

TS

Cours
de
Sciences de la Vie
et de la Terre.

Année 2016-2017

Enseignante : Mme RATAO
Cours réalisé en collaboration avec Mme Duchemin

Lycée Jean Rostand
8 rue Pierre Audat
93420 Villepinte.

Mme Ratao & Mme Duchemin

PARTIE I

La Terre dans l'univers, la vie, l'évolution du vivant

IA - Génétique et évolution

Chap1 - Le brassage génétique et sa contribution à la diversité génétique.

Chap2 - Diversification du vivant.

Chap3 - L'évolution de la biodiversité.

Chap4 - Un regard sur l'évolution de l'Homme.

Chap5 - Les réponses des végétaux aux contraintes de la vie fixée.

IB - Le domaine continental et sa dynamique.

Chap1 - Les caractéristiques du domaine continental.

Chap2 - La convergence lithosphérique : contexte de la formation des chaînes de montagne.

Chap3 - La production de nouveaux matériaux continentaux dans les zones de subduction.

Chap4 - La disparition des reliefs.

But : comprendre comment les êtres vivants, en se reproduisant, sont capables de faire et de l'identique (même espèce) et de la diversité.

Reproduction sexuée : reproduction permettant la formation d'un nouvel individu diploïde ($2n= 46$ chez l'homme) à partir de gamètes provenant de deux parents différents.

Fécondation : rencontre d'un gamète femelle et d'un gamète mâle. Les gamètes ont une formule chromosomique de $n=23$ (chez l'homme) donc haploïdes.

Comment peut-on obtenir ces gamètes à $n=23$ chromosomes à partir de cellules à $2n=46$?

Problème : Comment s'effectue la méiose ?

1. La méiose : une division cellulaire particulière

La **méiose** est une succession de deux divisions cellulaires permettant à partir d'une cellule à $2n$ chromosomes (diploïde) de fabriquer 4 cellules à n chromosomes (haploïde).

1.1. La préparation de la méiose

Lors de l'interphase, juste avant la méiose, le matériel génétique de la cellule se réplique comme avant chaque division cellulaire. Il y a donc doublement de la quantité d'ADN. Les chromosomes qui avaient une chromatide en possèdent deux après la réplication (Doc.1).

1.2. Le déroulement de la méiose

Lors de la première division de méiose, il y a séparation des chromosomes homologues : il y a donc division par deux de la quantité d'ADN. On obtient 2 cellules possédant chacune 1 chromosome de chacune des paires : ces deux cellules sont à n chromosomes. Cependant les chromosomes sont à 2 chromatides. (Doc.1)

La séparation se fait suivant différentes étapes : prophase I ; métaphase I, anaphase I et télophase I (Doc.2).

Lors de la seconde division de méiose, il y a séparation des chromatides : les chromosomes se retrouvent alors à 1 chromatide. On obtient 4 cellules à n chromosomes à 1 chromatide. (Doc.1) Cette division se fait toujours selon les étapes déjà vues : métaphase II, anaphase II et télophase II. (Doc.3)

(La prophase n'existe pas vraiment puisqu'il n'y a pas de décondensation des chromosomes).

Quantité d'ADN
(Unités Arbitraires)

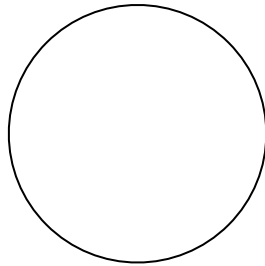


Document 1 :

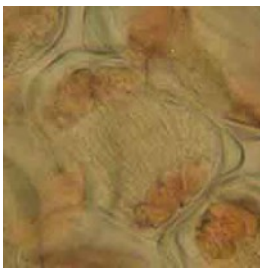
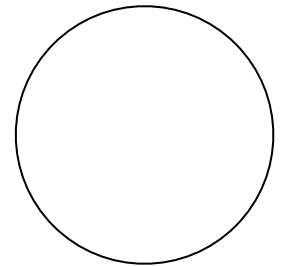
Document 2 :



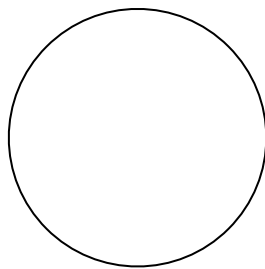
Ail (*Allium ursimum*)
 $2n = \dots\dots\dots$



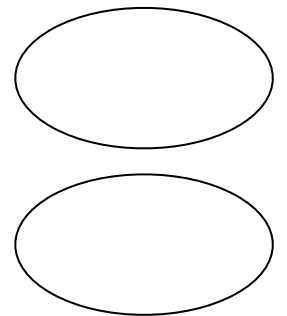
Ail (*Allium ursimum*)
 $2n = \dots\dots\dots$



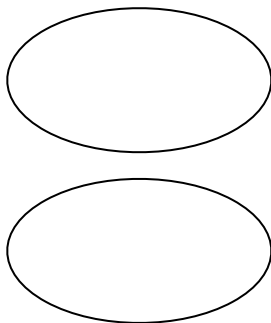
Ail (*Allium ursimum*)
 $2n = \dots\dots\dots$



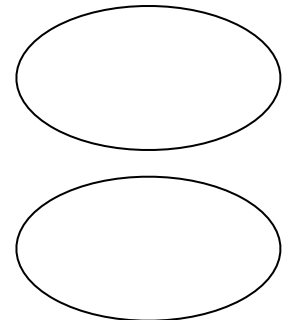
Ail (*Allium ursimum*)
 $2 \times (n = \dots\dots\dots)$



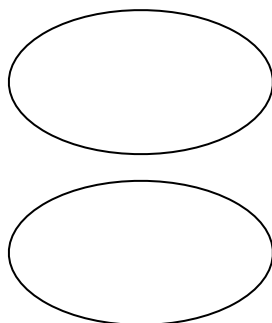
Document 3 :



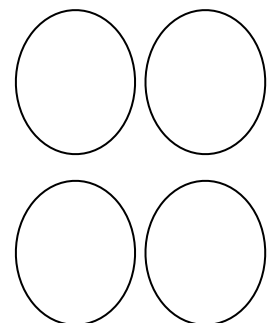
Ail (*Allium ursimum*)
 $2 \times (n = \dots\dots\dots)$



Ail (*Allium ursimum*)
 $2 \times (n = \dots\dots\dots)$



Ail (*Allium ursimum*)
 $4 \times (n = \dots\dots\dots)$



2. Le brassage génétique

2.1. Le brassage interchromosomique

Au cours de la métaphase I, les paires de chromosomes homologues se disposent à l'équateur de la cellule avant de migrer de manière **indépendante** en deux lots vers les pôles cellulaires lors de l'anaphase I. Chacun des chromosomes homologues possède des allèles différents et la disposition aléatoire ainsi que la migration indépendante de chaque paire fait que les deux lots obtenus contiennent un assortiment très varié de gènes. Chaque méiose donne des résultats différents, des combinaisons alléliques différentes pour les gènes : c'est le **brassage interchromosomique**. Il permet l'obtention d'un grand nombre de gamètes différents possible (pour les humains : 2^{23}). (Doc.4)

Au cours de l'anaphase I (ou de l'anaphase II) il peut arriver que les chromosomes (ou les chromatides) ne se séparent pas : obtient 2 cellules dans lesquelles il manque un chromosome et 2 cellules dans lesquelles il y a un chromosome surnuméraire. Si ces cellules sont fécondées, il y aura respectivement une **monosomie** ou une **trisomie**.

2.2. Le brassage intrachromosomique

En prophase I, il y a appariement de chromosomes homologues qui forment alors des **bivalents**. A ce moment, il peut se produire des échanges de morceaux de chromatide (**crossing-over**) : les deux chromatides d'un chromosome ne sont plus identiques. Les chromosomes auront donc des combinaisons génétiques différentes de celles des parents.

Schéma du crossing-over

La possibilité d'avoir un crossing-over entre deux gènes dépend de leur distance l'un à l'autre : plus celle-ci est grande plus la probabilité du crossing-over est importante.

Mais parfois ces échanges de matériel ne sont pas équilibrés (une chromatide reçoit plus d'ADN qu'elle n'en donne, l'autre en recevant moins) : il peut y avoir ajout d'un gène qui se retrouvera en deux exemplaires sur la chromatide : on dit qu'il y a **duplication** du gène. Ces deux versions peuvent accumuler des mutations indépendamment l'une de l'autre ce qui peut conduire à des gènes différents codant pour des protéines différentes. On aura alors une **famille multigénique** (exemple des opsines). Ceci n'est possible que si la duplication ou les mutations n'apportent pas de désavantage.

3. La fécondation et la diversité génétique

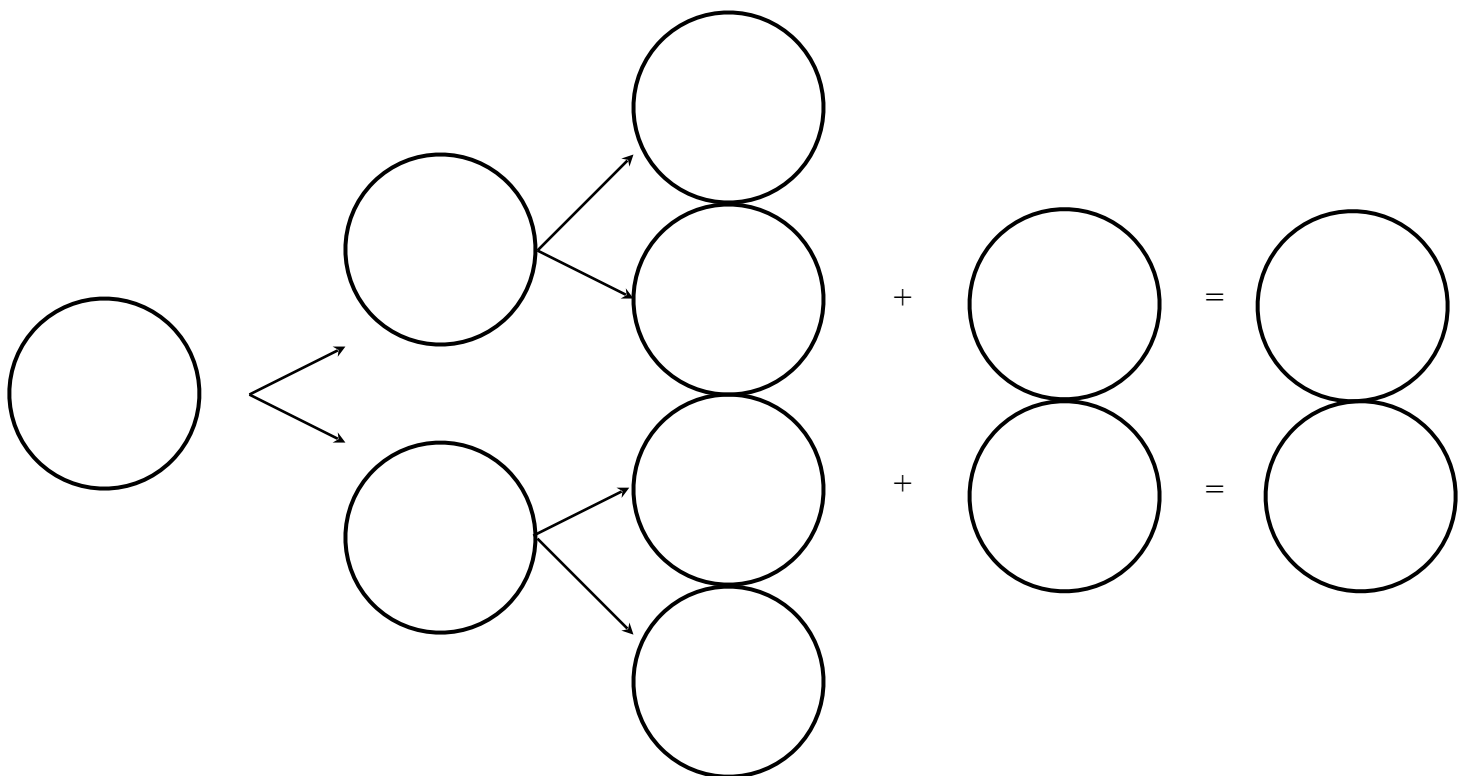
3.1. La stabilité du caryotype

Lors de la **fécondation**, deux gamètes à n chromosomes fusionnent pour donner une cellule œuf (le zygote) à $2n$ chromosomes.

La diversité des gamètes associés au hasard de la fécondation font que le zygote obtenu est original mais aura les caractéristiques parentales. Le caryotype obtenu est celui de l'espèce.

Seuls quelques gamètes issus d'erreurs de la méiose sont fécondables, et on ne connaît que peut de zygotes issus de tels gamètes qui soient capables de former des individus viables. Les monosomies et les trisomies se répercutent le plus souvent par des malformations plus ou moins invalidantes (monosomies ou trisomies sexuelles ; trisomie 21...).

Document 4



3.2. La diversité

La diversité des gamètes produits, associée au hasard de la fécondation font que le zygote obtenu est original mais aura les caractéristiques parentales.

Si on considère 2 gènes ayant chacun deux allèles : A, a, B, b et que chacun des parents est hétérozygote pour chaque gène, alors ils auront chacun comme génotype : $A//a B//b$.

Chacun des parents va produire 4 types de gamètes (de manière équiprobable si les gènes sont indépendants et de manière non équiprobables si les gènes sont liés).

On obtient alors neuf génotypes différents : un génotype parental et 8 recombinés. Les phénotypes eux se répartissent en $9/16$ ($[AB]$) $3/16 - 3/16$ ($[Ab]$ et $[aB]$) et $1/16$ ($[ab]$).

Dans le cas de gènes liés, les proportions sont différentes et dépendent de la distance entre les gènes.

Bilan :

La méiose est une division cellulaire à la base de la reproduction sexuée permettant de produire de la diversité non seulement lors de son déroulement (brassage interchromosomique et intrachromosomique) mais aussi lors de la fécondation. Le brassage intrachromosomique est également à l'origine des familles multigéniques.

But : comprendre comment il peut exister autant de diversité parmi les êtres vivants.

Nous avons vu la diversification grâce à la méiose et la fécondation. Il existe d'autres mécanismes que nous allons détailler.

Problème : Quels sont les mécanismes de diversification des êtres vivants ?

1. La diversification génétique

1.1. La diversification des génomes.

a. La polyploïdisation.

Certaines espèces sont capables de donner naissance à des hybrides qui ne sont pas fertiles. Cependant suite au déroulement anormal d'une division cellulaire, la totalité de leur génome est doublé ce qui rend la formation de gamètes et la fécondation possible. Il s'agit le plus souvent d'une autofécondation qui permet l'obtention de plusieurs individus hybrides, viables et féconds. Une nouvelle espèce est née.

b. Les transferts horizontaux.

Les gènes peuvent aussi être transmis d'un organisme à l'autre par des bactéries ou des virus. On parle alors de transferts horizontaux. (Ex : gènes de résistance aux antibiotiques).

1.2. Les gènes du développement.

Les gènes du développement (gènes homéotiques) sont impliqués dans la mise en place du plan d'organisation de l'organisme. Leur expression à des endroits précis détermine la formation de tel ou tel organe. Ces gènes sont très conservés d'une espèce à l'autre. La chronologie et l'intensité d'expression de ces gènes entraînent des différences morphologiques entre des espèces proches (ex : bec des pinsons, forme du museau des chiens...).

