

Actions 1&2 :

- Reconnaître les étapes du développement de l'œuf.
- Proposer des aliments nécessaires pour le bon développement du fœtus.

SEQUENCE I : IDENTITE BIOLOGIQUE DES ORGANISMES.

GENERALITES

Chaque individu provient du développement d'une cellule œuf qui contient un ensemble d'informations codées appelé programme génétique. Ce programme est responsable de l'existence chez chaque individu d'un ensemble de caractères spécifiques (propres à l'espèce) et individuels (qui distinguent un individu d'un autre dans la même espèce).

Les chromosomes constituent le support du programme génétique de chaque cellule. Le nombre et la forme des chromosomes (caryotype) sont les mêmes dans toutes les cellules des individus de la même espèce (à l'exception des cellules sexuelles).

SEANCE1 : LES PRINCIPALES ETAPES DU DEVELOPPEMENT DE L'OEUF

OBJECTIFS

Citer les principales étapes aboutissant à l'édification d'un être vivant.

1- MULTIPLICATION CELLULAIRE DE L'OEUF : CAS SPECIFIQUE DE L'HOMME.**Activité : figure 1.1**

Les activités cellulaires qui permettent de passer du stade de cellule œuf au stade d'être organisé et original comprennent : la multiplication ou segmentation, les migrations, la différenciation et les assemblages (morphogenèse et organogenèse).

La cellule œuf issue de la fécondation chemine à travers l'oviducte vers l'utérus en se divisant : c'est la segmentation. Elle subit ainsi 4 divisions avant d'arriver dans l'utérus : on obtient une masse de 16 cellules filles ou blastomères dont l'ensemble rappelle une petite mure (morula).

3- LA MIGRATION CELLULAIRE.

Dans l'utérus, les divisions de la morula se poursuivent en même temps que la masse se creuse et les cellules se disposent de telle sorte qu'une cavité (blastocèle) apparaît au sein de la sphère (stade blastula) : c'est la migration cellulaire ; les cellules périphériques du blastocyste (trophoblastes ou **Le syncytiotrophoblaste**), plus petites formeront les organes annexes de l'embryon (amnios et placenta) alors que les autres, plus au centre et plus grosses forme le bouton embryonnaire (**Le cytotrophoblaste**), futur embryon.

3- LA DIFFERENCIATION ET LES ASSEMBLAGES.**Activité : figure 1.2**

Le blastocyste après 2 à 3 jours de vie libre s'implante dans la muqueuse utérine où son développement se poursuit : c'est la nidation. Au cours de la deuxième et de la troisième semaine, le bouton embryonnaire s'organise en trois feuillettes ou couches : l'ectoblaste couche externe, l'endoblaste couche interne et le mésoblaste couche intermédiaire (différenciation). La mise en place des organes (organogenèse) peut alors commencer. Elle correspond à l'assemblage des cellules différenciées en structures fonctionnelles.

L'endoblaste donnera les poumons, le tube digestif et ses organes annexes ;

Le mésoblaste donnera le squelette, les muscles, l'appareil circulatoire et l'appareil génital ;

L'ectoblaste formera la peau, les yeux et le système nerveux

Trois mois après la fécondation, l'embryon acquiert une apparence humaine (morphogénèse) et prend le nom de fœtus. La dernière partie de la vie intra-utérine correspond à une période de croissance accélérée au cours de laquelle le fœtus est strictement dépendant du placenta auquel il est relié par le cordon ombilical.

NB : La différenciation cellulaire correspond à une spécialisation c'est-à-dire l'acquisition d'une forme et d'une structure particulières en rapport avec une fonction donnée.

Les divers types cellulaires se différencient chacun à un endroit et un instant bien définis par un programme génétique commun à tous les individus de l'espèce considérée.

4- LA NECESSITE DES MATERIAUX D'EDIFICATION D'UN ORGANISME.

Activité : figure 1.3

a- Observation.

