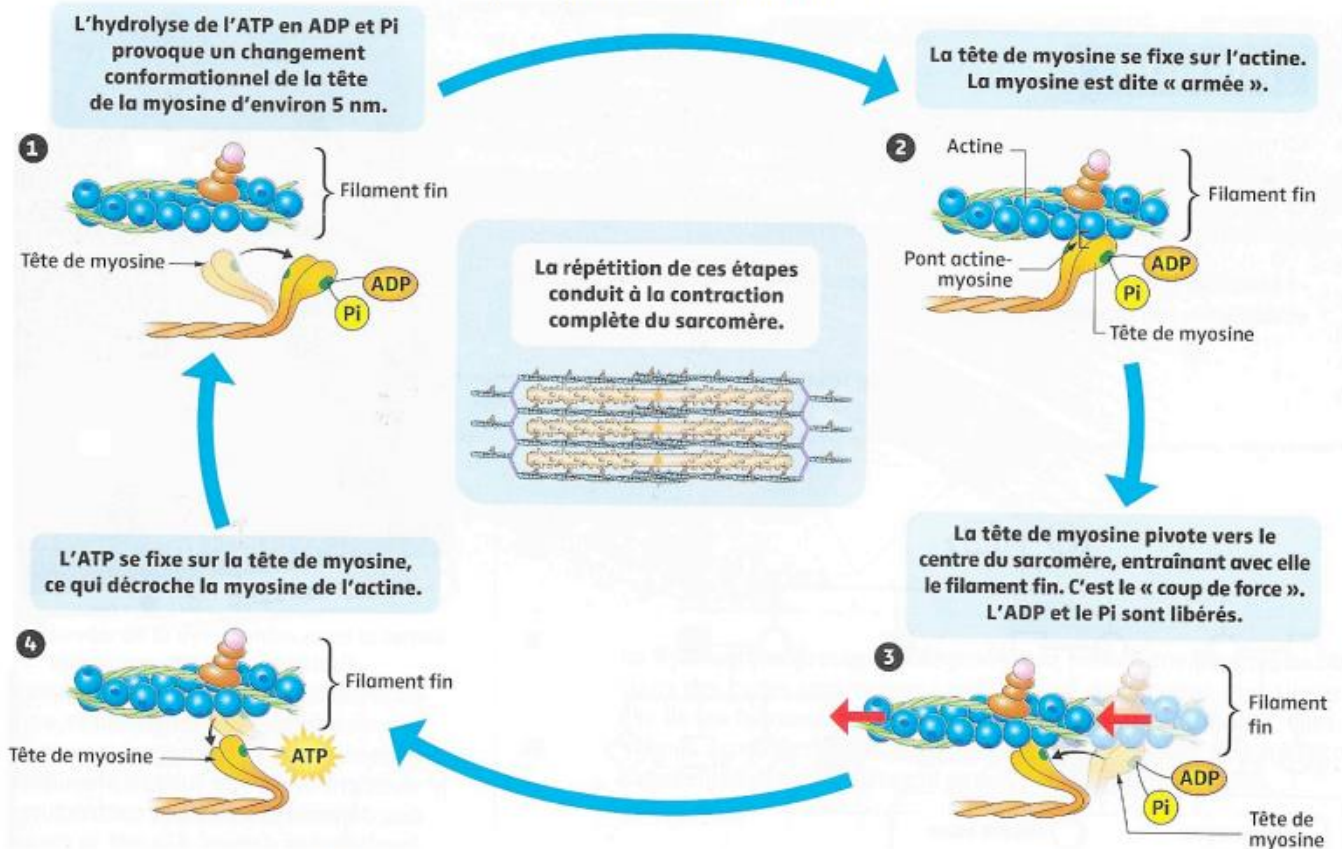
Les différents niveaux d'organisation d'un muscle.

D'après Spécialité SVT Hachette Education 2020



Les étapes moléculaires de la contraction musculaire.

D'après Spécialité SVT Nathan 2020

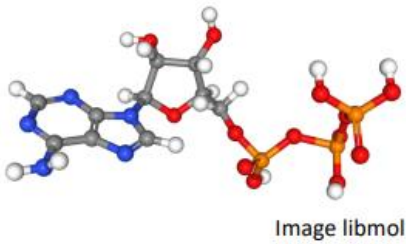


En vidéo :

<https://www.youtube.com/watch?v=npBylPHmQfc&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=42>
<https://www.youtube.com/watch?v=p5CNAHq2OjE&list=PLB2JikIA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=43>

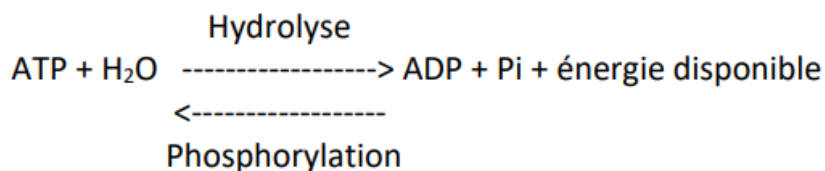
Partie 2 : Origine de l'ATP nécessaire à la contraction de la cellule musculaire

La molécule d'ATP



L'énergie est apportée sous forme de molécules d'ATP (Adénosine triphosphate) à toutes les cellules à partir d'ADP (Adénosine diphosphate) et de phosphate inorganique. L'ATP est un nucléotide constitué d'une base azotée, l'adénine, et d'un sucre, le ribose, auquel sont rattachés successivement trois groupements phosphate PO_4^{3-} (et donc deux pour l'ADP). C'est une molécule

riche en énergie parce que son unité triphosphate contient une liaison riche en énergie entre les deux derniers phosphates. Une grande quantité d'énergie est libérée lorsque l'ATP est hydrolysée en ADP, ce qui permet à la cellule de réaliser des réactions nécessitant un apport énergétique. La synthèse d'ATP nécessite un apport d'énergie : c'est une phosphorylation.



Il n'y a pas de stockage de l'ATP, cette molécule est donc produite par les cellules à partir de matière organique, notamment le glucose. L'ATP est donc continuellement formée et consommée dans la cellule. L' O_2 apporté aux muscles est prélevé au niveau des poumons, puis apporté par le sang. Le sang apporte également les nutriments, dont le glucose, issus de la digestion ou de réserves dans l'organisme et permettant la synthèse d'ATP

IL existe deux voies métaboliques permettant de fournir cet ATP : Les métabolismes anaérobie (sans O_2) ou aérobie (avec O_2) dépendent du type d'effort à fournir.

- Pour un effort intense et très bref, c'est d'abord le stock de phosphocréatine qui est utilisé, puis la fermentation lactique prend rapidement le relais.
- Pour un effort long (endurance), c'est progressivement la voie aérobie qui s'enclenche et qui devient dominante (le délai de latence étant en partie dû au retard lié à la modification progressive des paramètres respiratoire et cardiaque).

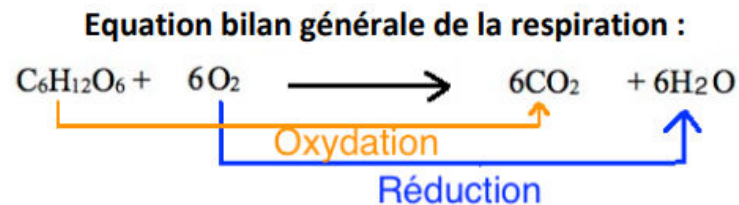
Ainsi les efforts brefs et intenses mobilisent surtout les voies anaérobies (phosphocréatine et fermentation lactique) alors que les efforts d'endurance reposent sur la voie aérobie.

Par ailleurs, il existe deux types de fibres musculaires dans les muscles : les fibres de type I (rouges) et les fibres de types II (blanches). Les proportions des deux types de fibres dans les muscles évoluent suivant les types d'efforts (sachant qu'il y a aussi détermination génétique et qu'avec l'âge la proportion de FT I augmente au détriment des FT II).

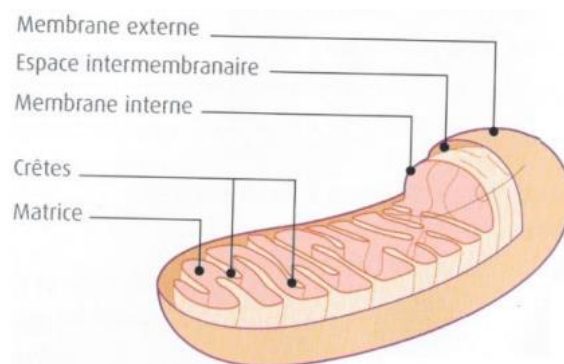
- Les fibres de types I sont surtout développées chez les sportifs pratiquant l'endurance, celles de type II chez ceux faisant des efforts courts et intenses de type sprint. Les FT I ont une vitesse de contraction lente, une forte teneur en enzymes du cycle de Krebs et de la chaîne respiratoire (et beaucoup de mitochondries). Le réseau de capillaires est très développé : elles effectuent surtout la respiration cellulaire.
- Les FT II ont une vitesse de contraction rapide (explosivité), une teneur élevée en enzymes permettant la fermentation lactique et peu de mitochondries. Le réseau de capillaires est peu développé : elles effectuent surtout la fermentation lactique.