2. La diversification sans modification des génomes.

2.1. Les symbioses.

La symbiose est une association durable entre deux espèces, apportant à chacune d'elles des avantages (ex : plantes et champignons (mycorhize), animaux et algues (coraux)...) L'addition des capacités de chacun permet à ces associations d'occuper une place dans l'écosystème que chacune des espèces seules ne pourrait occuper.

2.2. La diversification des comportements.

Chez les mammifères et les oiseaux, la diversification du comportement par apprentissage permet d'enrichir la diversité. C'est une transmission culturelle. (ex : chant des oiseaux, comportement des chimpanzés...)

Bilan :

La diversification des êtres vivants peut se faire par l'intermédiaire de mécanismes génétiques tels que la polyploïdisation, le transfert horizontal de gènes ou la modification des gènes de régulation, et par des mécanismes non génétiques tels que la symbiose ou la diversification culturelle.

But : comprendre les mécanismes qui entraînent l'évolution de la biodiversité.

Problème : Quels sont les mécanismes à l'origine de l'évolution de la biodiversité ?

1. L'évolution de la diversité des populations

1.1. La dérive génétique.

La répartition des allèles lors de la formation des gamètes ou de la fécondation se fait au hasard. Il existe donc au sein d'une population (groupe d'individus appartenant à une même espèce et vivant dans une même zone géographique) une diversité génétique. Les individus possèdent pour de nombreux gènes, des allèles différents dont la fréquence peut varier.

La dérive génétique est une modification aléatoire (au hasard) de la fréquence des allèles au cours du temps. Elle se produit de façon plus marquée lorsque l'effectif de la population est faible. Elle conduit à la disparition de certains allèles.

1.2. La sélection naturelle.

Dans un milieu donné, les ressources alimentaires sont souvent en quantités limitées ce qui met certains individus en compétition.

De plus, certains allèles donnent un avantage aux individus qui les portent, ils ont plus de chance de se reproduire : on parle de survie différentielle.

La sélection **naturelle** est une variation non aléatoire de la fréquence des allèles.

2. La notion d'espèce.

2.1. Histoire de la définition de l'espèce

Au début du 18^{ème} siècle, Linné donne une définition de l'espèce en se basant sur des critères phénotypiques héréditaires : on regroupe tous les individus qui se ressemblent dans une même espèce.

Ensuite, au milieu du 18^{ème} siècle, Buffon considère que les individus d'une même espèce doivent être interféconds. Une **espèce** est un groupe d'individus capables de se reproduire entre eux et de donner naissance à une descendance fertile.

Ces deux définitions ont été réunies par Cuvier à la fin du 18^{ème} siècle : « Une espèce est un ensemble d'individus nés les uns des autres et qui se ressemblent morphologiquement. »

En 1942, Ernst Mayr définit l'espèce comme un ensemble de groupes de populations naturelles capables de se reproduire, mais isolés du point de vue reproductif des autres groupes. C'est la définition actuelle de l'espèce.

2.2. L'isolement reproductif et isolement génétique.

Des individus qui se ressemblent, ne sont pas forcément de la même espèce. Des populations séparées ou non peuvent ne plus pouvoir se reproduire car leurs caractéristiques changent (obstacle géographique, milieux de vie différents, modification de leur période de reproduction...) : C'est l'isolement reproductif.

Une espèce a une durée de vie limitée. Si un nouveau groupe d'individus s'individualise par isolement reproductif ou isolement génétique, une nouvelle espèce apparaît. C'est le phénomène de spéciation. Si un groupe d'individus cesse d'être isolé ou s'il ne comporte plus de représentants, l'espèce disparaît.

Bilan :

Les populations sont soumises à la dérive génétique et à la sélection naturelle. Les caractéristiques des individus qui les composent, évoluent parfois jusqu'à un isolement génétique donnant naissance à une nouvelle espèce. La biodiversité varie dans le temps en fonction des créations et disparitions d'espèces.

But : appliquer au cas Homo sapiens les acquis en matière d'évolution.

Problème : Comment expliquer et comprendre l'évolution de l'Homme ?

1. La place de l'Homme parmi les Primates.

L'homme est un **primate** (Pouce opposable, ongles plats, vision binoculaire). Les comparaisons anatomiques ont permis de le rapprocher des grands singes : les singes anthropomorphes (les Gibbons, Orangs-outans, Gorilles et Chimpanzés). Ils forment avec les Hommes le groupe des **Hominoïdes** (absence de queue).

Grâce aux données chromosomiques, on regroupe les Chimpanzés, les Hommes actuels et les autres représentants de la lignée humaine dans le groupe des **Hominidés**. L'Homme est le seul représentant actuel des **Homininés**.

Les premiers primates fossiles sont apparus entre -65 et -50 millions d'années. Ils ne ressemblaient ni à l'Homme actuel, ni aux grands singes actuels. Les premiers fossiles ressemblant aux singes actuels sont datés de -35 Ma.

La diversité des primates fossiles est plus importante que celle des primates actuels. Une centaine d'espèces ont coexisté entre -25 et -5 Ma. Un refroidissement du climat daté de -9Ma a entraîné la disparition d'un grand nombre d'entre elles. On estime que l'ancêtre commun à l'Homme et au Chimpanzé a dû apparaître en Afrique entre -9 et -5 Ma. Peu de fossiles ont été retrouvés : Toumai (6 à 7 Ma), Orrorin (6 Ma) et Ardipithecus (5,2 à 5,8 Ma). Ces espèces possèdent un mélange de caractères que l'on retrouve aujourd'hui à la fois chez l'Homme et le Chimpanzé.

L'ancêtre commun à l'Homme et au Chimpanzé reste donc hypothétique.

2. L'Homme, un primate proche du Chimpanzé.

Malgré le fait que l'Homme possède une paire de chromosomes de moins que le chimpanzé, leur génome est proche à près de 98,5% (40 millions de mutations). La localisation des gènes sur les chromosomes est parfois identique. Il existe des réarrangements chromosomiques qui modifient la position des gènes sans modifier leur séquence.

La morphologie des deux espèces est très différente, malgré leurs similitudes génétiques. Cela s'explique par des différences dans la chronologie d'expression de certains gènes au cours du développement. Le développement pré- et post natal de l'Homme est caractérisé par des phases embryonnaire, lactéale, et de croissance plus longues que chez le chimpanzé, laissant plus de temps aux connexions nerveuses pour se mettre en place et se multiplier.

Les modifications structurales et anatomiques caractérisant l'absence de prognathisme, la phonation et la stature érigée notamment, peuvent résulter de mutations affectant des gènes du développement.

Homme et Chimpanzé partagent la confection et l'usage d'outils, une organisation sociale et certains comportements. Ces comportements sont transmis de génération en génération par l'apprentissage et non par les gènes.

3. Les caractéristiques du genre Homo.

Les représentants du genre Homo possèdent une face réduite et plate contrairement aux Paranthropes et aux Australopithèques qui possèdent un front fuyant et un prognathisme encore important. Le dimorphisme sexuel est peu marqué contrairement aux Paranthropes. La capacité crânienne est importante (> à 600cm³). La mâchoire est parabolique.

Les espèces du genre Homo possèdent des caractéristiques liées à une bipédie permanente permettant la course. Le trou occipital est avancé, le bassin est court et évasé, le fémur est long et incliné vers l'intérieur. Les membres antérieurs sont plus courts que les membres postérieurs. Les genoux sont épais avec des os spongieux permettant d'amortir les chocs. Le pied est vouté et le pouce n'est plus opposable avec les autres doigts.

Les plus vieux fossiles du genre homo sont âgés de - 2,5 Ma en Afrique et - 1,78Ma en Eurasie. A partir de cette date et surtout vers - 1Ma, les représentants du genre Homo connaissent une expansion rapide en Europe et en Asie. A une époque donnée, plusieurs espèces d'Homo ont cohabité (comme Homo neanderthalensis et Homo sapiens). On dit que l'évolution est buissonnante.

4. La phylogénie du genre Homo.

Les relations de parenté entre les différentes espèces du genre Homo, sont déduites de l'analyse des caractères crâniens, d'autres caractères anatomiques ou encore de caractères culturels : on s'aperçoit que les arbres phylogénétiques obtenus ne sont pas tous les mêmes selon les auteurs.

En effet, le rattachement d'une espèce fossile à une espèce donnée voire à un genre donné est problématique. Les fossiles sont insuffisamment complets, et beaucoup présentent des caractères parfois ambigus. De plus, on ne peut pas établir si certains fossiles appartiennent à une « nouvelle » espèce ou à la même espèce à partir de caractères reproducteurs.

En ce qui concerne les caractères culturels, il est difficile d'attribuer l'utilisation d'un type d'outil à telle ou telle espèce. H. ergaster est associé à la fabrication de bifaces, H. sapiens est le premier à réaliser des manifestations artistiques, mais l'utilisation de pierres taillées est affectée à H. habilis, H. rudolfensis, et à deux espèces de Paranthropes...

Bilan :

Les plus anciens fossiles de primates connus sont âgés de 50 à 65 Ma. Il existe une forte diversité de fossiles alors que la diversité actuelle est réduite.

Malgré une identité génétique très importante entre l'Homme et le Chimpanzé, la chronologie d'expression de certains gènes et la modification d'expression de certains gènes du développement ont engendré de grandes différences morphologique et comportementales. L'acquisition du phénotype est liée à l'expression du génotype, mais aussi à l'environnement (relations aux autres).

Le genre Homo regroupe l'Homme actuel ainsi qu'une dizaine d'espèces fossiles caractérisées par une face réduite, une mandibule parabolique, et toutes les caractéristiques permettant une bipédie stricte avec une aptitude à la course. Les relations de parenté au sein du genre Homo ne sont pas résolues.

Une plante est constituée d'un appareil végétatif comprenant des racines ancrées dans le sol et des tiges feuillées se développant en milieu aérien. Cet organisme est donc en relation avec 2 milieux : l'air et le sol mais les plantes sont aussi des êtres vivants fixés. Les fonctions primordiales pour assurer la survie d'un être vivant sont : se nourrir, se reproduire et se défendre.

But : On cherche à comprendre comment les plantes, malgré un mode de vie fixée, arrivent à assurer leurs fonctions vitales.

Problème : Comment font les plantes pour assurer leurs fonctions vitales alors qu'elles sont fixées ?

On étudiera les angiospermes : ce groupe rassemble les plantes dont la reproduction se fait à l'aide de fleurs et de graines incluses dans des fruits.

1. Se nourrir quand on est fixé (cf TP1)

Les plantes sont des organismes autotrophes : elles se nourrissent en tirant leur énergie du soleil (photosynthèse) et de la respiration. Il leur faut donc s'approvisionner en eau, sels minéraux, énergie solaire et gaz.

1.1. L'approvisionnement en eau et en sels minéraux

La plupart des angiospermes sont terrestres et possèdent un système racinaire qui s'enfonce dans le sol (de manière plus ou moins profonde selon les espèces mais toujours sur une grande surface !). Ces racines assurent deux fonctions : récupérer l'eau et les sels minéraux et maintenir le végétal fixé (prise au vent).

Les racines possèdent de nombreux poils absorbants. Ils constituent une grande surface de contact avec le sol ce qui facilite le passage de l'eau et des ions minéraux du sol vers l'intérieur de la plante.

Chez la plupart des végétaux âgés, comme les arbres, les extrémités des racines sont dépourvues de poils absorbants. Elles sont enveloppées d'un manchon de filaments de champignon (cette association porte le nom de mycorhize) qui constitue la surface d'absorption.

Les matières minérales et l'eau, ainsi absorbés forment une solution appelée la sève brute. Celle-ci est véhiculée par le xylème.

1.2. L'approvisionnement en énergie solaire et en gaz.

Les plantes doivent récupérer de l'énergie solaire dont le flux est faible mais ubiquiste (se trouve partout). Elles doivent également récupérer du CO_2 présent en faible quantité dans l'air ambiant (0.038%).

Pour cela, les plantes ont développées une grande surface foliaire par rapport à leur volume. Les feuilles sont plates et possèdent un maximum de capteurs avec une prise au vent minimum.

L'épiderme des feuilles est recouvert d'une cuticule évitant le dessèchement. Les échanges gazeux sont réalisés au niveau de petites structures, les stomates. La chambre sous-stomatique est remplie d'air et constitue une véritable atmosphère interne avec laquelle les cellules chlorophylliennes réalisent des échanges gazeux. Ceux-ci sont régulés par l'ouverture ou la fermeture de l'ostiole (cavité entre les deux cellules stomatiques). L'anatomie de ces structures augmente beaucoup les surfaces d'échanges avec les cellules chlorophylliennes.

Ces adaptations anatomiques de la feuille permettent la réalisation de la photosynthèse et donc la fabrication de matières organiques (sucres) qui seront distribuées sous forme d'une solution riche en sucres, en molécules diverses et en ions : la sève élaborée qui circule dans le phloème.

1.3. Les échanges de matière au sein de la plante.

- La sève brute est véhiculée par les vaisseaux du xylème de manière ascendante des racines jusqu'aux feuilles de manière rapide. Elle apporte les composés complémentaires à la réalisation de la photosynthèse. Le xylème est constitué de cellules mortes dépourvues de cytoplasme disposées en files et caractérisées par une paroi lignifiée (renforcées par de la lignine) et une lumière importante. Il est présent dans les autres structures cellulaires de la plante (zone centrale de la tige, nervures des feuilles...) où il forme un milieu extracellulaire de conduction de la sève brute. L'ascension de la sève brute des racines jusqu'aux feuilles est dépendante essentiellement de la transpiration foliaire.
- Au niveau des feuilles, la sève élaborée est prise en charge par les vaisseaux du phloème et va jusqu'aux parties non photosynthétiques de la plante (bourgeons, racines, tubercules...) soit pour leur fonctionnement, soit pour être mise en réserve (tubercule, graines, fruits..)

Le phloème est constitué de tubes criblés, cellules vivantes à paroi cellulosique, alignées en cordons et communiquant entre elles par de minuscules pores (= les cribles). Le phloème est présent dans la tige comme dans la racine à proximité des vaisseaux du xylème.

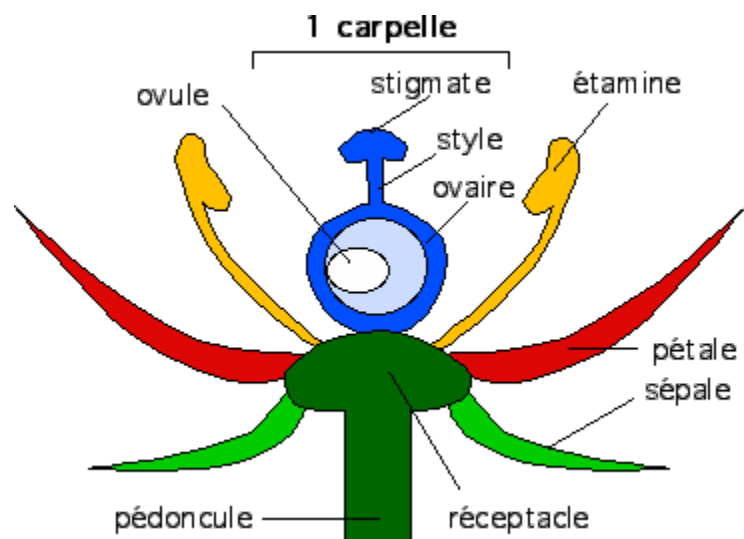
2. Se reproduire quand on est fixé.