Des faux jumeaux humains sont aussi différents l'un de l'autre que s'ils étaient nés à la suite de deux grossesses distinctes. Il est pourtant évident dans ce cas que leur édification s'est faite à partir des mêmes matériaux de construction. Quels sont exactement ces matériaux ?

b- Expérience.

Pour étudier les échanges entre le sang maternel et le sang fœtal, on place des sondes permettant de faire des prélèvements sanguins (cathéters) : dans l'artère fémorale de mère et l'artère ombilicale du fœtus pour connaître la composition du sang artériel arrivant au placenta ; dans la veine utérine de la mère et de la veine ombilicale du fœtus pour connaître la composition du sang veineux quittant le placenta. Les résultats des analyses permettent de dresser le tableau suivant :

Il ressort de ce tableau que l'édification du fœtus se fait à partir des matériaux simples et peu diversifiés provenant de la mère à travers le placenta. Ce dernier se comporte vis-à-vis du fœtus à la fois comme un **rein**, un **intestin** et un **organe respiratoire**. Le glucose, les acides aminés, l'eau, les ions et les vitamines sont pour le fœtus des **sources de matière et d'énergie**.

NB : le placenta joue aussi le rôle de **glande endocrine**. En effet, il sécrète la **HCG** et la **progestérone** qui sont des hormones indispensables au maintien de la grossesse.

SEANCE 2 : LE MAINTIEN DES CARACTERISTIQUES DE CHAQUE ESPECE

Relever que l'édification d'un organisme est génétiquement programmée.

1) QU'EST-CE QUE "L'IDENTITE BIOLOGIQUE" DES ORGANISMES ?

OBSERVATION

Activité : fig.1.4

Bien que toutes les cellules œufs et les tous premiers stades de développement embryonnaires se ressemblent au point de se confondre, un lapin ne donne que les lapins, une grenouille les têtards, l'oursin la larve pluteus ...

On peut admettre que chaque cellule œuf contient un plan d'édification sous forme d'informations codées c'est-à-dire des instructions qui orientent le développement de l'individu à partir de la cellule œuf. C'est son programme génétique

a) EXPERIENCE DE TRANSPLANTATION DE NOYAU EMBRYONNAIRE.

Activité : fig.1.5

Dispositif expérimental.

Le protocole suivant résume les grandes étapes de l'expérience de clonage couramment pratiqué en élevage.

- prélèvement sur une vache "donneuse d'ovule" ou « vache pondeuse » d'un ovule non fécondé et on en retire le noyau ;
- prélèvement sur une vache "donneuse d'embryons" ou « vache donneuse » d'un embryon au début de son développement (stade 32 cellules) ;
- isolement des différentes cellules de l'embryon ;
- greffe du noyau de l'une des cellules de l'ovule énucléé ;
- réimplantation du nouvel embryon dans l'utérus d'une vache "porteuse".

Résultat. Après réimplantation, on obtient pour chaque embryon, un veau présentant les caractéristiques génétiques de la vache "donneuse d'embryons".

Compléter le tableau suivant si l'élevage a pour objectif la production de lait.

	<i>Vache pondeuse</i>	<i>Vache donneuse</i>	<i>Vache porteuse</i>
<i>Caractéristiques</i>			
<i>rôle</i>			

Interpréter le résultat obtenu.

Cette expérience prouve que le noyau est le siège du programme génétique. Ce programme génétique dirige la mise en place des caractères spécifiques et individuels. L'ensemble des caractères que manifeste un individu constitue son phénotype. On peut les envisager à l'échelle de l'organisme ou des cellules.

NB : Un clone est un ensemble d'individus génétiquement identiques issus d'une même cellule souche. Le clonage n'est possible que si les noyaux des cellules embryonnaires contiennent le même programme génétique.

2- IDENTITE BIOLOGIQUE AU NIVEAU DE L'ORGANISME.

Les individus d'une même espèce présentent des différences évidentes (taille, stature, couleur de la peau, des yeux, des cheveux, ...). Même les enfants d'un couple ne sont ni identiques entre eux, ni identiques à leurs parents ; chacun a son identité biologique c'est-à-dire ses caractères ou traits propres qui le distingue des autres.