➤ La voie aérobie

La voie aérobie est assurée par la respiration cellulaire, qui se déroule dans les mitochondries. La respiration cellulaire correspond à l'oxydation complète du glucose en présence d'O₂. Toute l'énergie potentiellement présente dans le glucose est alors récupérée (contrairement aux fermentations). On peut démontrer la respiration cellulaire par expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) sur des levures (champignons unicellulaires). L'équation bilan globale de la respiration cellulaire est :



La mitochondrie est un organe long de quelques µm, enveloppé par deux membranes : la membrane externe et la membrane interne qui forme vers l'intérieur de la mitochondrie des replis ou crêtes. Un espace intermembranaire large de quelques nm sépare ces deux membranes. Le compartiment le plus interne d'une mitochondrie est la matrice.



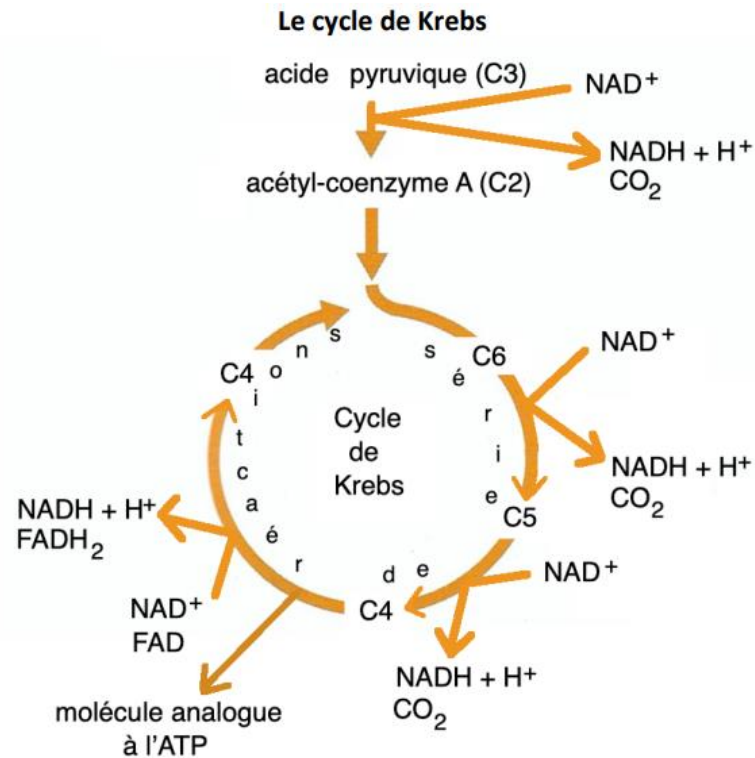
D'après SVT spécialité SVT 2012

La respiration mitochondriale se déroule avec l'acide pyruvique et non le glucose. *On peut le démontrer par ExAO sur des suspensions mitochondriales.* Elle se fait en deux phases : le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire.

- le cycle de Krebs.

Une fois entré dans la mitochondrie, l'acide pyruvique se transforme en acétyl-coenzyme A (suite à un départ de CO₂ et une réduction d'un NAD⁺ en NADH + H⁺). L'acétyl coenzyme A est la molécule qui entre dans le cycle de Krebs qui se déroule dans la matrice mitochondriale. Les molécules carbonées du cycle subissent des décarboxylations (= départ de CO₂ qui quitte ensuite la cellule pour rejoindre le sang puis les poumons) et une oxydation progressive couplée à la réduction de NAD⁺ et FAD (flavine adénine dinucléotide). De l'ATP est également produit à partir d'ADP et Pi (molécule analogue dans le schéma).

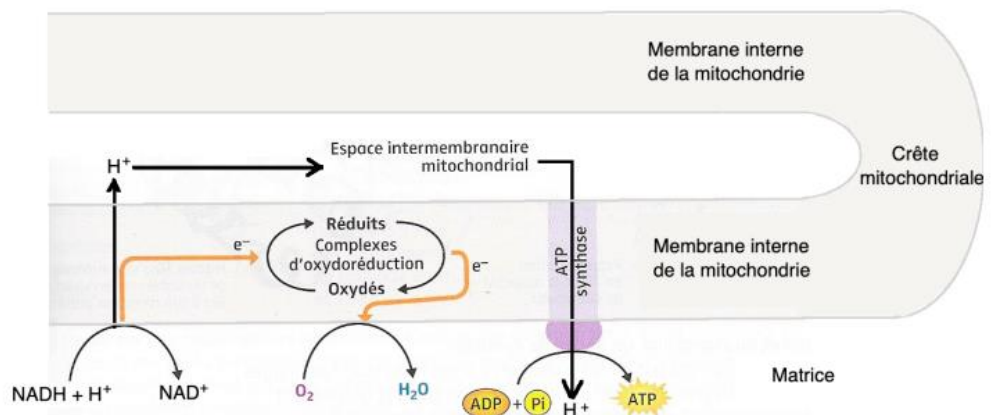
Le cycle de Krebs



Au cours du cycle de Krebs, l'acide pyruvique est totalement oxydé en CO_2 . Le fonctionnement du cycle permet par couplage la synthèse de deux molécules d'ATP.

- la chaîne respiratoire.

Elle se déroule au niveau des crêtes mitochondriales. On peut l'étudier à partir d'expériences sur les particules submitochondriales. La membrane interne des mitochondries est très riche en protéines (80 % de ses constituants). Parmi celles-ci, certaines constituent la chaîne respiratoire. Ces molécules assurent une réoxydation des composés réduits NADH , H^+ et FADH_2 produits par la glycolyse et le cycle de Krebs. Chaque transporteur de la chaîne accepte les électrons du transporteur précédent et les transmet au suivant. Ce transfert d'électrons est accompagné d'un flux de protons H^+ vers l'espace intermembranaire. En bout de chaîne, c'est le dioxygène qui accepte les électrons (ainsi que des protons) pour former de l'eau (c'est donc une réduction). On observe aussi de nombreuses sphères pédonculées sur la membrane interne des mitochondries : elles sont au contact de la matrice mitochondriale. Les sphères pédonculées correspondent à des ATP synthases. Les protons situés dans l'espace intermembranaire retournent vers la matrice à travers les ATP synthases, ce qui génère une importante quantité d'ATP. - Les oxydations qui se produisent au cours de la chaîne respiratoire fournissent à l'ATP synthase l'énergie permettant de produire 32 molécules d'ATP à partir de 12 molécules de NADH , H^+ .

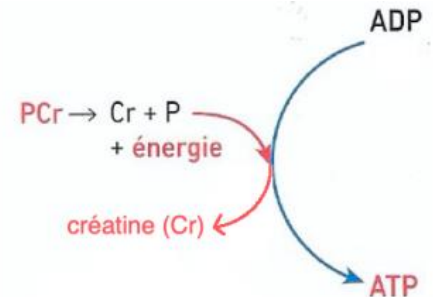


Il y a donc production de 36 molécules d'ATP par molécule de glucose oxydée dans le cas de la respiration cellulaire : 2 lors de la glycolyse, 2 lors du cycle de Krebs et 32 dans la chaîne respiratoire. L'ATP produit permet alors les activités cellulaires.