2.1. Les organes reproducteurs des angiospermes

Les fleurs sont le plus souvent bisexuées : elles possèdent une partie mâle et une partie femelle. Elles sont dites hermaphrodites.

La fleur type d'angiosperme est constituée du pédicelle, du réceptacle et de quatre verticilles (ou groupes de pièces florales rangées en cercle autour d'un axe et s'y insérant à une même hauteur). Les quatre verticilles sont scindés en deux catégories de l'extérieur vers l'intérieur :

- 2 verticilles stériles formés de l'ensemble des sépales (le calice) et de l'ensemble des pétales (la corolle) situés au-dessus des sépales.
- 2 verticilles de pièces fertiles formés de l'ensemble des étamines (l'androcée), organe reproducteur mâle de la plante et du pistil (gynécée), organe reproducteur femelle de la plante, formé par un ou plusieurs carpelles.



jussieu.fr

Les gènes du développement dirigent la mise en place des différents éléments qui composent la fleur. Lorsqu'ils subissent des mutations, on observe des changements dans l'organisation normale de la fleur (Multiplication du nombre de pétales, d'étamines...)

2.2. La fécondation et le problème de la vie fixée

La plupart des fleurs d'angiospermes ne sont pas capables d'autofécondation (celle-ci diminue la diversité génétique). On peut la rencontrer chez le Pois ou le Blé.

Ainsi différents systèmes de transport du pollen vers le stigmate du pistil d'une autre fleur ont été sélectionnés : C'est la pollinisation. Il existe différents systèmes de pollinisation : par le vent (anémogamie) ; par les animaux (zoogamie)...

Lorsque le grain de pollen arrive sur le stigmate, il peut germer : il émet alors un tube pollinique qui pénètre dans le style puis dans l'ovaire jusqu'à l'ovule.

Dans le tube, deux cellules sexuelles mâles (spermatozoïdes) se différencient :

- Un fécondera l'ovule ce qui formera la cellule œuf qui évoluera en embryon.
- Le second fécondera les deux autres noyaux de l'ovule pour former la deuxième cellule-œuf qui évoluera en réserves de la graine.

Le fruit, lui, résulte de la transformation de la paroi de l'ovaire (cas le plus simple !)

2.3. La dispersion des graines

Les graines produites sont disséminées dans l'environnement. La dissémination peut se faire, là encore, de différentes manières :

- Ejection par les fruits secs (balsamine, pois de senteur)

- Dispersion par le vent (graines de platane..)
- Dispersion par les animaux (par les poils, les fèces)...

Dans certains cas, on observe une évolution parallèle des plantes et des animaux pollinisateurs : c'est ce que l'on appelle la coévolution.

3. Se défendre quand on est fixé

En relation avec leur vie fixée, les plantes présentent des mécanismes de défenses contre les agressions du milieu, les variations saisonnières et les prédateurs.

3.1. Se défendre contre les conditions du milieu

Les plantes ont colonisées tous les milieux, mais certains sont plus favorables à leur présence que d'autres. Les adaptations dépendent du niveau de stress induit par le milieu.

Pour s'adapter au manque d'eau :

- ouverture et fermeture des stomates en fonction des heures de la journée ; position des stomates
- cuticule épaisse (houx)
- feuilles inexistantes ou bien réduites afin de limiter les surfaces de contact avec l'air (cactées)
- formes compactes (plantes cailloux)
- cycle de vie court

3.2. Se défendre contre les variations du milieu

Les plantes des zones climatiques tempérées ont leur cycle de vie adapté aux variations saisonnières : ainsi en automne les espèces pérennes (les arbres) et les espèces annuelles (herbacées et autres) entrent en vie ralentie pendant laquelle les activités métaboliques et les échanges avec le milieu sont réduits. Dans tous les cas, il y a diminution du nombre de feuilles (arbres à feuilles caduques ; herbacées dont les feuilles disparaissent mais qui restent présentes dans le sol ; annuelles qui passent la mauvaise saison sous forme de graines....) et ralentissement du métabolisme.

3.3. Se défendre contre les prédateurs

La lutte contre les organismes prédateurs ou pathogènes se fait par des défenses morpho-anatomiques (ex : poils, épines) ou chimiques (molécules toxiques ou répulsives). Ces défenses peuvent être constitutives (présentes naturellement dans la plante) ou induites (intensification de la défense en cas d'attaque par un animal prédateur). Certaines plantes développent aussi des mécanismes de défense indirecte en attirant les prédateurs des herbivores.

But : on cherche à déterminer les caractéristiques du domaine continental.

Rappels : Le globe terrestre est constitué de différentes enveloppes. L'enveloppe la plus externe du globe, la lithosphère terrestre repose en équilibre sur l'asthénosphère. On distingue une lithosphère océanique et une lithosphère continentale.

Wegener a mis en évidence des mouvements horizontaux (« théorie de la dérive des continents ») en plus des mouvements verticaux de ces lithosphères, donc une surface terrestre en perpétuel mouvement.

La croûte océanique est créée au niveau des dorsales océaniques et ses caractéristiques ont été vues en 1^{re}. Les continents, eux, recouvrent près de 30% de la surface de la Terre.

Problème : Quelles sont les caractéristiques de la croûte continentale ?

1. Comparaison croûte continentale et croûte océanique.

1.1. Les roches et leur densité.

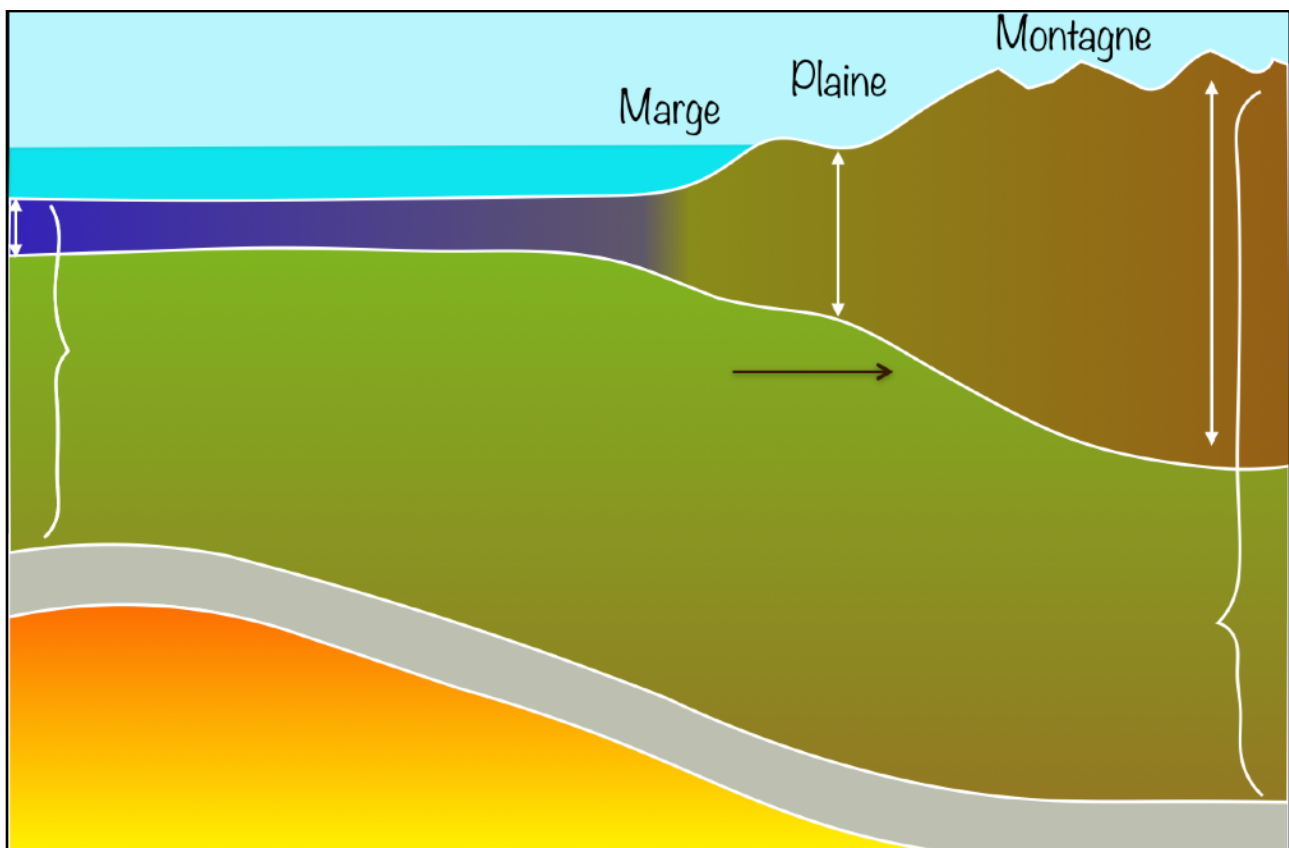
Il existe une grande variété de roches continentales visibles en surface : roches magmatiques, métamorphiques et sédimentaires. L'essentiel de la croûte continentale est constitué de roches de type granitique (granitoïdes). Ces granitoïdes sont des roches magmatiques plutoniques de texture grenue contenant principalement du quartz, des feldspaths et accessoirement des micas et des amphiboles.

La croûte océanique comparativement est principalement constituée de basaltes et de gabbros contenant des plagioclases et des pyroxènes.

Cette différence de composition s'accompagne d'une différence de densité : la densité de la croûte continentale est de l'ordre de 2,7 alors que celle de la croûte océanique est plus proche de 3. Elles reposent sur le manteau lithosphérique plus dense (3,3).

1.2. L'épaisseur des deux croûtes.

Une autre différence est la différence d'épaisseur : la croûte océanique est épaisse d'une dizaine de km alors que la croûte continentale est en moyenne épaisse de 30 km au niveau des plaines et peut atteindre 70 km sous les chaînes de montagnes.



2. La lithosphère est en équilibre sur l'asthénosphère (l'isostasie).

2.1. Définition de l'isostasie

Les croûtes continentales et océaniques sont les parties superficielles de la lithosphère rigide qui repose sur l'asthénosphère ductile.

En raison de sa faible densité, la croûte continentale repose en équilibre sur le manteau dont la densité est plus importante. Cet équilibre est appelé isostasie.

L'**isostasie** est réalisée en profondeur au niveau d'une surface, dites de compensation au dessus de laquelle la masse des roches est identique en tout point du globe. La charge supplémentaire due à une chaîne de montagne est donc compensée (par le principe d'Archimède) par une force opposée induite par la racine crustale en profondeur.

2 hypothèses pour expliquer la surface de compensation :

- Hypothèse de Pratt : la densité varie latéralement. Cette hypothèse correspond bien à la croûte océanique.
- Hypothèse d'Airy : les surfaces de compensation se situent à des profondeurs différentes, ce qui correspond mieux à la croûte continentale.

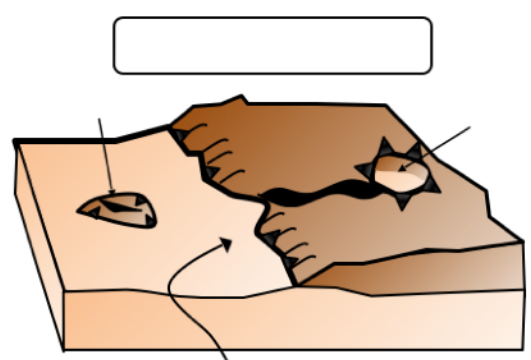
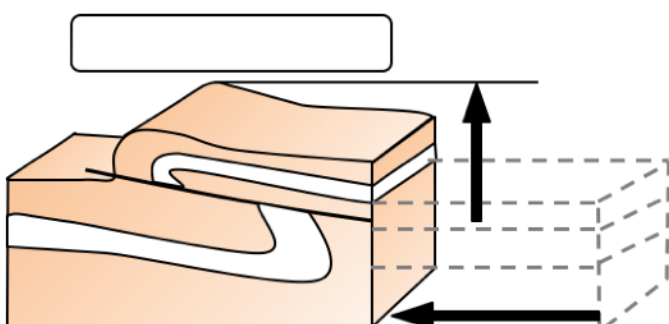
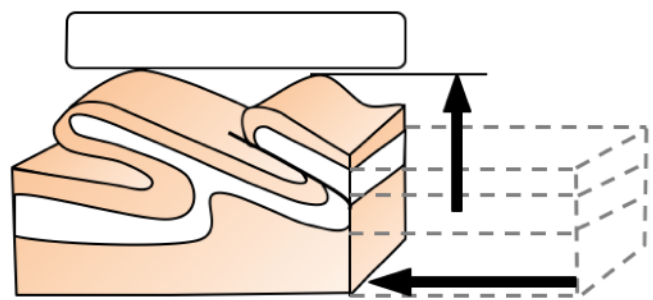
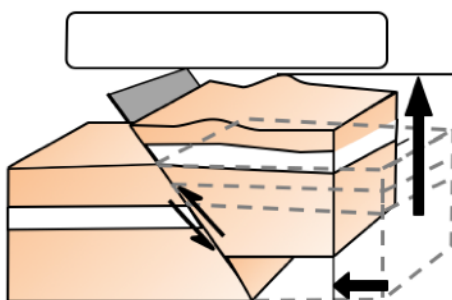
2.2. Les marqueurs de l'isostasie : les racines crustales (origine tectonique de l'épaississement crustale)

L'étude de la propagation des ondes sismiques permet de déterminer la profondeur du Moho et donc l'épaisseur de la croûte. Celle-ci est plus importante au niveau des chaînes de montagne (jusqu'à 70 km).

Ces chaînes de montagnes sont formées par des contraintes tectoniques visibles dans le relief :

- **Des plis** affectent les séries sédimentaires témoignant d'une déformation souple.
- Des **failles inverses** témoignent de déformation cassante lors d'un raccourcissement local de la croûte. Ces déformations raccourcissent la surface.
- Des chevauchements (= recouvrement d'un terrain par un autre terrain)
- Des **nappes de charriages** correspondent à un empilement complexe de roches ayant glissé sur de grandes distances (plusieurs dizaines de km) en **chevauchant** les formations en place. Ainsi des empilements complexes se créent et on observe souvent des contacts anormaux (roches éloignées se retrouvent en contact avec d'autres roches) qui permettent de repérer ces formations voyageuses.

Les figures tectoniques de compression :



Ces indices sont les marqueurs de forces de compression. Les superpositions permettent la création des reliefs et un épaissement de la croûte qui va constituer une racine crustale.

Ces contraintes ont des conséquences sur les roches qui sont modifiées à l'état solide sous l'action des variations de pression et/ou de température : c'est le métamorphisme. On trouve donc dans les chaînes de montagne :

- Des schistes, des micaschistes et des gneiss : roches aux structures en feuillets obtenues sous l'effet des contraintes tectoniques issues de différents types de roches (argiles, granites...)
- Du marbre issu de la transformation métamorphique de calcaires.
- Des traces de fusion partielle de roches métamorphiques lorsque celles-ci sont de nouveau soumises à des contraintes de pression et de température plus fortes. Le phénomène de fusion partielle de roches métamorphiques qui donne naissance à un magma, s'appelle **l'anatexie**.

3. La détermination de l'âge de la croûte

3.1. Principe et méthode.

Il est possible de mesurer l'âge d'une roche grâce au principe de géochronologie.