On peut toutefois repérer chez les enfants d'un couple des caractères hérités de chacun des parents. Cet héritage s'explique par la transmission, par l'intermédiaire des cellules sexuelles, d'un certain nombre d'informations codées.

3- IDENTITE BIOLOGIQUE AU NIVEAU DES CELLULES.

Les différences entre individus d'une même espèce ne sont pas toujours évidentes, mais peuvent être mises en évidence expérimentalement

Expériences de greffe.

On peut chez l'homme, greffer un fragment de tissu vivant, de peau par exemple. Si dans un premier temps, le greffon est bien accepté, son évolution au bout d'une dizaine de jours dépendra du donneur et du receveur. On prélève un petit fragment de peau circulaire qui est replacé dans un trou de même diamètre pratiqué dans la peau du receveur. Le donneur est toujours le même individu.

<i>Le receveur est</i>	<i>Résultat</i>
<i>1) Le donneur lui-même : autogreffe ou greffe autologue.</i>	<i>Greffe acceptée</i>
<i>2) Le père, la mère, le frère ou la sœur du</i>	<i>Greffe rejetée au bout de 12 jours</i>

<i>donneur : homogreffe ou allogreffe.</i>	
<i>3) Un individu non apparenté au donneur : allogreffe ou greffe homologue.</i>	<i>Rejet de la greffe au bout de 10 jours</i>
<i>4) Un individu d'une autre espèce que le donneur : xénogreffe ou hétérogreffe.</i>	<i>Rejet encore plus rapide que pour une allogreffe</i>
<i>5) le vrai jumeau du donneur ou un individu de la même lignée (clone) : isogreffe.</i>	<i>Greffe acceptée.</i>

Sans traitement particulier, la greffe ne prend que si le donneur et le receveur sont génétiquement identiques (cas de l'autogreffe et de l'isogreffe).

Ce rejet de ce qui n'appartient pas à l'organisme (non soi) et l'acceptation de ce qui lui appartient (soi) suggèrent l'existence, au niveau même des cellules, des "marqueurs de l'identité" de chaque organisme. Ce sont les molécules du Complexe Majeur d'Histocompatibilité (CMH) appelé dans le cas particulier de l'homme système HLA (Human Leucocyte Antigens).

Des études récentes montrent que ces molécules sont très variées. En simplifiant beaucoup, on peut considérer six catégories de molécules HLA: HLA A (24 types), B (52 types), C (11 types), DP (6 types), DQ (9 types) et DR (46 types). Les chances pour que deux individus aient les mêmes molécules sont presque nulles.

Chaque individu possède donc une identité biologique originale au niveau de ses cellules et le cas particulier des jumeaux montre que cette identité biologique dépend du programme génétique.

Analyse des empreintes digitales.

TP : relever les empreintes génitales de vrais jumeaux d'une part, de deux frères ou sœurs d'autre part et faire une étude comparée.

En comparant les empreintes digitales des vrais jumeaux d'une part et des faux jumeaux ou des frères ou sœurs d'autre part, on remarque que les empreintes des vrais jumeaux sont identiques alors que celles des faux jumeaux sont différentes.

Ces résultats montrent que chaque individu est unique. Le cas particulier des vrais jumeaux montre que l'identité biologique d'un individu dépend d'un programme génétique original défini au moment de la fécondation.

Conclusion partielle

Chaque individu, à l'exception des vrais jumeaux, possède un programme génétique qui lui est propre (individuel) et qui définit son identité biologique.