➤ La voie anaérobie

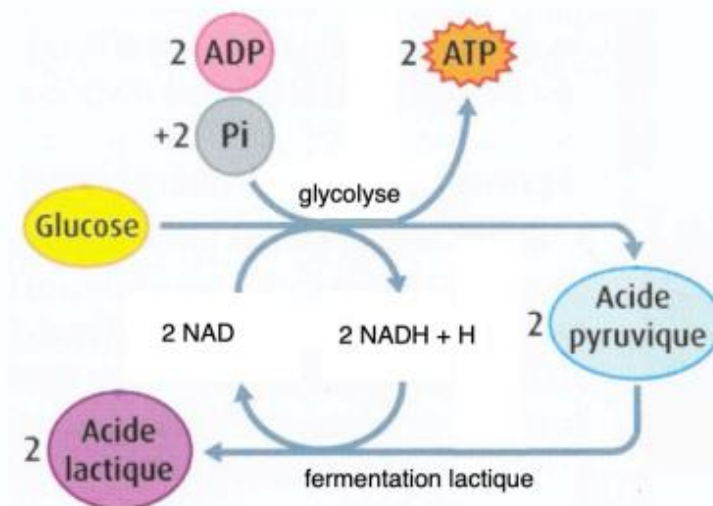
La voie anaérobie regroupe la régénération de l'ATP par la phosphocréatine et par la fermentation lactique. :

- La voie anaérobie de la phosphocréatine : La phosphocréatine (PCr) est une molécule présente dans l'hyaloplasme (= cytosol = phase plus ou moins liquide du cytoplasme dans laquelle baignent les organites) des cellules musculaires. La phosphocréatine possède une liaison phosphate à haut potentiel énergétique. L'énergie libérée par l'hydrolyse de la phosphocréatine en créatine permet par couplage de reconstituer très rapidement de l'ATP à partir de l'ADP :



En moins de 20 s, le stock de phosphocréatine s'épuise et l'ATP ne peut plus être régénéré par cette voie. Après l'effort, le stock de phosphocréatine est reconstitué à partir de la créatine

- La voie anaérobie de la fermentation lactique : Elle débute par la glycolyse, voie commune à la fermentation lactique et à la respiration cellulaire. Dans l'hyaloplasme, le glucose est transformé en acide pyruvique. Au cours de la glycolyse, une série de transformations chimiques catalysées par différentes enzymes oxydent partiellement le glucose en acide pyruvique. En l'absence d'O₂, la fermentation lactique suit la glycolyse, toujours dans l'hyaloplasme. - A partir des 2 acides pyruviques, de l'acide lactique est synthétisé (et cette molécule contient encore potentiellement de l'énergie) : l'oxydation du glucose est alors incomplète. - Cela permet alors l'oxydation des molécules de NADH en NAD⁺ (qui pourront de nouveau servir dans la glycolyse). - Il n'y a pas de production d'ATP en dehors de la glycolyse



Si l'on compare le rendement de la fermentation lactique (de la fermentation en général) et de la respiration cellulaire, il penche nettement en faveur de la respiration cellulaire (environ 60 % contre moins de 4%). Cela s'explique par le fait que le glucose est complètement oxydé lors de la respiration cellulaire, alors que ce n'est pas le cas dans la fermentation.

➤ Substances exogènes et métabolisme musculaire

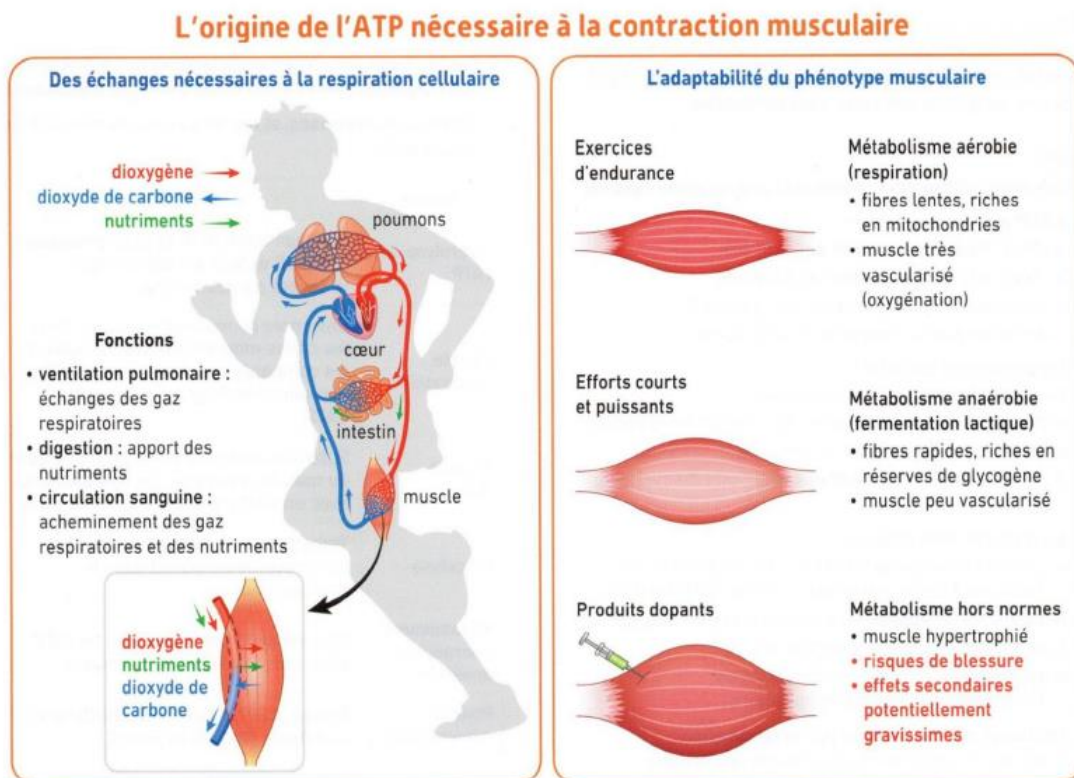
La prise de substances exogènes (= n'étant pas produites par l'organisme) peut modifier la masse et le métabolisme musculaire. C'est le cas des produits dopants qui modifient ainsi les performances, avec par exemple les SAA (stéroïdes androgènes anabolisants : molécules dérivées de la testostérone).

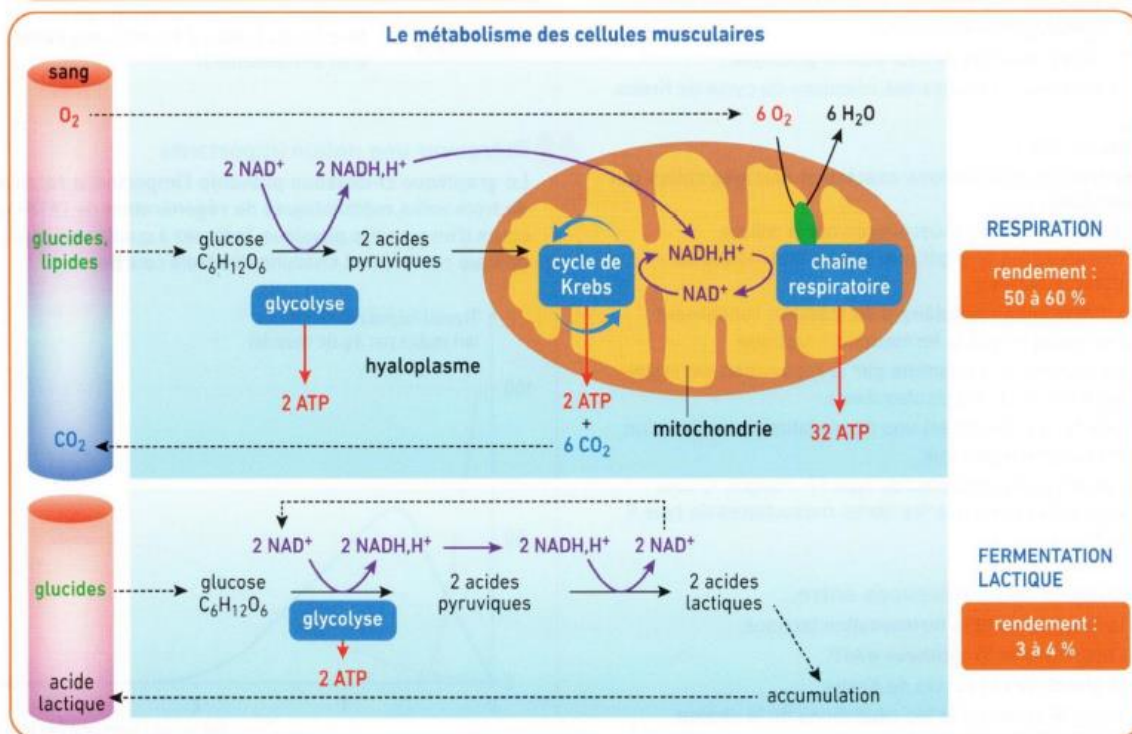
La prise de ces substances de synthèse de structure voisine de la testostérone modifie le métabolisme des cellules musculaires en stimulant l'anabolisme (= augmentent la synthèse des protéines) : on observe un accroissement de la masse musculaire et de la force musculaire et donc des performances (particulièrement lors d'un entraînement régulier). Cela s'explique par le fait que les cellules musculaires ont des récepteurs à la testostérone auxquels ces substances exogènes se lient.

Ces substances peuvent également provoquer des effets secondaires qui ont parfois de graves conséquences sur la santé. Le stanozolol est un exemple de SAA. Il figure sur la liste des substances interdite par l'AMA (Agence Mondiale Antidopage) en compétition et en hors compétition.