Ce principe est basé sur l'étude du couple rubidium-strontium. La période de désintégration du ^{87}Rb en ^{87}Sr est de 50 Ga. Les concentrations initiales des deux éléments sont inconnues. On doit donc mesurer les rapports isotopiques $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dans plusieurs minéraux de la même roche, ayant cristallisés au même moment. On pourra donc déterminer graphiquement l'âge commun de la cristallisation des minéraux. Il est possible de tracer une droite isochrone dont le coefficient directeur est un indicateur du temps écoulé depuis la cristallisation de cette roche.

Le principe de la radiochronologie.

La radiochronologie est fondée sur la désintégration d'éléments radioactifs contenus dans les roches au moment de leur formation.

Les éléments radioactifs, dits éléments pères, se désintègrent en éléments plus stables, dits éléments fils. La probabilité de désintégration d'un élément père par unité de temps est sa constante de désintégration λ . Dire que celle du Rb est de $1.42 \cdot 10^{-11} \text{an}^{-1}$ signifie que pour chaque gramme d'une roche $1.42 \cdot 10^{-11}$ grammes se désintégreront en une année.

Il existe différentes méthodes selon les périodes que l'on veut estimer, mais on ne s'intéressera qu'au couple rubidium/strontium permettant de dater des roches de la croûte. Le ^{87}Rb se désintègre en ^{87}Sr , et la $\frac{1}{2}$ vie est de 48,8 Ga (c'est le temps nécessaire pour la moitié des éléments radioactifs se désintègrent : elle est constante et caractéristique des éléments considérés).

La quantité d'élément père et fils au moment de la fermeture est inconnue et ne peut être déterminé. Pour résoudre ce problème on dispose de plusieurs arguments : le ^{86}Sr qui est un isotope de ^{87}Sr mais qui lui est stable au cours du temps et le fait que l'évolution des rapports $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ soient identiques dans tous les minéraux d'une même roche. Ce sont ces rapports que mesurent les spectrographes de masse.

Il est alors nécessaire de mesurer les rapports isotopiques de plusieurs minéraux de la même roche ayant cristallisé au même moment (les quantités initiales des éléments et le moment de la fermeture du système étant inconnus) ce qui constitue alors une équation de droite de type $y=ax + b$.

Avec a le coefficient directeur de la droite qui est proportionnel au temps et b qui est le rapport initial de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dans tous les minéraux de la roche. Cette droite est une isochrone et sa pente est proportionnelle au temps qui s'est écoulé depuis la cristallisation de la roche. On a alors : $t = \ln(a+1)/\lambda$.

3.2. Les âges de la croûte terrestre.

Les âges de la croûte océanique ne dépassent pas 200 millions d'années alors qu'il existe pour la croûte continentale des roches pouvant être âgées de plus de 4 milliards d'années.

Les géologues estiment que la formation de la croûte continentale a débuté il y a 4 Ga. Mais la différence d'âge entre les deux croûtes ne signifie pas que la croûte continentale se soit formée avant la croûte océanique. Cela s'explique par le fait que la croûte continentale ne subducte pas contrairement à la croûte océanique. Les âges variés de la croûte continentale témoignent de la formation continue de la croûte continentale.

Bilan : Les particularités des roches constituant la croûte continentale expliquent l'épaisseur de cette croûte afin que l'équilibre isostatique soit maintenu entre la lithosphère et l'asthénosphère même dans les zones d'épaississement crustal.

Les chaînes de montagne sont des lieux de convergence lithosphérique. Ces zones d'affrontement entre deux lithosphères renferment des informations qui permettent de reconstituer l'histoire de ces reliefs et de retrouver le moteur de la convergence.

Problèmes : Quelles informations nous livrent les roches à l'affleurement dans une chaîne de montagne ? En quoi une zone de subduction représente-t-elle une situation privilégiée de raccourcissement et d'empilement et donc de formation de chaîne de montagne ?

1. Des traces d'un ancien domaine océanique au niveau des chaînes de montagne.

1.1. Les ophiolites.

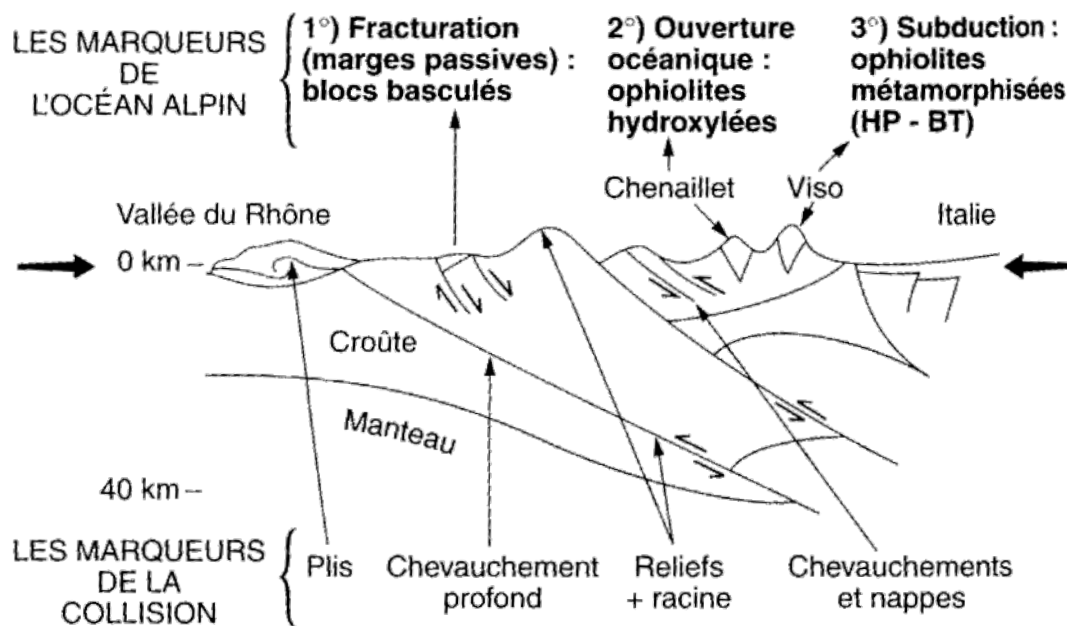
Dans les Alpes comme dans la plupart des chaînes de montagne, on peut trouver des associations de roches appelées **ophiolites** (ophio = serpent, lithos = pierre). Ces successions des roches à l'aspect de « peau de serpent » sont constituées de **péridotites** serpentinisées (=serpentinite), de **gabbro** plus ou moins métamorphisés, de **coussins basaltiques** et de **roches sédimentaires d'origine océanique (radiolarites, calcaires à ammonites, évaporites)**. Ces roches correspondent exactement à celles rencontrées au niveau des croûtes océaniques actuelles.

Ce sont les **vestiges de l'ancien plancher de l'océan alpin**, écaillées, raclées charriées sur le continent lors de la collision continentale.

La localisation de ces ophiolites au cœur des chaînes de montagne suggère que la formation d'une chaîne de montagne est associée à la disparition d'un océan dans un contexte de convergence.

1.2. Des traces d'une ancienne marge passive

On trouve **des blocs basculés et des failles normales**. Ces structures correspondent à **une marge continentale passive**. Elles sont les témoins de l'étirement de la croûte continentale qui va peu à peu s'amincir puis se fracturer et donner naissance à un rift continental dans lequel s'engouffre la mer avant de former un véritable océan.



2. De la subduction à la collision.

2.1. Des indices de subduction dans les chaînes de montagne.

Le gabbro est une roche magmatique plutonique, constituée de plagioclases et de pyroxène. Lorsqu'un gabbro est soumis à des changements de pression et/ou de température (métamorphisme), il se transforme en métagabbro. Les nouveaux minéraux formés se développent aux dépens des minéraux préexistants et forment des auréoles autour d'eux.

Ex : **métagabbros à glaucophane** (faciès **schistes bleus**).

Dans les chaînes de montagne on trouve différents types de métagabbros. L'histoire de ces roches est racontée par les minéraux qu'elles contiennent :

- Les gabbros se refroidissent et s'hydratent au contact de l'eau de mer, ils subissent un métamorphisme de basse pression et de haute température. (hydrothermalisme).
- Lors de la phase de subduction, les gabbros subissent un métamorphisme de haute pression et basse température en s'enfonçant dans l'asthénosphère. Il apparaît alors des minéraux tels que le glaucophane (faciès schistes bleus) ou le grenat (faciès éclogite).

2.2. Le moteur de la subduction

Au niveau de la dorsale, la lithosphère qui vient de se former est chaude et peu épaisse. Sa densité est plus faible que celle de l'asthénosphère. Au fur et à mesure de l'éloignement de l'axe de la dorsale, la lithosphère océanique se refroidit ainsi que l'asthénosphère située en dessous. Comme la limite asthénosphère - lithosphère n'est que physique ($T^{\circ}C$), la partie supérieure du manteau asthénosphérique devient du manteau lithosphérique lorsque sa température devient inférieure à $1300-1200^{\circ}C$. La lithosphère océanique en s'éloignant de l'axe de la dorsale océanique, s'épaissit donc, aux dépens de l'asthénosphère et devient de plus en plus dense.

Lorsque l'épaisseur de la lithosphère océanique dépasse 50 km, sa température ayant suffisamment diminué, **sa densité devient supérieure à celle de l'asthénosphère**. Comme l'équilibre isostatique est modifié, la lithosphère océanique a naturellement tendance à s'enfoncer.

Cette force de traction liée à l'enfoncement de la lithosphère océanique est le moteur principal de la subduction et donc du mouvement des plaques.

2.3. La collision continentale et la formation des chaînes de montagne.

Après la fermeture océanique, la collision des continents entraîne un épaississement crustal (la racine crustale). Cet épaississement est dû à un raccourcissement de la croûte continentale grâce à des chevauchements qui ont pour effet de générer les reliefs élevés (plus de 4807m mont blanc). L'ensemble des mécanismes permettant la formation de montagnes s'appelle l'orogénèse.

On peut trouver des métagrès qui contiennent de la coésite. Ce numéral indique que les grès de la croûte continentale ont été portés à très forte profondeur (très haute pression), quand la croûte continentale a commencé à sombrer, marquent donc la **collision** après le **blocage de la subduction**.

Bilan :

Les roches présentes dans une chaîne de montagne nous permettent donc de connaître leur histoire. Dans les Alpes, on a pu montrer différentes étapes :

- Formation d'un océan (marges passives, sédiments océaniques, croûte océanique)
- Formation d'une zone de subduction (métamorphisme typique)
- Collision continentale (métamorphisme, racine crustale)

L'histoire d'une chaîne de montagne est liée à celle d'un océan.

But : on cherche à comprendre comment les zones de subduction produisent de nouveaux matériaux continentaux.

Problèmes : Quelles sont les caractéristiques du volcanisme des zones de subduction ? Quelle est l'origine du magmatisme des zones de subduction ? Comment expliquer la production de matériaux continentaux au niveau des zones de subduction ?

1. Le volcanisme des zones de subduction.

1.1. Le volcanisme explosif.

Les volcans des zones de subduction ont une activité explosive et violente. Ils produisent des laves très visqueuses car très riches en silice. Lors d'une éruption, la lave, trop visqueuse pour pouvoir s'écouler facilement, se refroidit et forme un « bouchon » dans la cheminée volcanique. Le dégazage du magma produit des gaz qui s'accumulent et, lorsque la pression devient trop importante, il se produit une explosion qui pulvérise le sommet du volcan et libère un énorme panache volcanique et une nuée ardente (mélange de cendres et de blocs de roches de toutes tailles le tout porté à très haute température et se déplaçant très rapidement).

Ces explosions ne représentent qu'une partie de l'activité volcanique et la majeure partie du magma reste en profondeur formant les plutons (environ 90% des roches).

1.2. Les roches magmatiques formées.

Dans les zones de subduction, comme les Andes, on trouve des andésites et des granodiorites. Ces roches possèdent des compositions chimiques similaires : elles proviennent du refroidissement et de la cristallisation d'un même magma.

Les andésites sont des roches volcaniques à structure microlitique : la roche est formée de microlites noyés dans un verre non cristallisé. Ces roches sont issues d'un magma ayant refroidi rapidement en surface à la suite d'une éruption.

Les granitoïdes sont des roches plutoniques à structure grenue. Elles sont entièrement cristallisées et composées de phénocristaux. Ces roches sont issues d'un magma ayant refroidi lentement en profondeur, à l'intérieur d'une bulle de magma (pluton).

D'un point de vue chimique, l'andésite et les granodiorites sont plus riches en silicium qu'un basalte et possèdent de l'hydrogène qui, combiné à l'oxygène, rend compte de la présence de minéraux hydroxylés (micas et amphiboles).

Cette propriété est à mettre en parallèle avec la présence d'eau dans les gaz volcaniques émis et suggère la présence d'eau dans les magmas à l'origine de leur formation.

2. L'origine du magma des zones de subduction.

Au niveau de la plaque plongeante, les minéraux hydratés subissent des variations de pression qui provoquent leur déshydratation. Ces réactions métamorphiques de haute pression aboutissent à la formation de minéraux caractéristiques, le glaucophane (faciès schiste bleu) puis la jadéite (faciès éclogite), de plus en plus pauvres en eau. Cette eau est libérée dans le manteau sus-jacent.

L'hydratation du manteau abaisse le point de fusion de la péridotite entraînant ainsi la formation de magma entre 100 et 200 km de profondeur.

La fusion partielle du manteau hydraté dépasse rarement 30%. Le liquide obtenu n'a pas la même composition que la péridotite de départ car tous les minéraux ne se comportent pas de la même manière en fonction des conditions de pression et température.

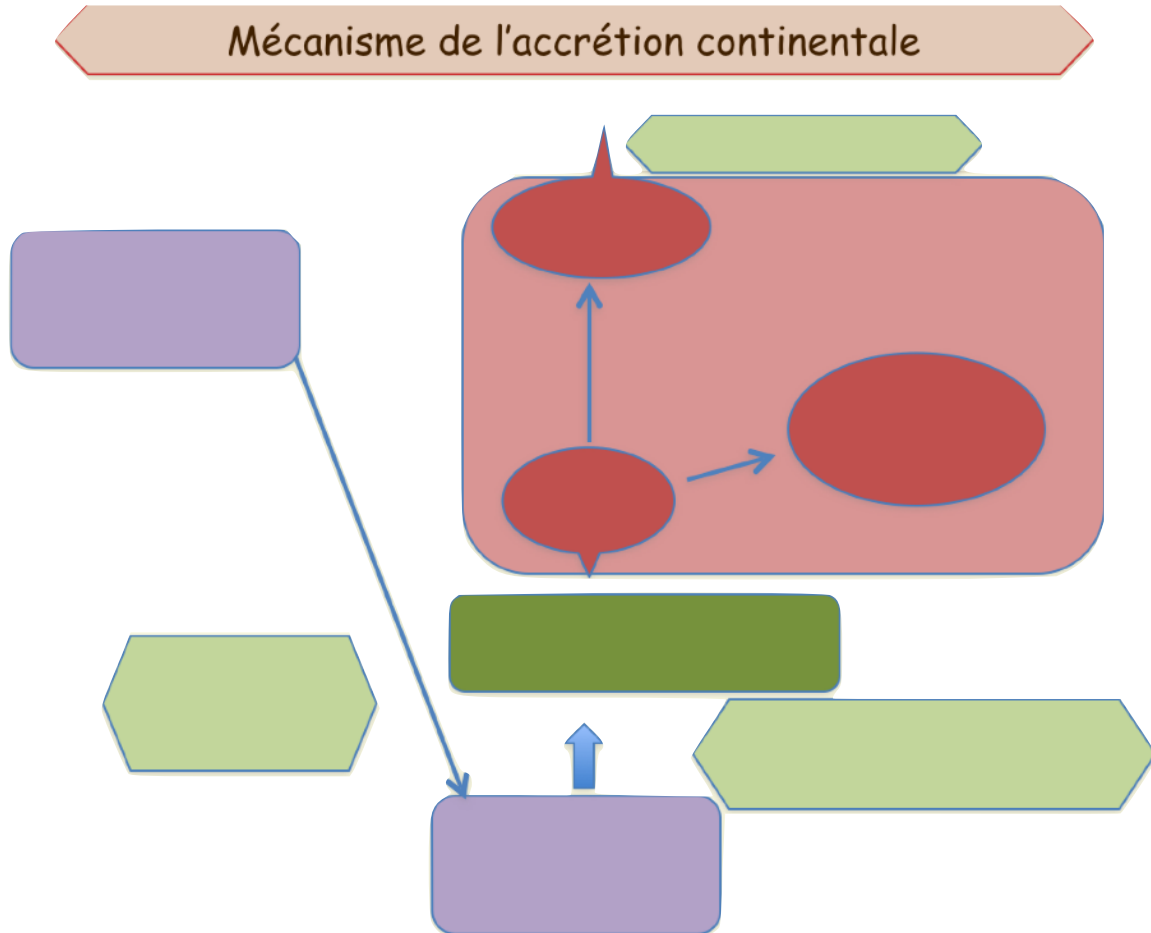
3. La formation des roches.