4-Maintien des caractéristiques de chaque espèce

Activité : figure 1.6

L'identité biologique d'un individu est constituée par les caractères communs à tous les individus de l'espèce laquelle il appartient (caractères spécifiques) et par les caractères individuels, morphologiques et moléculaires originaux. L'identité d'un individu ne varie pas au cours de sa vie, alors que la plupart de ses cellules sont en constant renouvellement. Chaque individu appartient à une espèce donnée et chaque espèce est caractérisée par son caryotype. Le caryotype ou caryogramme est l'ensemble des chromosomes d'une cellule d'une espèce rangés par paire et par ordre décroissant de taille. Chaque espèce est caractérisée par son nombre de chromosome pairs et constant. Cependant, quelques rares espèces présentent le même nombre de chromosome et d'autres un nombre variable de chromosome (blé). La **garniture chromosomique** ou **formule chromosomique** est le nombre de chromosomes que l'on rencontre dans les cellules somatiques des individus d'une espèce donnée. Chez les espèces diploïdes, elle est notée $2n$ (avec n étant le nombre de paires de chromosomes).

Ex : chez le chat, $2n = 38$; chez l'Homme, $2n = 46$; chez la vache, $2n = 60$; chez le gorille, $2n = 48$; chez la drosophile, $2n = 8$; chez le maïs, $2n = 20$.

Exemple de situations 2 : Maintien de l'identité biologique des cellules au cours des mitoses

Catégorie d'actions2 : Sensibilisation sur la nécessité de la mitose pour le maintien de l'identité biologique dans les organismes

Action3 : Observer des cellules animale et végétale et leurs organites au microscope.

PROGRAMME VALIDE

MODULE I : LE MONDE VIVANT

FAMILLE DE SITUATION : Pérennité de l'identité biologique au sein des organismes vivants

EXEMPLE DE SITUATION N°1 : maintien de l'identité biologique des cellules au cours du renouvellement cellulaire

SITUATION DE VIE ENVISAGEABLE

Les enfants ressemblent plus ou moins à leurs parents ou à un aïeul (atavisme). Il s'agit parfois des caractères mal définis tel qu'un geste, une manière de sourire, de marcher,... Mais aussi, ce sont des caractères très précis tels que la couleur des yeux, la forme du menton, le groupe sanguin,...

Inversement, dans une famille, les enfants sont souvent très différents les uns des autres du point de vue de certains caractères, pourtant ils sont tous issus des mêmes parents. Toutes ces ressemblances et différences paraissent complexes. L'hérédité est la transmission des caractères des parents aux descendants. La science qui étudie l'hérédité est la génétique. Un caractère est tout aspect visible d'un être vivant. Chaque être vivant, dans le cas de la reproduction sexuée, est issue d'une cellule œuf, fruit de l'union des gamètes mâle et femelle (fécondation). Cette cellule porterait donc en elle "presque tous les caractères de cet être".

- Sous quelle forme ces caractères sont-ils portés dans la cellule œuf ?

- Comment se fait la transmission de ces caractères d'une cellule à l'autre et des parents aux descendants ?

1- Relevez le problème soulevé dans le texte

2- Dégager ces causes

3- Donner les conséquences de ce problème

4- Quelles sont les solutions à ces problèmes

CATEGORIE D'ACTION 1 : SENSIBILISER SUR LA NECESSITE DE LA MITOSE POUR LE MAINTIEN DE L'IDENTITE BILOGIQUE DES ORGANISMES

SEQUENCE I : IDENTITE BIOLOGIQUE DES ORGANISMES.

SEANCE 1 : L'ORGANISATION DE LA CELLULE.

Objectif : Décrire l'organisation et expliquer le fonctionnement de la cellule.

La microscopie permet de connaître l'organisation de la cellule. Il ressort des observations que malgré leurs diversités de forme et de structure, les cellules ont le même plan d'organisation.

1- La cellule en microscopie optique ou photonique (MO).