Pour réviser : <https://www.profsvt71.fr/pages/terminale-spe-svt/terminale-spe-svt/> <https://www.gcm-svt.fr/OCM/public-Tale-Spe-SVT.php>

En résumé :



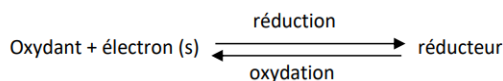


(Bordas, Ed.2020, p.433)

Rappels métabolisme et oxydo-réduction

Une réaction d'oxydo-réduction correspond à un transfert d'électrons. Un oxydant est un accepteur d'électrons alors qu'un réducteur est un donneur d'électrons. Lorsqu'un oxydant capte des électrons, il se réduit alors que lorsqu'un réducteur cède des électrons il s'oxyde. Une oxydation correspond alors à une perte d'électrons, une réduction à un gain d'électrons.

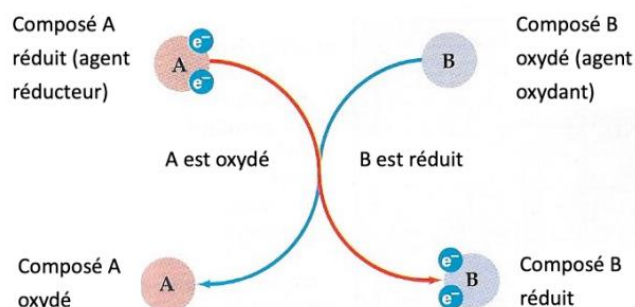
Ce qui revient à l'équation suivante :



Un oxydant et un réducteur forment un couple comme schématisé ci-dessous.

Oxydation et réduction.

Lorsque le composé A est oxydé, le composé B est réduit. Dans cette réaction, A perd des électrons et B en gagne. Dans cette réaction redox, A est l'agent réducteur car il donne des électrons et B est l'agent oxydant car il accepte des électrons.



D'après « Le Monde du vivant, Purves et coll. Flammarion ».

Dans le métabolisme, au cours de la respiration cellulaire et de la fermentation, on observe :

- Une oxydation du glucose (totale pour la respiration, incomplète pour les fermentations)
- Une réduction des composés NAD^+ (et FAD) en $NADH + H^+$ (et $FADH_2$) au cours de la glycolyse et du cycle de Krebs
- Une oxydation du $NADH + H^+$ (et du $FADH_2$) au cours de la formation d'acide lactique (fermentation lactique) et de la chaîne respiratoire (respiration cellulaire) et donc un recyclage de ces composés qui peuvent alors resservir.

Au cours de la chaîne respiratoire, l'oxydation de ces composés libère des électrons qui transitent par la chaîne respiratoire et dont l'accepteur final est l' O_2 qui est alors réduit en H_2O

En vidéo :

<https://www.youtube.com/watch?v=hWEdcW9iIPA&list=PLB2JiklA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=44>

<https://www.youtube.com/watch?v=MDbwZgEV1yw&list=PLB2JiklA1NHFific2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=45>

Partie 3 : Le contrôle des flux de glucose, source essentielle d'énergie des cellules musculaires

Les cellules musculaires ont besoin de nutriments, principalement de glucose et de dioxygène, puisés dans le sang.

➤ Les réserves de glucose

Les réserves de glucose se trouvent sous forme de glycogène (=polymères de glucose) dans les cellules musculaires et dans les cellules hépatiques.

Dans les cellules musculaires, ce stock de glycogène est alors utilisé lors de la contraction musculaire qui nécessite de grandes quantités d'ATP.

Les cellules hépatiques, quant à elles, libèrent le glucose à partir du glycogène lorsque sa concentration plasmatique (= la glycémie) devient trop basse.

Le glucose entre et sort des cellules grâce à des transporteurs appelés GLUT (glucose transporter). Les GLUT sont donc des protéines de transport entre le sang et les cellules. Ils sont localisés dans la membrane plasmique. Il existe différents types de GLUT. Par exemple, dans les cellules hépatiques, ce sont des GLUT-2 (transport bidirectionnel), alors que dans les cellules musculaires, ce sont des GLUT-4 (transport unidirectionnel du sang vers le cytoplasme).

Ces réserves servent à entretenir des flux de glucose, variables selon l'activité, entre les organes sources (intestin et foie) et les organes consommateurs (dont les muscles) :

- Suite à un repas, le glucose pénètre dans le sang en franchissant la barrière intestinale. L'intestin est donc un organe source de glucose. Cet excès de glucose est alors stocké dans le foie sous forme de glycogène : c'est la glycogénogenèse.
- Lorsque la concentration plasmatique en glucose devient trop basse (situation d'un organisme à jeun), le foie libère alors du glucose à partir du stock de glycogène : c'est la glycogénolyse.

Alors que le foie et les muscles sont capables de stocker du glucose sous forme de glycogène, seul le foie est capable de le libérer dans le sang (le stock de glycogène musculaire ne sert qu'aux cellules musculaires lorsqu'elles se contractent : le muscle est donc un organe consommateur de glucose). *On peut illustrer le fait que le foie est capable de libérer du glucose (et que les muscles en sont incapables) par l'expérience du foie et du muscle lavés (l'expérience du foie lavé a été historiquement réalisée par Claude Bernard).*

Lorsque le glucose entre dans l'hépatocyte, il est phosphorylé par une enzyme, ce qui permet de le séquestrer. Une autre enzyme synthétise ensuite le glycogène (glycogénogenèse). Au contraire, la glycogénolyse consiste en l'hydrolyse du glycogène (par une enzyme). Puis une autre enzyme enlève le groupement phosphate et le glucose sort de l'hépatocyte. Le foie est donc un organe source de glucose pour l'organisme.

Il existe donc des flux de glucose dans l'organisme.

➤ La glycémie et régulation

La glycémie est la concentration de glucose dans le sang, maintenue dans un intervalle relativement étroit, malgré des apports alimentaires discontinus et une consommation en glucose variable (dépendante de l'activité physique). Elle reste autour d'une valeur d'équilibre proche de 1g.L⁻¹ (en général comprise entre 0,70 et 1,10 g.L⁻¹ chez le sujet à jeun). Elle dépend des apports alimentaires et est régulée par deux hormones sécrétées par le pancréas.

Des écarts trop importants de la glycémie ont des effets sur l'organisme :

- une hyperglycémie à long terme provoque diverses complications (voir diabètes) ;
- une hypoglycémie importante peut entraîner un coma.

Hédon a montré le rôle majeur du pancréas dans la régulation de la glycémie suite à des expériences d'ablation et de greffe de cet organe. Lorsque le pancréas est enlevé, la glycémie augmente fortement (ce qui se traduit aussi par une forte élimination de glucose dans l'urine) ; lorsqu'il est réimplanté elle diminue. Le pancréas a donc globalement un rôle hypoglycémiant (= il diminue la glycémie). Le pancréas est un organe au double rôle : à la fois exocrine (synthèse d'enzymes digestives par les acini) et endocrine (synthèse d'hormones insuline et glucagon par les îlots de Langerhans).

Une hormone est une molécule synthétisée par des cellules endocrines, libérée dans le sang, qui agit à distance en modifiant le fonctionnement de cellules cibles pourvues de récepteurs à ces hormones.

- L'insuline est synthétisée par les cellules b des îlots. C'est une hormone hypoglycémiante = stockage de glucose sous forme de glycogène (glycogénogenèse) dans le foie et les muscles, ce qui diminue ainsi la glycémie. La plupart des cellules de l'organisme ont des récepteurs à l'insuline. L'insuline accroît notamment le flux entrant de glucose dans le muscle en augmentant le nombre de récepteurs GLUT-4.