La cristallisation fractionnée : Les éléments chimiques ont également un comportement variable pendant la cristallisation : lors de sa remontée vers la surface le magma séjourne plus ou moins longtemps dans la chambre magmatique où il refroidit progressivement et cristallise. Les premiers minéraux qui se forment, sont ceux riches en fer et en magnésium. Le liquide magmatique va donc s'appauvrir en Fe et Mg et proportionnellement s'enrichir en Si et Al. C'est ce qu'on appelle la « différenciation magmatique ».

En conséquence, les roches obtenues sont de nature différentes en fonction de leur composition : des granites (quand le magma a plus de 65% de SiO_2) ; des roches intermédiaires (SiO_2 entre 52 et 65%) ; du basalte (SiO_2 entre 45 et 52 %) ou de la péridotite (SiO_2 à moins de 45%).

Donc le granite est issu d'un magma très différencié.

Bilan :



But : on cherche à comprendre comment évolue une chaîne de montagne.

Problème : Comment la croûte continentale est-elle modifiée ?

1. La fusion partielle de la croûte continentale

La croûte continentale peut subir des conditions de pression très fortes lors de la formation des chaînes de montagne. Les roches subissent un métamorphisme important (ex : granites en gneiss). Lorsque la température s'élève également, on peut de nouveau trouver une fusion partielle qui va former des migmatites.

2. L'érosion et la disparition des reliefs

Les différences d'altitude et de reliefs sont très marquées entre les massifs anciens et les massifs récents : un maximum de 1000 mètres d'altitude pour les massifs anciens contre parfois plus de 4000 m pour les massifs récents.

Dès la formation des chaînes de montagnes, l'érosion apparaît sous l'action de l'eau, de la température et du vent.

Les roches subissent à la fois

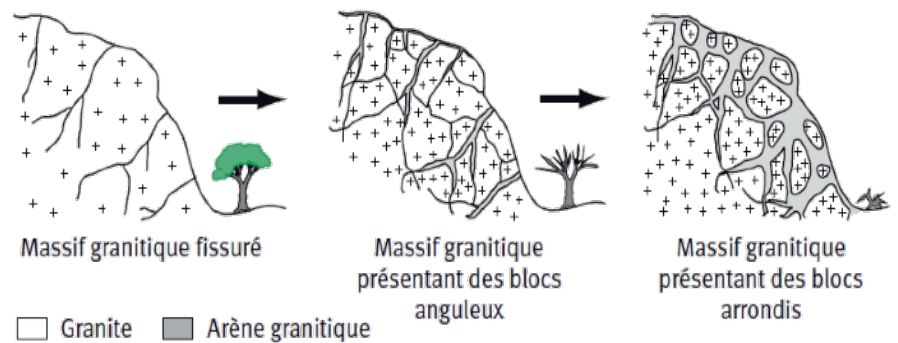
- **une altération physique :**

- o Les variations brutales de température dues aux variations jour/nuit ou gel/dégel de l'eau infiltrée dans les roches entraînent la fracturation et la désagrégation des roches.
- o Le déplacement des glaciers altère les roches par pression et frottement. L'action mécanique des racines des végétaux qui, en se développant, agrandissent les fissures créées par l'eau.

- **une altération chimique :**

L'hydrolyse des minéraux dépend de la nature des minéraux (destruction des minéraux par l'eau) :

- o Certains cations sont solubles (ex : Ca^{2+} , Mg^{2+}) ; ils peuvent être évacués vers les océans et constituer des calcaires par exemple
- o D'autres sont insolubles (Al^{3+}). Ils précipitent sous forme de d'hydroxydes et sont à l'origine de gisement métallifère comme la bauxite par exemple.



3. Le transport des matériaux

Les produits issus du démantèlement des montagnes sont des débris solides (**sédiments**) et des ions dissous. On définit la charge sédimentaire d'un cours d'eau comme l'ensemble des matières en suspension et des matières dissoutes qu'il peut transporter.

L'eau de ruissellement et les cours d'eau transportent les particules produites jusqu'à des lieux plus ou moins éloignés, les bassins sédimentaires continentaux ou océaniques, où elles se déposent en fonction de leur taille et de la vitesse des courants. C'est la sédimentation.

Les sédiments forment, après consolidation, des roches sédimentaires détritiques. Les ions dissous y précipitent et forment d'autres types de roches sédimentaires (calcaires).

4. Le réajustement isostatique

Vers la fin de la phase active de la collision, la croûte épaisse et « légère » est en équilibre sur le manteau plus dense.

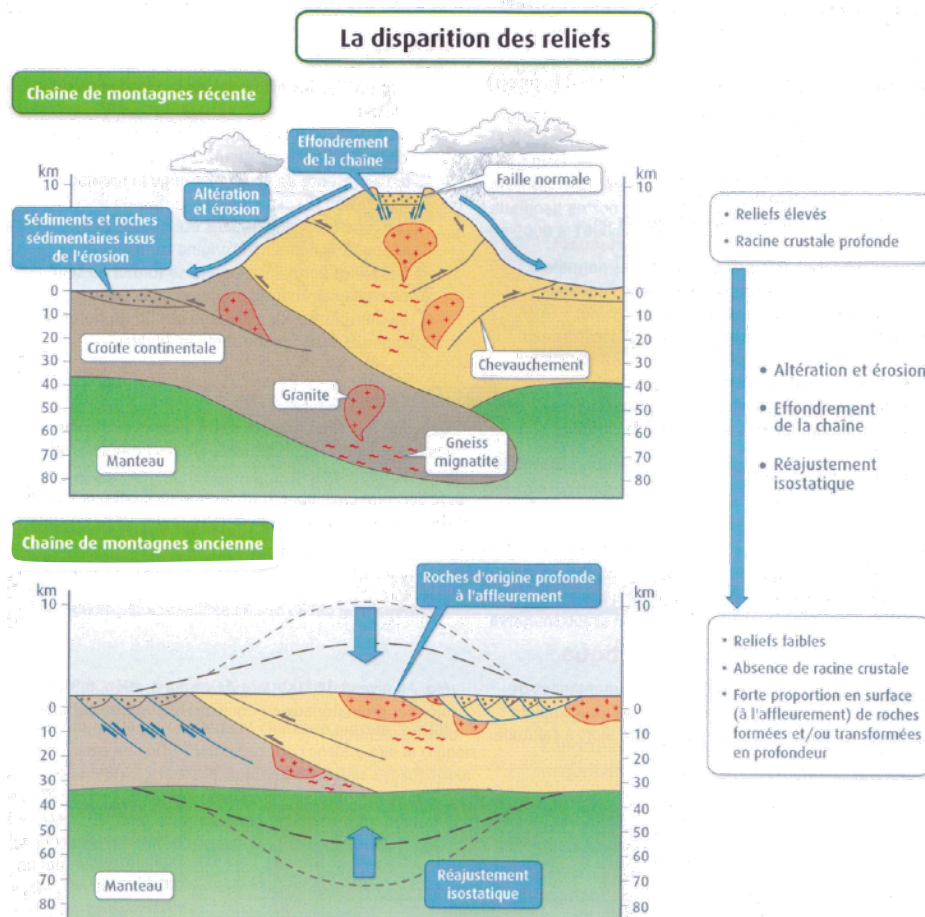
L'érosion perturbe cet équilibre en enlevant de la matière et entraîne un soulèvement par réajustement isostatique : le rebond isostatique. La baisse d'altitude engendrée par l'érosion est ainsi en grande partie compensée par la remontée isostatique. Ces 2 mécanismes conjoints font alors apparaître des roches formées en profondeur.

Vers la fin du processus de convergence, la compression étant très réduite, la chaîne de montagne s'effondre dans sa région centrale sous le poids de ses reliefs faisant apparaître de nouvelles failles normales.

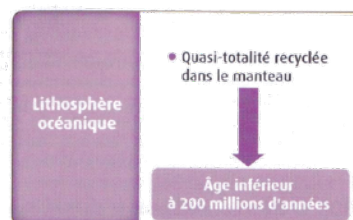
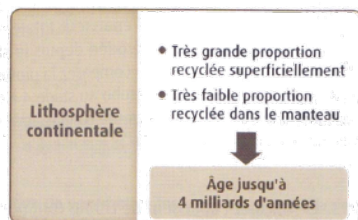
Bilan :

Comme la lithosphère océanique, la lithosphère continentale est recyclée en permanence. Ce recyclage a lieu pour l'essentiel au sein même de cette lithosphère où, lors des cycles orogéniques successifs, les roches sont transformées par des processus sédimentaires, tectoniques, métamorphiques et magmatiques.

Par le passage en subduction des sédiments et des roches sédimentaires, seule une très faible proportion de lithosphère continentale est recyclée en profondeur dans le manteau sous-jacent, où elle disparaît. Cette caractéristique du recyclage explique pourquoi elle a conservé les roches les plus anciennes de la Terre.



Le recyclage de la lithosphère



PARTIE II

Enjeux planétaires contemporains.

IIA - Géothermie et propriétés thermiques de la Terre.

Chap1 - Un enjeu planétaire contemporain : La géothermie.

IIB - La plante domestiquée.

Chap1 - La plante domestiquée.

But : on cherche à comprendre ce qu'est la géothermie, d'où elle provient et comment l'Homme l'utilise.

Problèmes : D'où provient la chaleur terrestre et comment est-elle évacuée ? Comment l'Homme exploite-t-il l'énergie géothermique ?

1. Gradient et flux géothermiques.

On observe à la surface du globe de nombreuses manifestations de libération d'énergie : éruptions volcaniques, geysers et sources hydrothermales.

La mesure de la température lorsque l'on s'enfonce dans le sous-sol montre l'existence d'un gradient géothermique de l'ordre de 30°C par km mais également un flux géothermique qui correspond à la dissipation de l'énergie interne vers la surface du globe. C'est la quantité de chaleur traversant une unité de surface par unité de temps (en Watt.m⁻² ou J.s⁻¹.m⁻²)

Ce flux géothermique varie selon le contexte géologique : il est élevé au niveau des dorsales, des points chauds et des volcans, et faible au niveau des zones de subduction.

2. Origine du flux thermique et transfert d'énergie.

La majeure partie de l'énergie libérée provient de réactions de désintégration des isotopes radioactifs (uranium, thorium et potassium) des roches. Cette énergie réchauffe les roches dans lesquelles elle est produite.

Même si le manteau est moins concentré en isotopes que la croûte terrestre et le noyau, son importante masse fait qu'il est le principal producteur de cette énergie interne.

Cette énergie est transmise dans le manteau selon deux modalités :

- ✓ La conduction correspond à un transfert sans déplacement de matière (mis à part l'agitation à l'échelle atomique). L'efficacité de ce transfert dépend de la conductivité du matériau. Elle est surtout réalisée dans la lithosphère dont les matériaux ont un comportement rigide.
- ✓ La convection correspond à un transfert avec déplacement de matière : la matière chaude, moins dense, remonte vers la surface (où elle se refroidit relativement) tandis que la matière plus froide descend et se réchauffe. Ces déplacements forment des grandes cellules de convection. La convection est réalisée dans le manteau asthénosphérique dont les matériaux ont un comportement ductile.

3. La géothermie, une ressource énergétique.

L'énergie géothermique est utilisée par l'Homme avec 2 objectifs principaux : la production de chaleur pour le chauffage (géothermie basse énergie) et la production d'électricité (géothermie haute énergie).

Les ressources géothermiques dépendent du contexte géologique :

- ✓ Dans les zones à fort gradient géothermique, c'est une géothermie de « haute énergie » : elle utilise l'eau qui se réchauffe au contact des roches. Cette eau est récupérée par des forages profonds afin de produire de l'électricité.
- ✓ Dans les zones à gradient géothermique plus faible, c'est une géothermie de « basse énergie » qui récupère l'énergie à faible profondeur à des fins de chauffage.

Le prélèvement d'énergie par l'Homme est infime par rapport à l'énergie dissipée par la Terre et cette source d'énergie peut donc être considérée comme inépuisable à l'échelle humaine.

Bilan : La compréhension du fonctionnement thermique de notre planète a permis d'identifier une nouvelle source d'énergie inépuisable à l'échelle humaine. Il reste maintenant à améliorer les technologies associées à la géothermie afin de pouvoir généraliser son utilisation.

Les plantes sont utiles dans tous les aspects de notre vie que ce soit de manière directe ou indirecte (pour l'alimentation, l'habitat, l'énergie, la médecine, l'habillement, les pratiques culturelles et culturelles...). La culture des plantes est donc un enjeu majeur. Depuis les débuts de l'agriculture, les Hommes les modifient pour les rendre encore plus utiles en améliorant leur productivité par exemple.

But : Montrer les différentes modalités d'action humaine sur les caractéristiques génétiques des plantes cultivées.

Problème : Comment les Hommes ont-ils modifié la diversité des végétaux ?

1. La domestication historique.

L'agriculture serait apparue il y a 8000 ans après la dernière période glaciaire du quaternaire (Würm 10 000 ans avant notre ère) et l'apparition d'une forêt tempérée. Le foyer d'origine le plus important de l'agriculture est au moyen orient (croissant fertile non touché par les glaciations). Les plantes cultivées sont les céréales comme le blé (engrain, blé amidonnier), l'orge, le millet et quelques légumineuses (le pois, les fèves, les lentilles...).

Les plantes domestiquées proviennent de toutes les régions du monde.

1.1. La sélection des plantes.

La sélection s'est faite par choix des caractéristiques intéressantes pour l'Homme :

- épis plus gros et qui ne cassent pas,
- racines plus sucrées,
- variétés qui se cultivent plus facilement,
- variétés qui arrivent à maturité plus vite,
- variétés plus productives.

Il s'agit d'une sélection artificielle voulue par l'Homme mais de façon empirique. On resème par exemple les graines les plus grosses parmi celles récoltées l'année précédente.

A force de sélectionner les individus possédant les caractéristiques voulues, on obtient des variétés n'existant pas dans la nature et même ne pouvant plus résister aux conditions de vie dans un milieu naturel.