Activité: fig 1.7

Le microscope optique agrandit la cellule 10 à 2000 fois. Pour être observées, les différentes parties de la cellule peuvent être colorées par des réactifs spécifiques qui se fixent sur un type donné de molécule. Qu'il s'agisse de cellules animales ou végétales, on observe toujours : le noyau, siège de l'information génétique ; le cytoplasme, intérieur de la cellule comprenant le hyaloplasme ou cytosol (phase plus ou moins liquide comprise entre la membrane plasmique et les inclusions) et les organites à l'exception du noyau ; la membrane cytoplasmique ou cellulaire (ou plasmalemm) qui est une pellicule continue épaisse de 5 à 10 nm, délimitant le cytoplasme du milieu extracellulaire ; elle contrôle aussi toutes les échanges avec milieu

extracellulaire par diffusion (osmose ou dialyse), par endocytose (phagocytose ou pinocytose), par exocytose et enfin à travers les pores transmembranaires ;

On peut cependant relever les différences suivantes entre la cellule animale et la cellule végétale au microscope optique :

chez les végétaux, la membrane plasmique est revêtue extérieurement par une paroi pectocellulosique plus ou moins rigide, constituée fondamentalement de pectine (glucide) et de cellulose associée parfois à d'autres composées comme la lignine (bois) et la subérine (liège) ; elle joue un rôle essentiellement protecteur ;

Chez les plantes, la cellule contient des chloroplastes (dans les cellules chlorophylliennes) et des vacuoles (cavités remplies de liquide).

2- La cellule en microscopie électronique (ME).

Activité : fig 1.8 et Tableau 1.8

Le microscope électronique agrandit les objets 10000 à 400000 fois. De plus, les images obtenues sont de très bonne qualité.

Les observations au ME permettent de préciser la structure de la cellule.

.2.1- Les parties communes aux cellules animales et végétales.

La membrane plasmique.

Activité :fig 1.9

Elle correspond à une double couche de phospholipides dans laquelle sont enchâssées les protéines dites intrinsèques et du cholestérol. Ces molécules sont mobiles les unes par rapport aux autres, l'ensemble constituant une "mosaïque fluide".

Les membranes remplissent de multiples fonctions : contrôle des échanges avec le milieu extracellulaire ; exposition des "marqueurs de l'identité" à la surface de la cellule ; réception de signaux chimiques multiples circulant dans l'organisme ; délimitation des compartiments intracellulaires.

Le hyaloplasme (cytoplasme ou cytosol)

C'est une masse gélatineuse de viscosité variable dans laquelle baignent les organites cellulaires.

Rôles : - c'est le lieu où se déroulent diverses réactions du métabolisme (glycolyse, fermentation...)

- c'est le lieu où baignent les organites cellulaires et où circulent les nutriments après leur entrée dans la cellule

-assure l'humidité et la fonctionnalité de la cellule

Le noyau

Il est caractéristique de la cellule eucaryote. Il est délimité par une double membrane appelée **enveloppe nucléaire** percée de pores (**pores nucléaires**). Ces pores assurent les échanges entre le cytosol et le **nucléoplasme (ou nucléosol)**. A l'intérieur du nucléoplasme se trouvent des amas de **chromatine**, formée de filaments très long appelés **chromosomes**. On trouve aussi dans le nucléoplasme un ou plusieurs **nucléoles** (noyau du noyau ; site d'assemblage des ribosomes) constitué d'ARN.*L'ablation du noyau entraîne la mort de la cellule*

Rôle : abrite les chromosomes (support de l'information génétique chez le vivant) et contrôle toutes les activités cellulaires.

Les vacuoles

Le système vacuolaire (ou vacuome) est constitué des vacuoles. Ces derniers sont des organites en forme de cavité entourés par une membrane biologique (**tonoplaste**). Ces vacuoles sont réduites et peu développées chez la cellule animale alors que dans la cellule végétale, il existe une ou plusieurs grosses vacuoles occupant la quasi-totalité du cytoplasme.

L'**osmose** est le passage de l'eau du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré. En fonction de la concentration intracellulaire,

- La vacuole peut perdre de l'eau et avoir un aspect rétracté : on parle de **plasmolyse**

- La vacuole peut gagner de l'eau et avoir un aspect gonflé : on parle de **turgescence**

Rôles : -épuration de la cellule par destruction des particules. Ces particules peuvent appartenir à la cellule (on parle d'**autophagie**) ou bien venir de l'extérieur (on parle d'**hétérophagie**).