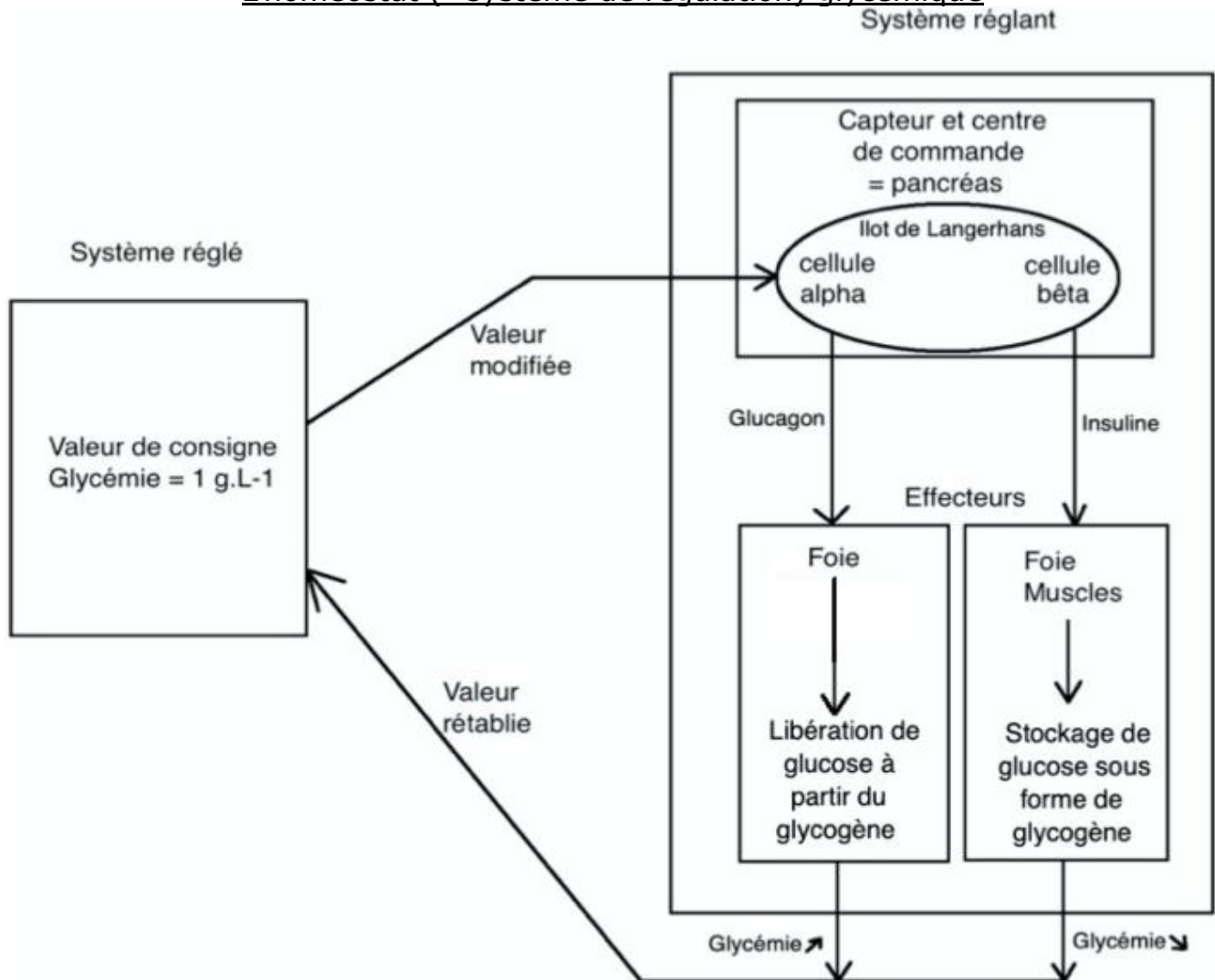
- Le glucagon est synthétisé par les cellules a des îlots. C'est une hormone hyperglycémiante (= augmente la glycémie) = libération de glucose (par glycogénolyse) par le foie. Seul le foie possède des récepteurs au glucagon. - Ces hormones modifient ainsi les activités des enzymes permettant la synthèse ou l'hydrolyse du glycogène.

Insuline et glucagon sont des hormones peptidiques qui sont antagonistes. C'est le rapport de concentration entre ces deux hormones qui permet la régulation de la glycémie à court terme.

Ainsi, suite à repas la glycémie augmente : l'insulinémie s'accroît alors que la glucagonémie diminue simultanément, ce qui permet de baisser la glycémie. C'est l'inverse à jeun et lors d'une activité physique.

Le facteur déclenchant de la libération de ces deux hormones est la concentration en glucose, c'est à dire la glycémie qui est détectée par les cellules des îlots.

L'homéostat (=système de régulation) glycémique



➤ Dysfonctionnement de la régulation de la glycémie

Un dysfonctionnement de la régulation de la glycémie entraîne des complications qui peuvent être à l'origine de diabètes.

Le diabète est une maladie chronique due à un dysfonctionnement de l'homéostat glycémique, et qui se manifeste par une hyperglycémie chronique : la glycémie à jeun est supérieure à 1,26 g.L-1.

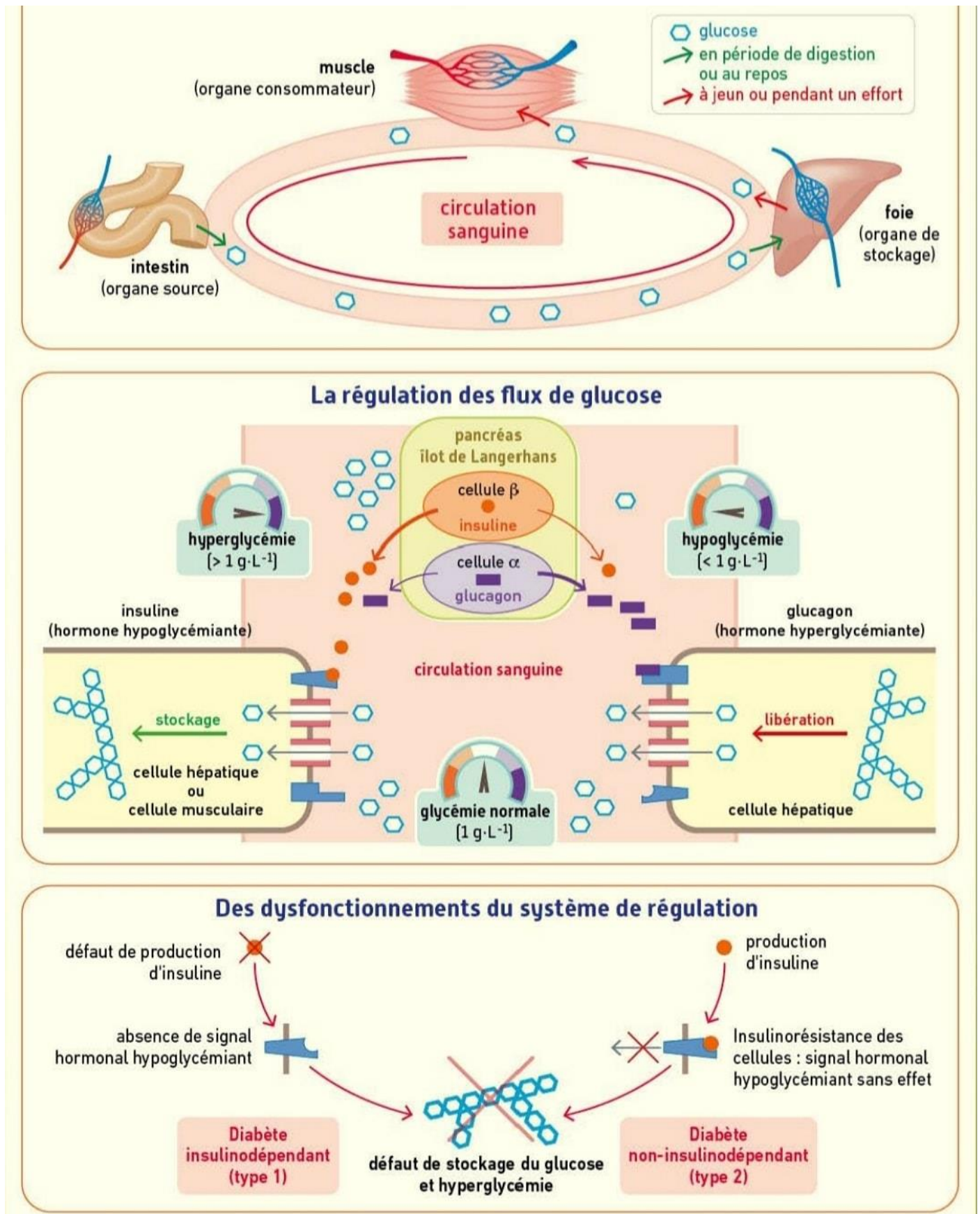
Deux types de diabètes existent : le diabète de type 1 et le diabète de type 2.

- Le diabète de type 1 apparaît plutôt chez le jeune et est dû à une absence d'insuline suite à la destruction des cellules b par le système immunitaire.

- Le diabète de type 2 apparaît plus tardivement, notamment chez les personnes obèses ou en surpoids, et sédentaires. L'insuline est dans un premier temps, sécrétée quasi-normalement mais perd son efficacité (insulino-résistance).

Les diabètes entraînent de graves complications à long terme (notamment au niveau circulatoire).