Exemple du maïs : Originaire d'Amérique centrale, il est cultivé dans de grandes plaines céréalières qui doivent être irriguées en abondance pour satisfaire les besoins de cette plante. Celle-ci est sensible à de très nombreux parasites et ne survit pas sans l'aide de l'Homme. Son ancêtre la téosinte est plus petite, moins productive mais plus résistante.

Le maïs, malgré ses exigences, est très cultivé car il est utile aussi bien tel quel pour l'alimentation humaine et animale, mais aussi transformé en farine semoule, sucre pour la pharmacie (médicaments), la papeterie (glaçage, cartons ondulés..), l'industrie textile (apprêts..), la cosmétologie, les colles, les matériaux de construction, l'énergie (bio-éthanol)...

1.2. La formation de nombreuses variétés.

Pour quelques espèces, telles que le Maïs et le Sorgho, des variétés différentes ont été sélectionnées en fonction des régions du monde (Afrique, Mexique) et des paysans. Les graines peuvent être facilement triées à la récolte. Selon les endroits et les populations, les critères de sélection ont été différents : rapidité de croissance ou bien taille des fruits, goût... Il en est de même, pour les autres espèces cultivées telles que les pommes de terre, les pommes (plus de 400 variétés en France), les tomates (plus de 150 variétés), les poires... : c'est la **biodiversité variétale**.

D'autres espèces telles que le Blé ou l'Orge sont plus difficilement triables grains à grains, la sélection étant plus difficile, on aboutit à une relative uniformisation.

2. La domestication moderne (la sélection génétique).

2.1. La sélection agronomique.

Avec l'évolution des connaissances, la sélection devient moins empirique : Les scientifiques sélectionnent les plantes en fonction de leur patrimoine génétique, les auto-fécondent et sélectionnent les descendants stables.

Grâce aux connaissances acquises en biologie, les scientifiques ont développé deux techniques complémentaires :

- Sélection de lignées pures possédant chacune des caractéristiques différentes intéressantes pour l'Homme.
- Croisements répétés entre ces lignées (hybridation) qui permettent d'obtenir des individus possédant la vigueur des hybrides (hétérosis) et les caractéristiques intéressantes de leurs deux parents.

La multiplication in vitro permet la production de plants possédant le même génome en grand nombre (clones). On aboutit plus rapidement à des lignées « pures » pour un caractère, mais cela appauvrit le nombre de variétés et peut poser des problèmes de résistance.

2.2. L'amélioration des semences.

De nos jours, grâce au génie génétique, les chercheurs travaillent directement sur les gènes afin d'améliorer les variétés. Le travail se fait aussi bien sur l'expression des gènes (augmenter l'expression ou la diminuer) que sur la possession de certains gènes (ajout de gènes d'intérêt permettant par exemple la résistance à certains ravageurs). L'individu obtenu est un OGM.

Intérêt et exemples :

- Maïs Bt qui produit un insecticide
- Colza « round up ready » qui tolère de fortes doses d'herbicide.
- Tomates « Mac Gregor » dont la durée de conservation est très allongée.
- Riz doré qui possède une teneur en vitamine A importante.

Risques :

- Dissémination de ces gènes dans des espèces sauvages (« mauvaises herbes »),
- Toxicité, allergies,
- Développement de résistances aux antibiotiques,
- Diminution de la valeur nutritive de certains aliments,
- Risques imprévisibles associés à la consommation d'aliments avec OGM.

Bilan :

La sélection exercée par l'Homme sur les plantes cultivées a souvent retenu (volontairement ou empiriquement) des caractéristiques génétiques différentes de celles qui sont favorables pour les plantes sauvages.

Une même espèce cultivée comporte souvent plusieurs variétés sélectionnées selon des critères différents ; c'est une forme de biodiversité.

Les techniques de croisement permettent d'obtenir de nouvelles plantes qui n'existaient pas dans la nature (nouvelles variétés, hybrides, ...)

Les techniques du génie génétique permettent d'agir directement sur le génome des plantes cultivées.

PARTIE III

Corps humain et santé.

IIIA - Le maintien de l'intégrité de l'organisme : quelques aspect de la réaction immunitaire.

Chap1 - La réaction inflammatoire, une réponse innée.

Chap2 - L'immunité adaptative, prolongement de l'immunité innée.

Chap3 - Le phénotype immunitaire au cours de la vie.

IIIB - Neurone et fibre musculaire : la communication nerveuse.

Chap1 - Le réflexe myotatique.

Chap2 - Le message nerveux.

Chap3 - Motricité et plasticité cérébrale.

Les acteurs de l'immunité : Cellules et molécules...

1. Les cellules de l'immunité.

Les **leucocytes** sont issus de cellules souches de la moelle osseuse. Ils circulent dans le sang et la lymphe et peuvent s'accumuler dans les organes lymphoïdes (rate, ganglions lymphatiques). Certaines cellules immunitaires sont capables de passer dans les tissus pour combattre une infection.

Les leucocytes intervenant dans l'immunité innée :

- Les **granulocytes** ou **polynucléaires** : Ce sont des cellules volumineuses à noyau lobé. Leur cytoplasme est abondant et riche en organites cytoplasmiques. Leur membrane est déformable permettant à la cellule de traverser les parois des petits capillaires et de se retrouver dans les tissus (diapédèse). Ce sont des cellules phagocytaires non spécifiques.
- Les **monocytes** : Ce sont des cellules de grande taille au noyau arqué. Ils sont capables de passer dans les tissus où ils se transforment en **macrophages**. Ils présentent alors une membrane très irrégulière. Ils sont doués de phagocytose non spécifique et sont capables de présenter de petits peptides associés à leur molécule du CMH (complexe majeur d'histocompatibilité).
- Les **mastocytes** : Ce sont des cellules présentes dans les tissus. Elles sont capables de sécréter de l'histamine et jouent un rôle dans le développement des allergies.
- Les **cellules dendritiques** : ce sont des cellules que l'on trouve dans les tissus et qui possèdent de nombreux prolongements cytoplasmiques. Elles réalisent la phagocytose et sont des cellules présentatrices d'antigènes.

Les leucocytes intervenant dans l'immunité adaptative :

- Les **lymphocytes T ou B** : Ce sont des cellules de petite taille au noyau volumineux et arrondi. Leur cytoplasme est très réduit et leur membrane est assez irrégulière. Ce sont des cellules qui sont spécifiques d'un antigène. Il en existe deux types :
 - o Les **lymphocytes B** lorsqu'ils sont activés se transforment en **plasmocytes** et sécrètent des **anticorps**. Ils ont une maturation dans la moelle osseuse (Bone marrow).
 - o Les **lymphocytes T** interviennent dans la réponse immunitaire à médiation cellulaire. Ils ont une maturation dans le thymus.

2. Les molécules de l'immunité.

On distingue :

- Les **anticorps** (immunoglobulines) : protéine possédant deux sites de reconnaissance spécifiques d'un antigène donné.
- Les **cytokines** : groupe de molécules pouvant être membranaires ou sécrétées dont font parties des chimiokines, et les interleukines.
 - Les **chimiokines** : petites cytokines produites lors de la réaction inflammatoire et permettant de recruter les cellules immunitaires et de les activer.
 - Les **interleukines** : cytokines sécrétées par les lymphocytes T4 à la suite de leur stimulation et permettant la multiplication et la différenciation des lymphocytes B et des lymphocytes T8.
- La **perforine** : molécule sécrétée par les lymphocytes T8 permettant la lyse des cellules cibles.
- L'**histamine** sécrétée par les cellules sentinelles a une action sur la vasodilatation des vaisseaux sanguins.
- Les **prostaglandines**, médiateurs lipidiques formés à la suite de l'activation des mastocytes. Impliqués dans la vasodilatation, ils augmentent la sensibilité aux stimuli douloureux et la température de référence dans l'hypothalamus.
- Le **complément** : ensemble de protéines impliquées dans la réponse innée aux infections, dans l'élimination des complexes immuns et dans la régulation de la réponse spécifique.

But : On cherche à comprendre ce qui se passe lors de la réaction inflammatoire.

Le système immunitaire garantit le maintien de l'intégrité de l'organisme face aux agressions auxquelles il peut être confronté. La réaction inflammatoire est une réponse innée, non spécifique présente dès la naissance.

Par ailleurs, cette immunité innée est **très répandue** dans le monde vivant puisque toutes les espèces pluricellulaires (et notamment tous les espèces animales soit environ 2M d'espèces) la possèdent (grande conservation des séquences des gènes des différentes protéines entrant en jeu). La conservation de cette immunité au cours de l'évolution depuis son apparition (800 Ma) témoigne de son efficacité.

Problème : Comment se réalise la réponse immunitaire non spécifique ?

1. La réaction inflammatoire : une réponse stéréotypée à une intrusion microbienne.

1.1. Les défenses de l'organisme.

Les **barrières naturelles** de l'organisme sont constituées par toutes les zones de contact avec le milieu extérieur. Ce sont des barrières physiques. De nombreuses sécrétions viennent renforcer ces barrières : la sueur, les sécrétions sébacées, les larmes, le mucus des voies respiratoires (barrières biochimiques). Les sécrétions de ces tissus agissent par leurs propriétés antiseptiques et antibiotiques.

Cependant lorsque ces barrières naturelles ne suffisent pas, le **système lymphoïde** entre en jeu. Il comprend :

- Les organes lymphoïdes centraux où naissent les cellules lymphocytaires :
 - La moelle osseuse produit les précurseurs des cellules sanguines ainsi que les **leucocytes** (granulocytes, monocytes, mastocytes et cellules dendritiques) et permet la maturation des lymphocytes B.
 - Le thymus (organe volumineux situé derrière le sternum) est le lieu de maturation des lymphocytes T.
- Les organes lymphoïdes périphériques où se déroulent les réactions immunitaires :
 - Les ganglions lymphatiques collectent la lymphe et jouent le rôle de filtre. Ils assurent la prolifération des lymphocytes après contact avec un antigène.
 - La rate assure l'élimination des globules rouges âgés, participe à la production d'anticorps.
 - Le tissu lymphoïde associé aux muqueuses joue un rôle essentiel dans la réponse immunitaire locale.

1.2. Les signes de la réaction inflammatoire aiguë.

Les **lésions** (coupure, choc, brûlure...), les **infections** (prolifération de bactéries, de virus...) ou encore le **développement d'un cancer** (prolifération anarchique de cellules), sont des situations de danger pour l'organisme. Il se met alors en place une **première ligne de défense**, appelée **réaction inflammatoire aiguë** ayant pour particularités :

- ✓ D'être très rapide : Quelques minutes à quelques heures après le début de « l'agression » ;
- ✓ D'être stéréotypée : **Rougeur, chaleur, douleur et gonflement** (œdème).
- ✓ D'être non spécifique : Réaction identique quelque soit le pathogène.

2. Le déroulement de la réaction inflammatoire.

2.1. La réaction inflammatoire : une réaction en chaîne.

Certains leucocytes patrouillent en permanence dans les tissus de l'organisme (peau, muscle, foie, poumons...) et sont qualifiés de **cellules sentinelles** (**mastocytes, macrophages, cellules dendritiques**).

Lorsque ces cellules sentinelles détectent des molécules caractéristiques des microorganismes grâce à des **récepteurs de l'immunité innée**, elles libèrent dans le tissu touché des **médiateurs chimiques de l'inflammation** (molécules messagères impliquées dans la mise en place de la réaction inflammatoire) comme l'histamine, le TNF, les prostaglandines, les cytokines...

Ces médiateurs sont alors responsables :

- ✓ D'une vasodilatation responsable de la rougeur et de la sensation de chaleur,
- ✓ D'une augmentation de la perméabilité des vaisseaux responsable du gonflement,
- ✓ D'une excitation des nocicepteurs (récepteurs sensoriels sensibles à la douleur) provoquant la sensation de douleur.

La vasodilatation et l'augmentation de la perméabilité des vaisseaux provoquent le recrutement des leucocytes impliqués dans l'élimination des microorganismes : les granulocytes et les monocytes migrent des vaisseaux sanguins vers les tissus lésés, attirés par chimiotactisme. Les monocytes se différencient alors en macrophages.

2.2. L'élimination non spécifique des intrus par la phagocytose.

Les cellules recrutées (monocytes et granulocytes), ainsi que les cellules dendritiques, sont capables d'éliminer des débris de taille variable (agents infectieux, débris cellulaires...) par un processus appelé **phagocytose**. Ces cellules sont ainsi qualifiées de **cellules phagocytaires**. La phagocytose se déroule en plusieurs étapes successives :

- L'adhésion, c'est à dire la fixation des antigènes liés ou non à des anticorps, sur les récepteurs membranaires non spécifiques.
- L'ingestion par endocytose : Formation de vésicules contenant l'antigène.
- La digestion sous l'action des enzymes contenus dans les lysosomes.
- Le rejet des déchets par exocytose de la vésicule remplie des déchets à l'extérieur de la cellule.

3. Les conséquences de la réaction inflammatoire.

3.1. Les effets positifs de cette réaction inflammatoire.

Cette réaction inflammatoire rapide peut suffire à empêcher la prolifération de l'agent étranger. Si cette réaction ne suffit pas, la réponse immunitaire adaptative est alors induite.

La dégradation de l'antigène par les cellules phagocytaires est plus ou moins totale : elle aboutit soit à la libération des produits de dégradation, soit à de petits peptides, appelés **déterminants antigéniques**. Ceux-ci se retrouvent associés à des molécules du CMH (**Complexe Majeur d'Histocompatibilité**) à la surface des macrophages ou des cellules dendritiques, qui deviennent des **Cellules Présentatrices d'Antigène (C.P.A)**. L'immunité adaptative peut alors être mise en jeu.

Les cellules dendritiques migrent ensuite vers les **ganglions lymphatiques** les plus proches amorçant ainsi la **réponse immunitaire adaptative** par l'intermédiaire des lymphocytes.

3.2. Les dysfonctionnements possibles

Suite à une grande dissémination de bactéries, une grande quantité de cytokines inflammatoires peut être sécrétée : la réponse inflammatoire devient trop importante et un choc septique peut se produire. Il est caractérisé par de la fièvre, une insuffisance circulatoire (due à une diminution du volume sanguin disponible) avec une accélération des rythmes cardiaque et ventilatoire.

La réponse inflammatoire peut aussi devenir chronique (allergies, maladies auto-immunes), ce qui peut aboutir à la destruction des tissus inflammés et la lésion des organes concernés.

3.3. Soulager la douleur par l'usage des anti-inflammatoires

Pour soulager la douleur, des antalgiques peuvent être prescrits (ils ciblent les médiateurs à l'origine de la douleur) tels que le paracétamol.

Les médecins peuvent prescrire des médicaments anti-inflammatoires de deux types :

- des corticostéroïdes qui entraînent une diminution du nombre et de l'activité des cellules immunitaires en empêchant la synthèse des cytokines.
- des anti-inflammatoires non stéroïdiens (ex : aspirine) qui réduisent la douleur et l'inflammation en inhibant la production de prostaglandines.

Cependant, l'action des anti-inflammatoires ne perturbe pas l'action des cellules phagocytaires et n'empêche donc pas le processus de guérison.

Bilan : La réponse immunitaire, dans ses aspects non spécifiques, peut avoir lieu dans tout l'organisme ; elle est caractérisée par la phagocytose de tout élément étranger et son élimination ; elle permet d'induire la réponse immunitaire adaptative.