-régulation de la pression osmotique (échange d'eau entre la cellule et son milieu)

Le réticulum endoplasmique (RE).

Le réticulum endoplasmique est un réseau membranaire des cellules eucaryotes qui intervient dans le transport et la modification des protéines destinées à être sécrétées (anticorps, enzymes digestives,...).

Le RE est qualifié de rugueux (ergastoplasme ou RER) lorsqu'il est associé aux ribosomes où se déroule la synthèse des chaînes polypeptidiques destinées à entrer dans le RE.

Il est qualifié de lisse (REL) s'il n'est pas associé aux ribosomes. Il est alors le lieu de synthèse de nombreux composés lipidiques (phospholipides, cholestérol, hormones stéroïdes).

L'appareil de Golgi.

C'est l'ensemble des dictyosomes ou corps de Golgi de la cellule. Un dictyosome est un empilement de saccules dans lequel se fait la maturation des protéines.

Rôle :-c'est le lieu de maturation des protéines

-il concentre, conditionne et exporte les substances fabriquées au niveau du réticulum endoplasmique rugueux.

-il intervient également dans l'élaboration de la paroi cellulosique médiane lors de la mitose des cellules végétales, il forme par ailleurs l'acrosome des spermatozoïdes au cours de la spermiogénèse

Il joue aussi un rôle excréteur : les vésicules qui bourgeonnent sur sa face trans fusionnent avec la membrane plasmique et excrètent leur contenu dans le milieu extracellulaire. De la même manière, les vésicules issues du RE fusionnent avec les membranes du saccule (face cis).

Les lysosomes.

Ce sont des vésicules intra cytoplasmiques contenant des enzymes digestives (lysozymes). Ces vésicules sont nommées lysosomes I ; quand elles fusionnent avec une vacuole d'endocytose, la vacuole ainsi formée devient un lysosome II.

Les ribosomes.

Ce sont des structures intracellulaires, constituées de protéines et d'ARNr (Acides Ribonucléiques Ribosomiaux) qui forme le site d'assemblage des acides aminés en chaînes polypeptidiques, selon un ordre défini. Ce sont des véritables usines de fabrication des polypeptides.

La mitochondrie.

Activité : fig 1.10

C'est un organite formé par deux membranes dont l'interne est plissée et constitue les crêtes mitochondriales qui portent les sphères pédonculées (ensemble de protéines enzymatiques). L'espace central de la mitochondrie est la matrice dans laquelle se déroule le cycle de Krebs (série d'oxydations respiratoires).

Les mitochondries sont le lieu de fabrication de la majorité de l'ATP (Adénosine Triphosphate).

c- Les organites propres aux cellules animales.

i- Le centriole.

C'est un granule cylindrique situé près du noyau. Il existe toujours en paire et disposé perpendiculairement l'un par rapport à l'autre. L'ensemble forme le centrosome ou diplosome. Chaque centriole est formé de 9 triplets de microtubules.

Les centrioles sont à l'origine des cils et des flagelles. Ils permettent la division de la cellule en se transformant en asters. Ils sont donc assimilés à l'appareil cinétique de la cellule.

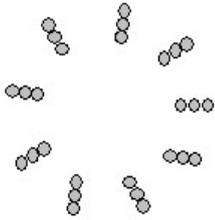


Figure 7 : Ultrastructure du centriole.

ii- Les réserves de glycogène.

Le glycogène est une molécule organique, polymère de glucose, de formule chimique $(C_6 H_{10} O_5)_n$. Le glycogène est la forme de réserve glucidique dans les tissus animaux (et exceptionnellement chez les champignons).

d- Organites propres aux cellules végétales.

i- Le tonoplaste ou vacuole.

Particulièrement développé chez les végétaux, c'est un compartiment cellulaire délimité par une membrane. Il contient diverses substances dissoutes et parfois des pigments qui donnent, par exemple, leur couleur aux pétales.