En résumé :



En vidéo :

<https://www.youtube.com/watch?v=NKpUZr4n5F8&list=PLB2JikIA1NHfFic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=46>
<https://www.youtube.com/watch?v=ItCh4nuC6KE&list=PLB2JikIA1NHfFic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=47>
<https://www.youtube.com/watch?v=UWAZyVSNwPk&list=PLB2JikIA1NHfFic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=48>

Partie 1 : L'adaptabilité de l'organisme

Face aux perturbations de son environnement, l'être humain dispose de réponses adaptatives impliquant le système nerveux. Le stress aigu (ou stress ponctuel) désigne ces réponses face aux agents stressants, qui lui permettant de produire des comportements appropriés.

La réponse adaptative aux agents stressants est stéréotypée : elle implique notamment le système nerveux.

Le stress aigu comporte toujours trois phases : une phase d'alarme, une phase de résistance et une phase d'épuisement (phase non systématiquement atteinte).

Le système limbique regroupe différentes régions du cerveau interconnectées et impliquées dans les émotions (agressivité, peur, plaisir...) : c'est le « cerveau émotionnel ». Il comprend l'amygdale, l'hippocampe (mémoire), l'hypothalamus et le thalamus.

Les régions du système limbique communiquent entre elles mais aussi avec d'autres zones cérébrales (cortex préfrontal par exemple). Les réponses aux agents stressants impliquent la stimulation du système limbique, notamment l'amygdale.

Les structures du système limbique sont surlignées.

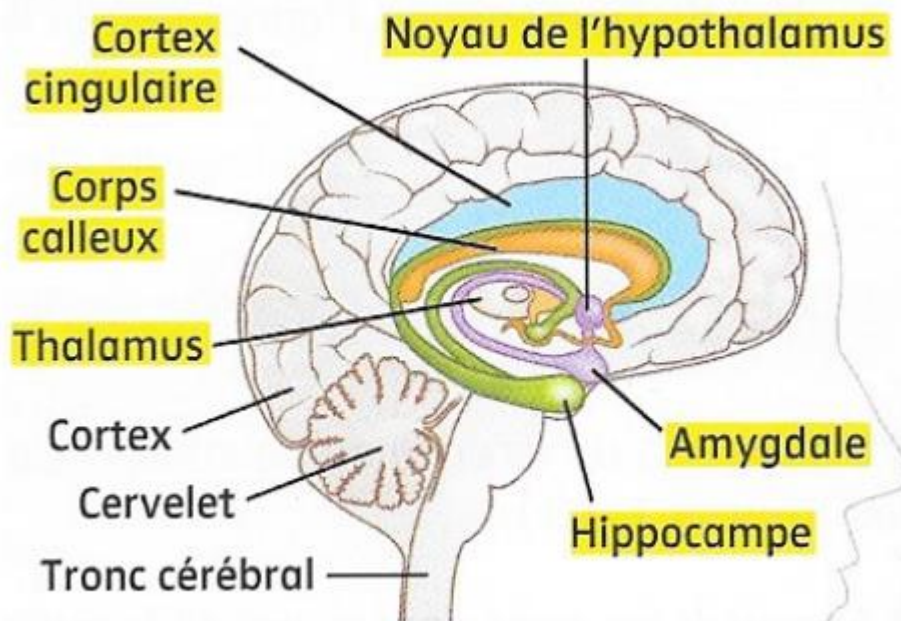


Figure d'après spécialité SVT Nathan 2020

➤ Le système de régulation du stress aigu

Note pour la suite : les glandes surrénales sont constituées d'une zone périphérique qualifiée de corticosurrénale et d'une zone centrale qualifiée de médullosurrénale.

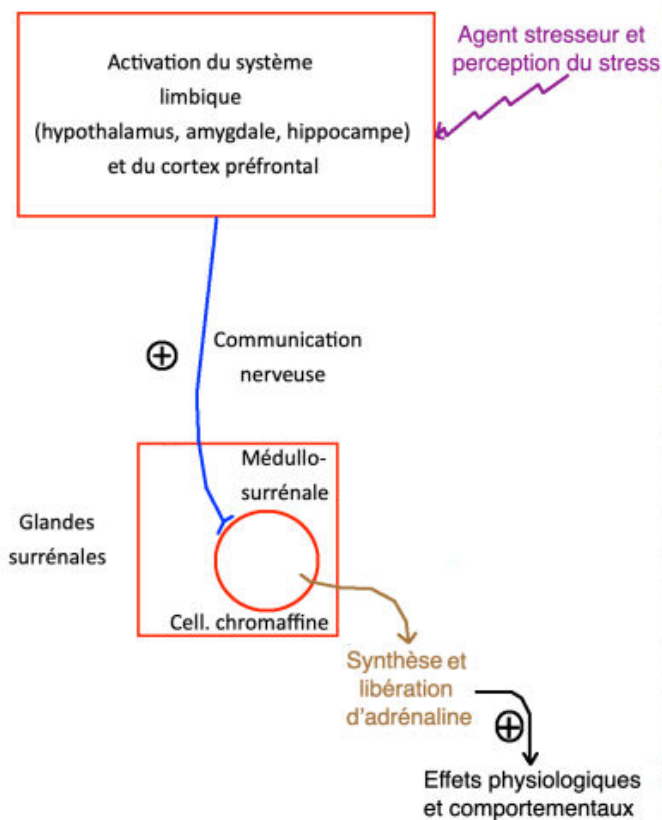
1. Lors de la phase d'alarme du stress aigu, la stimulation du système limbique déclenche la sécrétion d'adrénaline par les cellules chromaffines de la glande médullosurrénale via des neurones du système nerveux sympathique (nerf splanchnique). Cela explique la rapidité de la réponse.
2. Lors de la phase de résistance du stress aigu qui intervient après la phase d'alarme, l'hypothalamus qui reçoit des afférences du système limbique sécrète de la CRH (corticotropin-releasing hormone). La CRH agit sur l'antéhypophyse qui libère alors de l'ACTH (hormone adrénocorticotrope) par les cellules

adrénocorticotropes. L'ACTH agit sur la corticosurrénale permettant la libération du cortisol (qui est donc libéré après l'adrénaline) par les spongiocytes. Le cortisol est un glucocorticoïde (hormone synthétisée à partir de cholestérol).

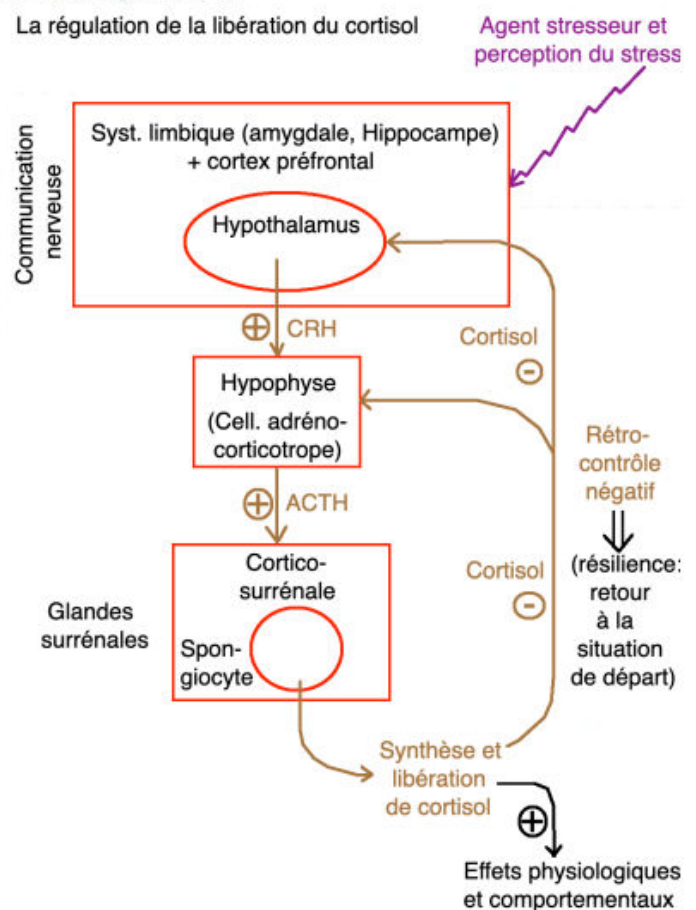
3. On retrouve des récepteurs au cortisol sur l'hypothalamus et l'hypophyse. Lorsque le cortisol se lie à ces récepteurs cérébraux, la concentration sanguine de du cortisol est modifiée. Le cortisol freine la libération d'ACTH par l'antéhypophyse et de CRH par l'hypothalamus : il s'agit d'un rétrocontrôle négatif. Ce rétrocontrôle limite la production de cortisol lorsqu'elle est trop élevée et permet le retour à l'équilibre (= la résilience) du système et la sortie du stress aigu. La capacité de résilience est variable suivant les individus. Cela s'explique par les origines génétiques, mais aussi environnementales.