But : on cherche à comprendre ce qui se passe lors de la réaction immunitaire spécifique.

La réaction immunitaire spécifique n'intervient qu'après reconnaissance de l'antigène par les récepteurs spécifiques des lymphocytes B ou T, généralement au niveau des organes lymphoïdes périphériques. Deux types de réponses coexistent : la réponse à médiation humorale et la réponse à médiation cellulaire.

Problème : Comment se réalisent les réponses immunitaires spécifiques à médiation humorale et à médiation cellulaire ?

1. La réponse à médiation humorale.

Prépondérante dans l'élimination des bactéries, elle est effectuée par les anticorps circulants qui se lient spécifiquement aux antigènes et les neutralisent sous forme de complexes immuns (complexe antigène / anticorps).

1.1. La sélection clonale.

Au cours de la phase d'induction, il existe une coopération cellulaire qui aboutit à la sélection de clones de lymphocytes spécifiques des antigènes au sein du répertoire immunologique.

- Les lymphocytes B sont sélectionnés directement par les antigènes qui leurs sont spécifiques. Dès que leurs récepteurs sont liés à l'antigène, ils synthétisent des récepteurs à l'interleukine 2.
- Les lymphocytes TCD4 sont sélectionnés par les antigènes présentés par les cellules présentatrices d'antigènes (CPA) (macrophage, dendrocyte). Ils deviennent des lymphocytes T auxiliaires et synthétisent aussi des récepteurs à l'interleukine 2, ainsi que de l'interleukine 2.

1.2. L'amplification et la différenciation.

Sous la double stimulation du contact cellulaire et des interleukines 2, les lymphocytes sélectionnés prolifèrent par mitoses et se différencient en cellules effectrices.

La différenciation des lymphocytes B en plasmocytes est caractérisée par l'acquisition du pouvoir de sécréter des anticorps circulant dans le plasma. Les anticorps sécrétés expriment la même spécificité que les anticorps membranaires (récepteurs) du clone de LB sélectionné.

1.3. L'élimination de l'antigène.

Au cours de la phase effectrice, les anticorps neutralisent les antigènes et contribuent ainsi à maintenir l'intégrité de l'organisme. La formation du complexe immunitaire permet l'activation du complément, ensemble de protéines enzymatiques non spécifiques qui participent à la destruction de l'antigène. Les débris provenant de la destruction de l'Ag sont ensuite éliminés par phagocytose grâce à des macrophages, cette phagocytose est facilitée par la présence d'anticorps sur l'antigène.

2. La réponse à médiation cellulaire.

Prépondérante dans l'élimination des antigènes intracellulaires (cellules infectées par un virus par exemple) est effectuée par les LT cytotoxiques qui, après contact cellulaire et double reconnaissance lysent les cellules cibles. Elle se déroule aussi selon les mêmes étapes.

2.1. La sélection clonale.

Comme pour les lymphocytes B, il y a une coopération cellulaire qui aboutit à la sélection de clones de lymphocytes spécifiques.

- Les lymphocytes TCD8 sont sélectionnés par les antigènes présentés par toutes les cellules de l'organisme ayant été infectées par le virus. Ils synthétisent des récepteurs à l'IL2.
- Les lymphocytes TCD4 sont sélectionnés par les antigènes présentés par les CPA. Ils deviennent des lymphocytes T auxiliaires et synthétisent aussi des récepteurs à l'IL2, ainsi que de l'IL2.

2.2. L'amplification et la différenciation.

Après l'activation, les Lymphocytes TCD8 sont appelés lymphocytes T cytotoxiques : Ils ont acquis une action lytique. Ils sont capables de synthétiser des molécules de perforine qui, en s'associant dans la membrane de la cellule à détruire, la perforent et entraînent la lyse de la cellule.

2.3. L'élimination des antigènes.

Au cours de la phase effectrice, les lymphocytes T cytotoxiques détruisent les cellules infectées par le virus. Les restes de ces cellules sont phagocytés.

But : on cherche à comprendre comment évolue le phénotype immunitaire au cours de la vie et la façon dont agit la vaccination.

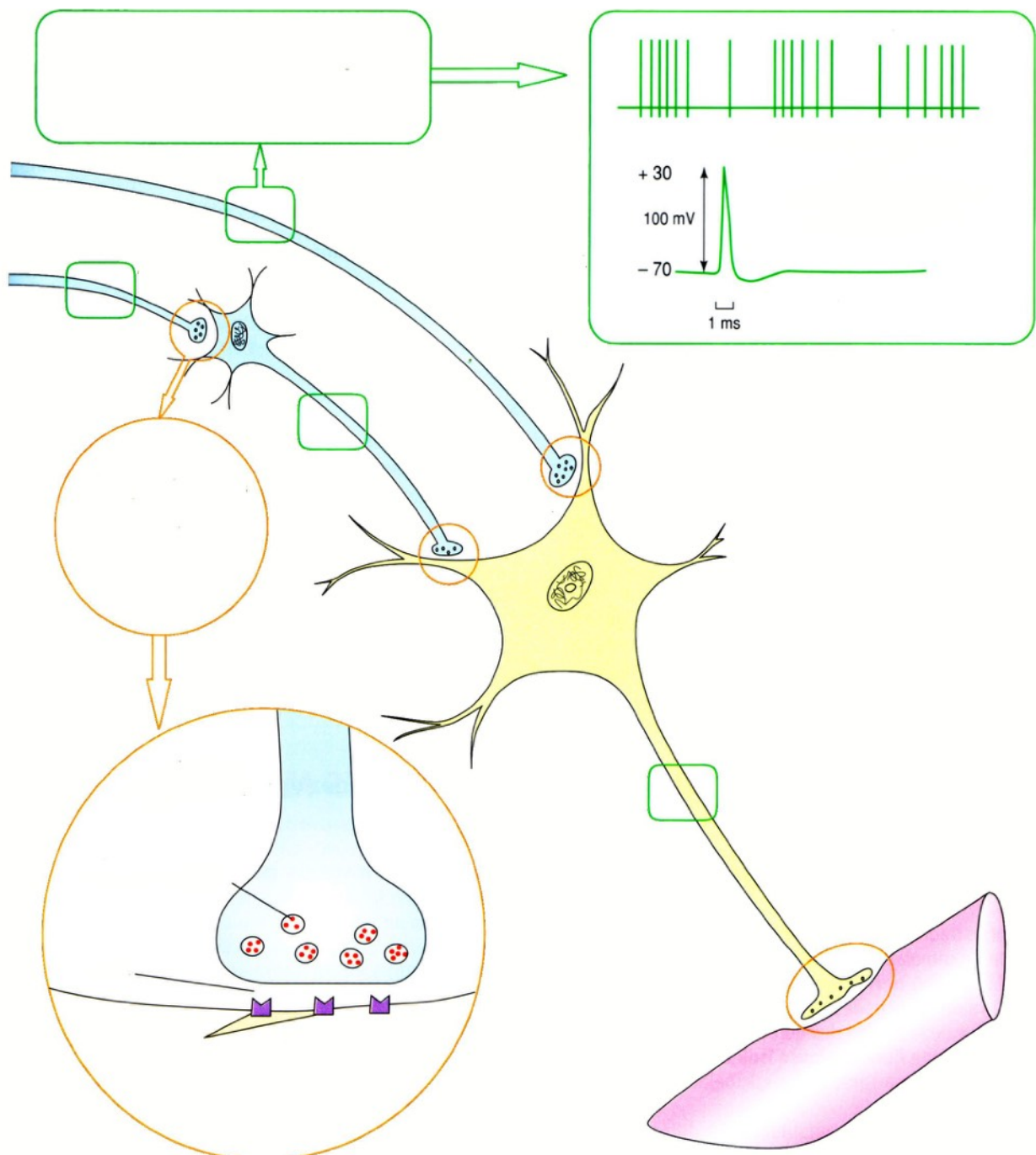
Problème : En quoi la vaccination permet-elle de faire évoluer le phénotype immunitaire ?

1. La mémoire immunitaire.

1.1. Diversité des clones de LT et de LB.

Le système immunitaire est capable de reconnaître un nombre illimité d'antigènes grâce aux récepteurs présents sur les LT et les LB. Cette diversité résulte de l'expression des gènes situés sur des chromosomes différents et qui se recombinent de façon très variable lors de la maturation d'un lymphocyte. Lorsque la maturation est achevée, le lymphocyte n'exprime qu'une seule variété de récepteurs. C'est un lymphocyte naïf. L'organisme produit des lymphocytes naïfs tout au long de sa vie et surtout pendant l'enfance.

Les lymphocytes qui exprimeraient un récepteur capable de reconnaître les propres éléments de l'organisme (auto-réactifs) sont éliminés car ils seraient une menace pour l'organisme.



1.2. Le phénotype immunitaire.

Le phénotype immunitaire correspond à l'ensemble des lymphocytes que possède l'individu à un moment donné. Il change naturellement en fonction des expositions aux différents antigènes rencontrés ou artificiellement grâce à la vaccination. Le pool de lymphocytes mémoires augmente tout au long de la vie.

2. La stratégie vaccinale.

2.1. La vaccination.

On a constaté que lorsqu'une personne guérit d'une infection virale ou bactérienne, elle est immunisée contre cet antigène et les symptômes de la maladie n'apparaissent pas lors d'un second contact avec celle-ci. Lors du premier contact la réaction primaire est lente, peu intense et peu durable. Lors du second contact, la réaction secondaire est plus rapide et plus intense. Grâce aux « lymphocytes mémoires » immédiatement mobilisables, un second contact avec le même antigène déclenche une réponse secondaire plus rapide et donc plus efficace que la réponse primaire.

Le vaccin consiste en une injection de produits immunogènes non pathogènes (particules virales, virus atténués) La vaccination induit une réponse immunitaire secondaire qui empêche la prolifération d'un agent infectieux bactérien ou viral ayant pénétré dans l'organisme.

La vaccination conduit à l'acquisition d'une immunité cellulaire humorale ou mixte. Des LB ou T a durée de vie très longue sont produits : Ce sont des lymphocytes mémoires. Ils sont responsables de la rapidité et de l'efficacité de la réponse secondaire qui survient lors de la seconde présentation de l'antigène.

2.2. Le rôle des adjuvants.

Un adjuvant vaccinal est constitué de toutes substances qui augmentent le pouvoir immunogène des antigènes dans un vaccin. Les adjuvants sont utilisés en général pour les vaccins qui ne sont pas naturellement assez immunogènes et aussi pour les vaccins pandémiques.

2.3. Le double intérêt de la vaccination.

La vaccination permet à la fois de nous protéger individuellement contre des infections dangereuses, et elle assure une protection collective en contribuant à éliminer certaines maladies.

Bilan :

Le phénotype immunitaire est constitué du répertoire de toutes les cellules immunitaires. Il est défini à partir de réarrangements aléatoires des gènes morcelés des récepteurs T des LT et des anticorps membranaires des LB. Il est modifié naturellement à chaque fois que l'organisme rencontre un nouvel élément étranger et artificiellement à chaque vaccination par l'augmentation des lymphocytes mémoires.

But : On cherche à comprendre ce qu'est le réflexe myotatique et à déterminer les structures qui sont impliquées dans sa réalisation.

1. Le réflexe de posture

1.1. Le tonus musculaire et la posture.

Le squelette est constitué d'os longs, d'une colonne vertébrale et de nombreuses articulations. Les os sont attachés les uns aux autres par des ligaments, et sont mis en mouvement par les muscles auxquels ils sont attachés par des tendons.

La posture du corps est sa position dans l'espace. Elle est soumise à la gravité à laquelle le corps résiste. Le maintien de la posture est possible grâce à l'activité coordonnée des muscles extenseurs et fléchisseurs. Ils sont en état de tension permanente appelée tonus musculaire. Cet état de contraction ne produit aucun mouvement mais permet de stabiliser la posture. Il permet également aux muscles de répondre rapidement à une commande qu'elle soit réflexe ou volontaire.

Dans les cas de dysfonctionnement du système nerveux, le tonus peut être anormalement faible (hypotonie) ou élevé (hypertonie).

1.2. Le tonus musculaire et le réflexe myotatique

Le réflexe myotatique est la contraction du muscle en réponse à son propre étirement. Ces contractions sont involontaires, stéréotypées et innées. Le tonus musculaire est la résultante de nombreux réflexes myotatiques. Les réflexes achilléen et rotulien sont dus à un étirement bref du tendon et donc du muscle. La réponse est une contraction brève du muscle. Le tonus musculaire, lui, est dû à un étirement permanent : la contraction se maintient tout le temps de l'étirement.

Le test du réflexe rotulien pratiqué par le médecin lui fournit des indications sur le développement du système nerveux.

2. Les structures impliquées dans la contraction réflexe

2.1. Mise en évidence des structures mises en jeu

Le réflexe myotatique est la réponse du muscle à son propre étirement. Les muscles antagonistes ont une activité coordonnée pour permettre le déplacement de l'os.

Ainsi un mouvement d'extension est permis quand les muscles extenseurs se contractent tandis que les muscles fléchisseurs sont relâchés.

La réponse musculaire est déclenchée par un stimulus. Ce stimulus est l'étirement du muscle provoqué par le choc au niveau des tendons. Il est détecté par des structures particulières : **les fuseaux neuro-musculaires** qui émettent alors un message nerveux.

Les **fibres nerveuses sensitives**, situées dans un nerf rachidien, conduisent le message nerveux sensitif vers le centre nerveux constitué par la **moelle épinière**. Après traitement de l'information nerveuse sensitive, elle élabore un message nerveux moteur.

Les **fibres nerveuses motrices** situées dans le nerf rachidien acheminent le message nerveux moteur jusqu'aux effecteurs constituées par les **fibres musculaires** qui y répondent en se contractant.

L'ensemble constitue un **arc réflexe**.

2.2. Les structures responsables de la conduction du message nerveux.

a. Les cellules

Tout neurone comporte un corps cellulaire avec noyau et deux types de prolongements cytoplasmiques (ou fibres nerveuses) : axone et dendrites. Les dendrites collectent les informations sensitives et les conduisent vers le corps cellulaire, tandis que l'axone conduit le message nerveux du corps cellulaire vers d'autres cellules.

Les neurones sensitifs relient les fuseaux neuro-musculaires à la moelle épinière et les motoneurons (ou neurone moteurs) relient la moelle épinière aux fibres musculaires effectrices.

Le corps cellulaire du neurone sensitif est situé dans un ganglion rachidien, au niveau de la racine dorsale de la moelle épinière.

Le corps cellulaire du motoneurone est situé dans la partie antérieure de la substance grise de la moelle épinière.

b. Le transport du message

Le message nerveux en provenance d'un fuseau neuromusculaire emprunte la dendrite d'un neurone sensitif dont l'axone transmet le message nerveux à un motoneurone.

L'axone du motoneurone, qui emprunte la racine ventrale du nerf rachidien, véhicule le message nerveux moteur jusqu'aux fibres musculaires.

Dans la moelle épinière, au niveau de la substance grise, la jonction entre le neurone sensitif et le motoneurone se fait par le biais d'une seule synapse neuro-neuronique. On parle d'arc réflexe mono-synaptique.