Schémas bilan de la régulation

La régulation de la libération de l'adrénaline

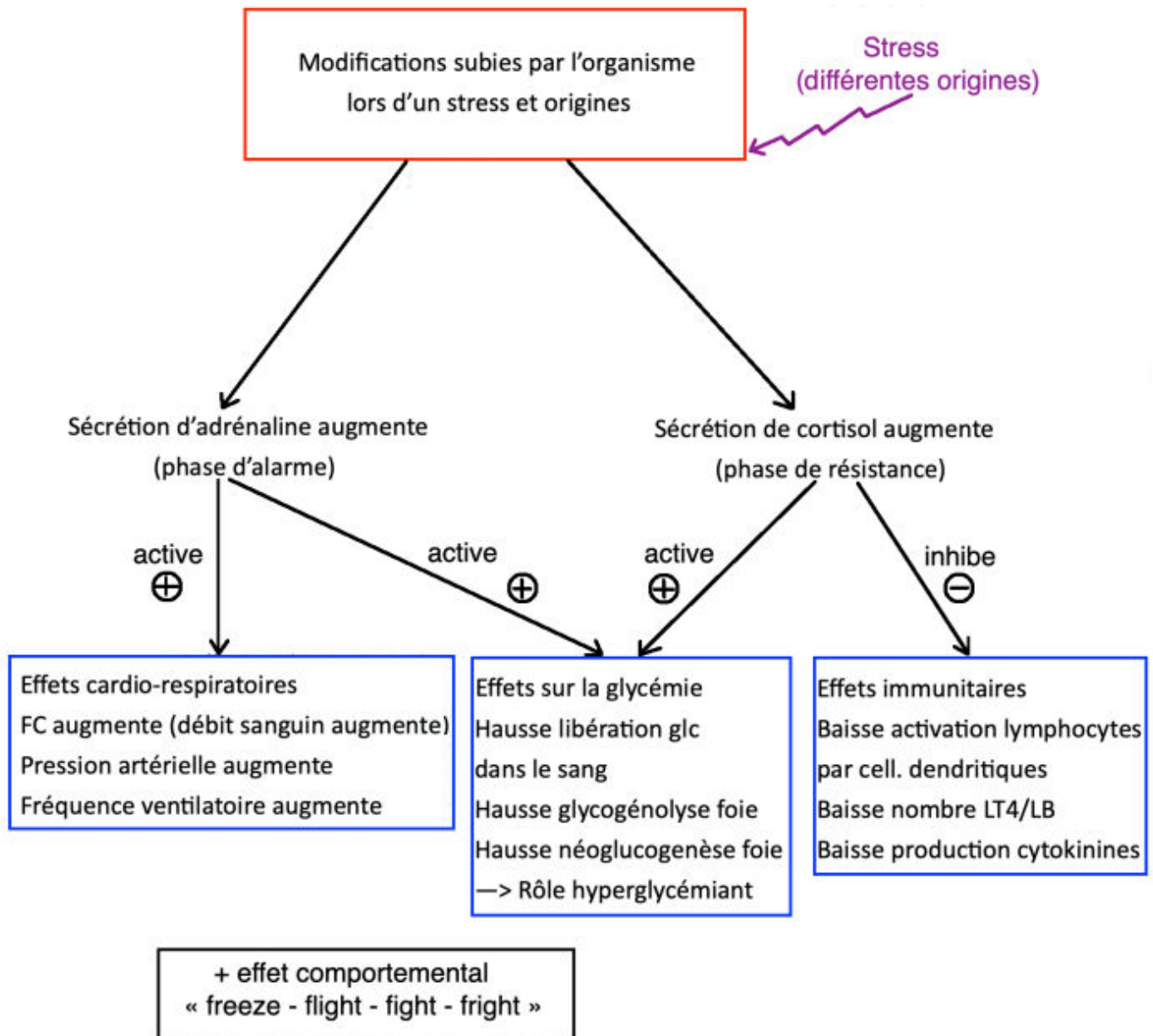


La régulation de la libération du cortisol



L'adrénaline provoque une augmentation du rythme cardiaque, de la fréquence respiratoire et la libération de glucose dans le sang. - Le cortisol favorise la mobilisation du glucose et inhibe certaines fonctions (dont le système immunitaire). - Le schéma ci-dessous détaille un peu plus les rôles de ces hormones.

Rôle des hormones cortisol et adrénaline dans les modifications physiologiques et comportementales suite à une situation stressante.



Partie 2 : L'organisme débordé dans ses capacités d'adaptation

➤ Le stress chronique et la réponse de l'organisme

Si les agents stresseurs sont trop intenses ou si leur action dure, le maintien des paramètres physiologiques (=homéostasie) sont débordés et le système se dérègle (perturbation durable). C'est le stress chronique (=durable). Ce qui induit l'épuisement de l'organisme et favorise l'installation de pathologies. Le stress chronique se traduit notamment par un taux de cortisol plus élevé (le rétrocontrôle est moins efficace).

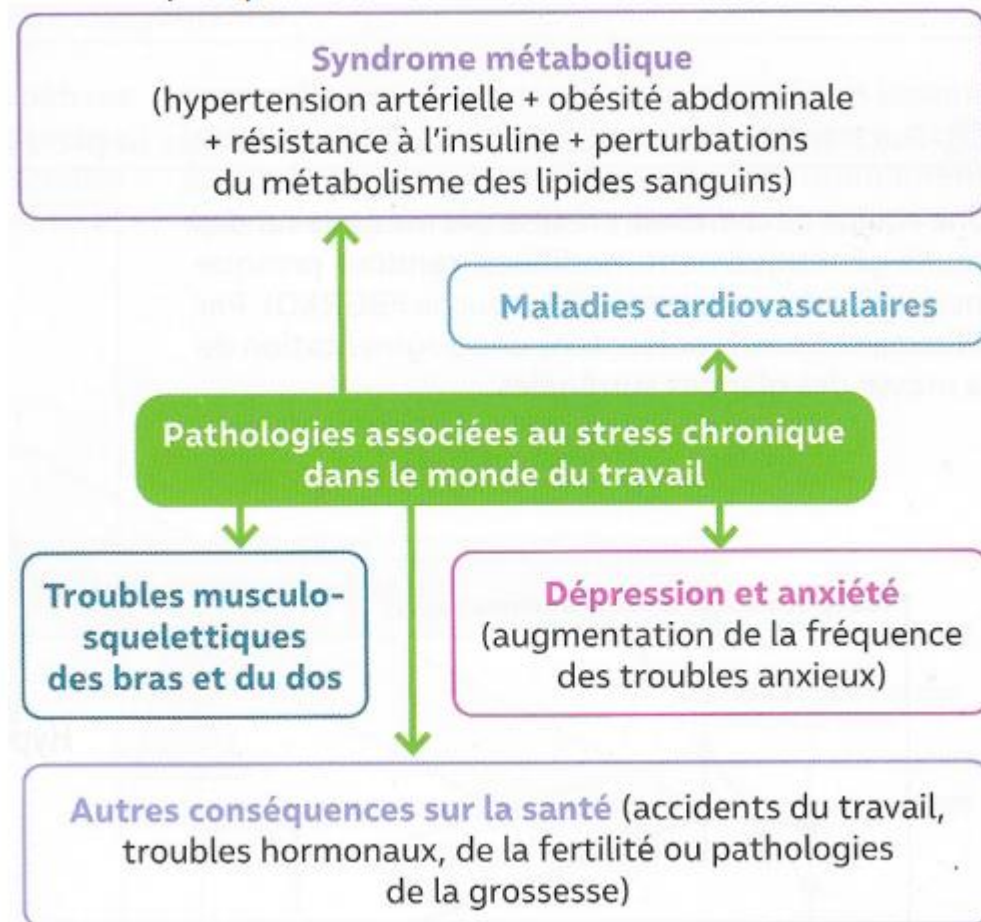
Il peut entraîner des modifications de certaines structures du cerveau, notamment du système limbique (hippocampe, amygdale) et du cortex préfrontal. Les connexions nerveuses, le nombre de neurones, les prolongements dendritiques sont modifiés.

Cette forme de plasticité, dite mal-adaptative (la plasticité cérébrale est ici un inconvénient), se traduit par d'éventuelles perturbations de l'attention, de la mémoire et des performances cognitives.

Les pathologies engendrées par un stress chronique sont donc diverses.

Pathologies associées au stress chronique dans le monde du travail.