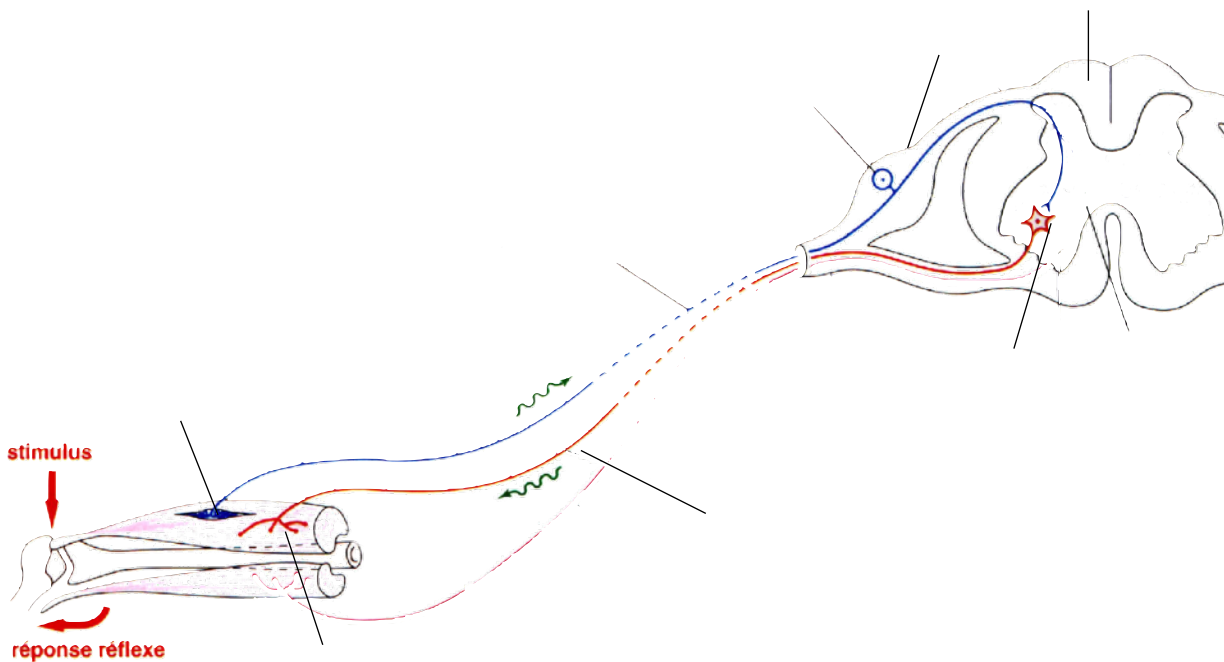
La jonction entre la terminaison axonique du motoneurone et la fibre musculaire est assurée par une synapse neuromusculaire ou plaque motrice.

(Pour aller plus loin : Un interneurone inhibiteur assure la décontraction du muscle antagoniste. le message suit alors une voie bi-synaptique)

Bilan :

Le réflexe myotatique met en jeu des récepteurs sensoriels (fuseaux neuromusculaires) des voies nerveuses sensibles et motrices, un centre nerveux central (moelle épinière) et des effecteurs (les muscles antagonistes). L'ensemble formant un arc réflexe.

La conduction du message nerveux se fait par l'intermédiaire de cellules spécialisées, polarisées et excitables : les neurones. Le message du réflexe myotatique suit une voie mono-synaptique.



But : On cherche à comprendre ce qu'est un message nerveux et comment il se propage.

1. Nature et propagation du message nerveux

1.1. Le message au niveau d'un neurone

a. Le potentiel de repos

En dehors de toute stimulation, la membrane d'un neurone est polarisée. C'est-à-dire qu'elle possède une différence de charge électrique entre l'intérieur et l'extérieur. Le côté intérieur est électronégatif par rapport à l'extérieur. Cette différence de polarisation, estimée à 70 mV, est nommée **potentiel de repos** ou **potentiel de membrane**.

b. Le potentiel d'action

Lors d'une stimulation du neurone, une modification soudaine du potentiel de repos apparaît. Après une inversion brutale de la polarisation membranaire, la membrane se repolarise très rapidement. Cet événement, appelé potentiel d'action, est très bref et il se propage le long de la fibre nerveuse.

Il existe une intensité seuil nécessaire pour provoquer une réponse. La réponse, sous forme de potentiel d'action, est d'emblée maximale. Donc soit le stimulus déclenche une réponse, soit il n'en déclenche pas. Ce phénomène est qualifié de "tout ou rien".

Quelque soit l'intensité de la stimulation du neurone, l'amplitude des potentiels d'action ne varie pas.

Le message nerveux est constitué d'une série de potentiels d'action qui se propagent de proche en proche le long de la fibre nerveuse (vitesse voisine de 100 m/s pour l'axone d'un motoneurone). La fréquence des potentiels varie en fonction de l'intensité de la stimulation.

La vitesse des potentiels d'actions est variable d'une fibre à l'autre de moins de 1 m.s⁻¹ à plus de 100 m.s⁻¹. La vitesse dépend de la taille des neurones (les fibres les plus grosses sont les plus rapides) et de la présence d'une gaine de myéline qui accélère la propagation.

1.2. Le message nerveux au niveau d'un nerf.

Un nerf est composé d'un ensemble de fibres nerveuses dont les diamètres sont variables. C'est le recrutement d'un nombre plus ou moins important de fibres nerveuses qui fait varier l'amplitude de la réponse du nerf au stimulus. On parle alors de potentiel global.

Pour qu'un message nerveux apparaisse sur un nerf, la stimulation doit être supérieure à une valeur dite intensité seuil ou seuil de stimulation. Une fois l'intensité seuil atteinte, toutes les stimulations supérieures, dites stimulations supraliminaires, sont efficaces et déclenchent un potentiel global.

L'augmentation de la stimulation augmente l'amplitude de la réponse du nerf en recrutant un plus grand nombre de neurones actifs à un moment donné.

2. Mécanisme de transmission du message nerveux au niveau des synapses.

Qu'il s'agisse d'une synapse neuro-neuronique ou d'une synapse neuromusculaire, la transmission du message s'effectue par le biais d'une substance chimique (neurotransmetteur). Au niveau d'une synapse, l'intensité du message est codée par la concentration en neuromédiateur (codage chimique en concentration)

2.1. La synapse

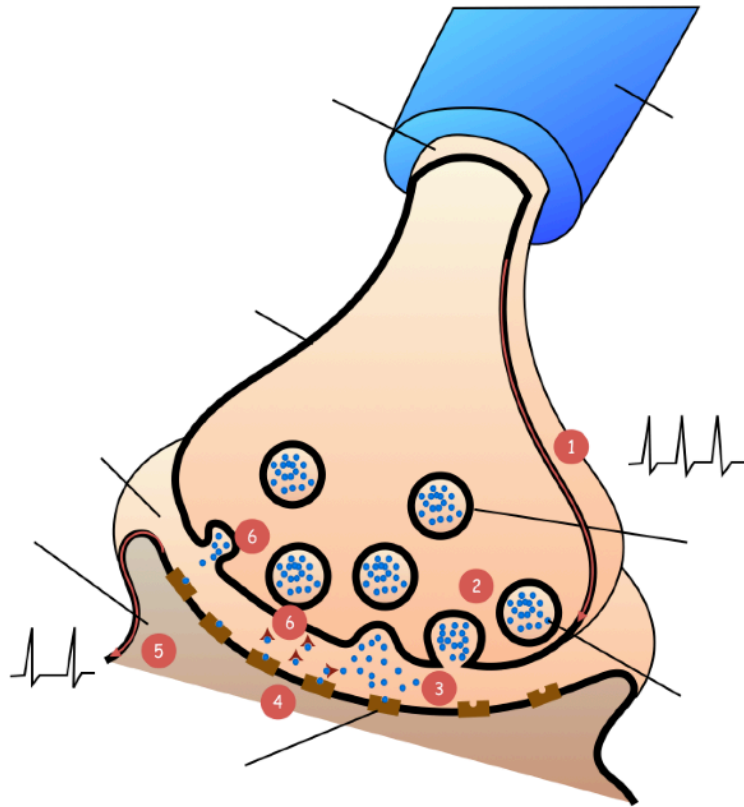
Les neurones communiquent entre eux ou avec des cellules effectrices (les cellules musculaires) grâce à des synapses. L'existence de l'espace intersynaptique, ou fente synaptique, interrompt la propagation des potentiels d'action.

En général, les cellules sont espacées de 20 à 50 nm. La communication devient alors chimique

2.2. Le fonctionnement des synapses

Le message franchit les synapses dans un seul sens, de manière relativement lente (le délai synaptique est de l'ordre de 0,5 ms, soit une vitesse de 0,1 mm.s⁻¹). Il est unidirectionnel.

Au niveau de la synapse, ce sont des molécules qui assurent la transmission du message : les **neurotransmetteurs**. Ils sont localisés dans des vésicules de la cellule pré-synaptique : la transmission ne peut donc avoir lieu que dans un seul sens, de la cellule pré-synaptique vers la cellule post-synaptique.



L'arrivée de potentiels d'action déclenche la libération des neurotransmetteurs dans la fente synaptique par exocytose (fusion d'une vésicule avec la membrane plasmique puis excrétion de son contenu dans le milieu extracellulaire). Le neurotransmetteur se lie à des récepteurs spécifiques présents sur la membrane post-synaptique. L'activation de ces récepteurs peut déclencher un nouveau message sur la cellule. La quantité de neuromédiateurs libérés dépend de la fréquence des potentiels d'action. L'inactivation rapide du neurotransmetteur dans la fente synaptique et sa recapture par la terminaison pré-synaptique interrompt la transmission synaptique.

Des molécules mimant la forme des neurotransmetteur peuvent modifier le fonctionnement de ces synapses.

2.3. Intégration des messages par les neurones.

Toutes les synapses ont le même principe de fonctionnement mais vont avoir une action différente selon le type de neurotransmetteur qu'elles libèrent : certaines synapses sont excitatrices (elles ont tendance à provoquer un nouveau message sur le neurone post-synaptique), d'autres sont inhibitrices (elles ont tendance à empêcher l'émission de nouveaux potentiels d'action).

Chaque neurone est relié à de nombreux autres neurones, de nombreuses synapses excitatrices ou inhibitrices peuvent lui transmettre en même temps de nombreux messages. Le corps cellulaire de ce neurone intègre ces informations contradictoires et en fait un nouveau message. C'est la **fonction intégratrice** des neurones.

BILAN : Les neurones transportent les messages nerveux sous forme de potentiels d'action qui se propagent sans transformation le long de la fibre nerveuse. C'est la variation de leur fréquence qui code les différents messages. Ceux-ci sont transmis de neurones à neurones grâce aux synapses, dans lesquelles les messages bioélectriques sont transmis à l'aide de messagers chimiques.

But : On cherche à comprendre ce qu'est la motricité volontaire, comment fonctionne le cerveau et comment il s'adapte à l'entraînement.

Dans les premiers jours le bébé perd son réflexe de marche automatique pour acquérir progressivement une marche volontaire.

1. De la volonté au mouvement.

1.1. Des aires cérébrales spécialisées.

L'exploration du cortex cérébral d'un sujet est permise grâce à l'imagerie médicale. L'IRM, Imagerie par Résonance Magnétique permet la visualisation de l'organisation du cerveau et l'IRM fonctionnelle permet de visualiser les variations de l'activité du cerveau.

On constate que lors d'une activité précise des territoires cérébraux sont systématiquement activés. On a pu définir les rôles des différentes parties du cerveau :

- Les aires motrices primaires, situées au niveau du cortex moteur, commandent directement les mouvements. Leur cartographie montre que chaque partie du corps est associée à une zone du cortex et plus la mobilité est importante plus la surface associée de l'aire motrice sera importante. C'est l'homunculus.
- D'autres aires comme les aires pré-motrices ou des territoires situés plus en profondeur sont aussi actives. Les voies motrices sont croisées, c'est l'hémisphère cérébral droit qui contrôle la partie gauche du corps et inversement.

La planification d'une commande volontaire se fait dans le lobe frontal. Les neurones activent le cortex moteur qui, avec l'aide des autres zones du cerveau (cortex visuel par exemple) détermine la trajectoire nécessaire. Le cortex moteur active l'aire pré-motrice qui, elle, commande au cortex moteur primaire dont les neurones stimulent les neurones moteurs de la moelle épinière. Il y a donc une coordination des différentes zones du cerveau.

1.2. Le rôle intégrateur des neurones.

Les motoneurones innervant les fibres musculaires reçoivent à la fois des messages provenant du réflexe myotatique et des messages provenant de la motricité volontaire.

Le neurone fait la sommation des synapses : synapses excitatrices et inhibitrices et déclenche la création ou non d'un message nerveux moteur en fonction des conditions.

De plus, l'excitation d'un neurone cortical unique donne naissance à un mouvement caractéristique d'une partie du corps plutôt qu'à la contraction d'un muscle particulier, car les ramifications de ce neurone ont des relations non seulement avec les muscles agonistes (ceux entrant dans la réalisation du mouvement) mais également avec les muscles antagonistes.

1.3. Voies motrices et dysfonctionnements musculaires.

Rappels détermination d'un AVC (sourire, tirer la langue, lever les deux bras, répéter une phrase simple. Si anomalies → urgences rapidement).

Les messages nerveux partent du cerveau, cheminent par des faisceaux de neurones qui descendent dans la moelle épinière. Un AVC peut alors en touchant une partie de l'aire motrice entraîner une paralysie. Si cette paralysie touche un seul côté du corps, on parle alors d'hémiplégie.

Des lésions accidentelles de la moelle épinière peuvent, elles aussi, entraîner des paralysies pouvant aller jusqu'à la paraplégie si les membres inférieurs sont touchés et à la tétraplégie quand la lésion se trouve au-dessus des membres supérieurs.

2. La plasticité cérébrale.

2.1. La mise en place du cortex cérébral.

Le système nerveux central se met en place dans la seconde moitié du premier trimestre de gestation. Pendant toute la grossesse, la neuro-plasticité est importante et le développement est très sensible aux conditions du milieu (toxines, malnutrition, accidents).

La masse du cerveau quadruple de la naissance à l'âge adulte sous l'effet conjugué d'une augmentation du nombre de neurones, de leur taille et du nombre de connexions nerveuses.

2.2. Modifications du cortex moteur

a. L'apprentissage

Même si les aires motrices se trouvent au même endroit chez tous, des différences individuelles se mettent en place au cours du développement cérébral sous l'effet de l'apprentissage et de l'entraînement.

L'apprentissage permet l'extension de l'aire corticale correspondante : Des neurones qui n'étaient pas concernés par cette activité le sont devenus par création de nouvelles synapses ou adaptation des synapses existantes.

b. La récupération fonctionnelle

Même si les lésions cérébrales sont irréversibles, la plasticité du cerveau permet après une rééducation une récupération plus ou moins importante selon les individus. Ces variations individuelles sont déterminées par plusieurs facteurs : la nature de la lésion, la motivation personnelle, l'hygiène de vie, les médicaments...

L'âge est aussi un facteur déterminant : les capacités de remaniement se réduisent tout au long de la vie ainsi que le nombre de neurones mais leurs effets ne sont visibles qu'à partir de 80 ans environ.

Bilan : Le système nerveux gère à la fois les réflexes via la moelle épinière et les commandes volontaires via le cortex.

La plasticité cérébrale est la capacité du cerveau à modifier les connexions synaptiques entre ses neurones, à en activer ou même à en supprimer certaines. Elle permet mémoire et apprentissage et intervient également dans les processus de récupération après une lésion. Elle dépend de l'environnement (entraînement) et permet de s'y adapter.