D'après Spécialité SVT terminale Hachette Education 2020



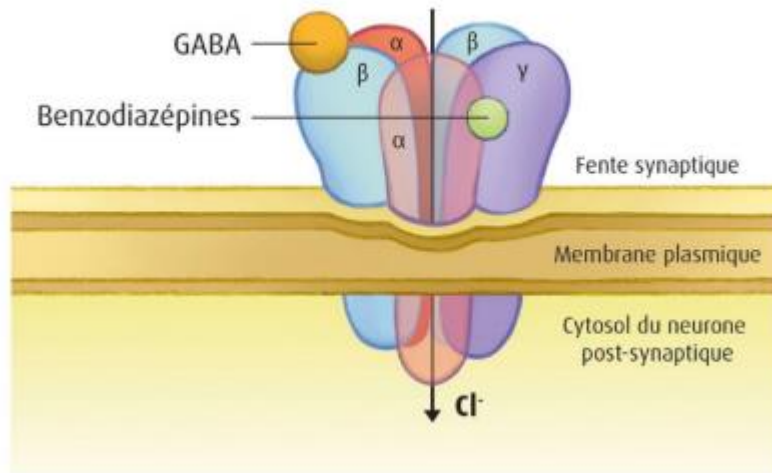
➤ Les solutions médicamenteuses au stress

Ces dérèglements engendrent diverses pathologies qui sont traitées par des médicaments dont l'effet vise à favoriser la résilience. Les benzodiazépines ont des propriétés anxiolytiques, myorelaxantes et sédatives. Elles ont toutefois des effets

secondaires (baisse de la mémorisation, somnolence diurne, troubles de l'attention, dépendance). Il est important de respecter les prescriptions. Les benzodiazépines, en se fixant sur le récepteur au GABA (Neurotransmetteur inhibiteur) augmentent l'activité inhibitrice du GABA : les benzodiazépines facilitent l'action du GABA.

Fixation et action des BZD sur le récepteur au GABA.

D'après Spécialité SVT terminale Belin 2020

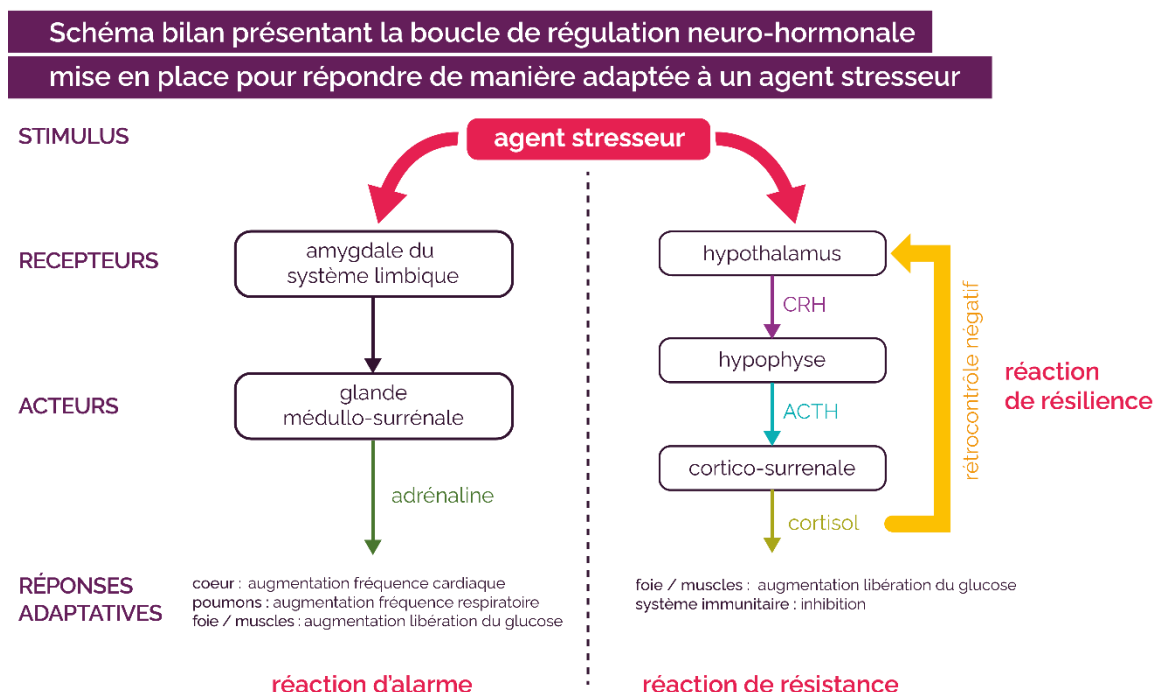


➤ Les solutions non médicamenteuses

Certaines pratiques non médicamenteuses (thérapie EMDR, activité physique, yoga, méditation...) sont aussi susceptibles de limiter les dérèglements et de favoriser la résilience du système. Chaque individu est différent face aux agents stressants (facteurs génétiques, environnementaux, émotionnels, psychologiques...) : le stress intégrant des dimensions multiples et liées.

Pour réviser : <https://www.profsvt71.fr/pages/terminale-spe-svt/terminale-spe-svt/> <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-Tale-Spe-SVT.php>

En résumé :



1

ALARME MISE EN ACTION



Production de catécholamines
(adrénaline, noradrénaline)
par les glandes surrénales
=>Prépare le corps à l'action
(combat ou fuite)

2

RESISTANCE



Sécrétion de glucocorticoïdes
=>Fournit l'énergie
nécessaire à l'action

Si la situation stressante
se prolonge, s'intensifie,
devient récurrente
l'organisme entre en
phase d'épuisement

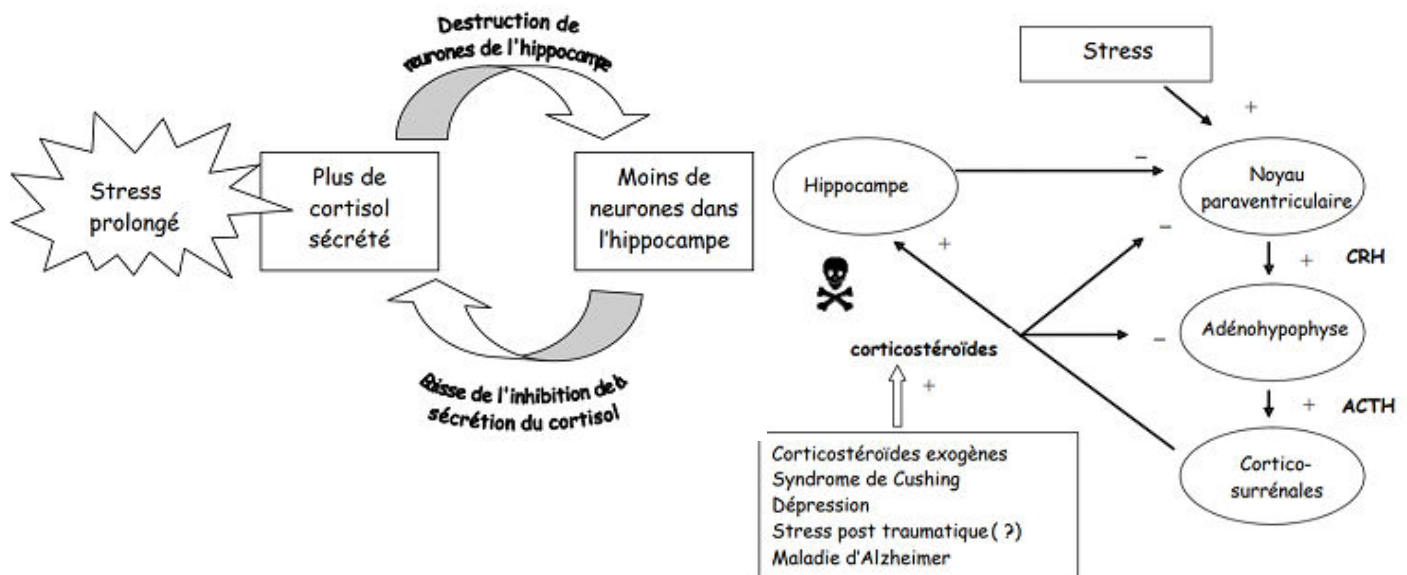
3

EPUISEMENT



**Dérèglement du système
de régulation :**
hormones en excès
=>l'organisme est activé en
permanence. Il s'épuise.

Stress aigu



En vidéo :

<https://www.youtube.com/watch?v=6I1fCd7zjZ8&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=49>

<https://www.youtube.com/watch?v=219G3O9iDhI&list=PLB2JikIA1NHFfic2jEHVGcpmkZxfj1S1&index=50>