L'eau peut entrer ou sortir de la vacuole selon la concentration du milieu extracellulaire :

- si le milieu extracellulaire est plus concentré en soluté (milieu hypertonique) que la vacuole, celle-ci perd de l'eau et se rétracte : la cellule est dite alors plasmolysée ;
- si le milieu extracellulaire a une faible concentration en soluté (milieu hypotonique) par rapport à la vacuole, celle-ci se gorge d'eau et gonfle : la cellule est alors dite turgescente.

ii- Les chloroplastes.

Activité :fig 1.11

Structures exclusives aux cellules végétales photosynthétiques, les chloroplastes sont les usines de synthèse des substances organiques à partir de l'énergie lumineuse (dans le cas de la photosynthèse), de la matière minérale et en présence de la chlorophylle.

REMARQUE : Les plastes, d'une manière générale, désignent des organites cellulaires délimités par une membrane. Suivant leur composition et leur couleur :

- Les **amyloplast** : ils sont riches en amidon
- Les **oléoplast** : ils sont riches en lipides
- Les **protéoplast** : ils sont riches en protides
- les chromoplastes qui contiennent les caroténoïdes (jaunes

NB : Mitochondries, plaste et centriole sont des organites relativement autonomes : ils ont tous l'ADN (Acide Désoxyribonucléique) et sont dotés d'un pouvoir d'autoreproduction.

Action 4- Expliquer la nécessité de la réplication de l'ADN au cours du cycle cellulaire.

Séance 2: Structure et composition chimique des chromosomes

Objectifs : décrire la structure de chromosome

-relever que chaque chromosome contient une molécule d'ADN

Décrire la structure et le fonctionnement de l'ADN comme support biochimique de l'information génétique.

1- Structure d'un chromosome

Activité : figure 1.12

Les chromosomes sont des éléments permanents du noyau cellulaire qui servent de support au programme génétique. Ils sont visibles seulement au cours de la mitose et mieux individualisés à la **métaphase**. C'est donc à ce stade de la vie cellulaire que la structure du chromosome peut être aisément étudiée (*on bloque les cellules en métaphase à l'aide de la colchicine, un antimitotique qui inhibe la formation des fuseaux polaires*). Le chromosome métaphasique comporte est chacun deux chromatides réunis par un centromère (constriction primaire) délimitant deux bras d'inégale longueur : un bras court et un bras long. On rencontre les chromosomes uniquement dans le noyau cellulaire et dans certains organites tels que le chloroplaste et la mitochondrie (en très faible quantité).

2-composition chimique des chromosomes : l'ADN

Chaque chromosome est constitué de l'ADN et des **protéines** de type histones. Structure formée par l'assemblage d'histones sur laquelle s'enroule la molécule d'ADN est appelée nucléosome. Un nucléofilament ou fibre nucléosomique (ou chromatine) est un assemblage plus ou moins dense de nucléosomes. Chaque chromatide est formée d'un seul nucléofilament pelotonné.

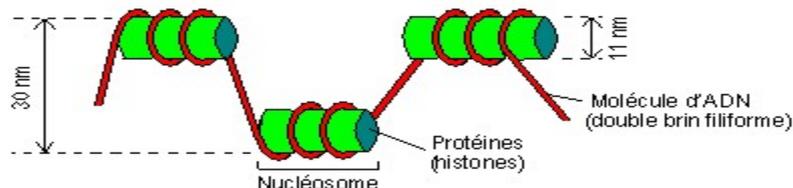


Figure : Chromatine ou nucléofilament.

TRAVAIL DEMANDE : Un chromosome de 10 μm de longueur contient une molécule d'ADN de 8 cm de long. Comment est-ce possible ?

3-Structure de l'ADN

Activité : 1.13

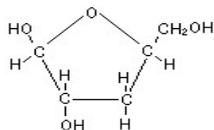
L'**Acide Désoxyribonucléique** (ADN) est une molécule formée de deux chaînes de nucléotides **complémentaires et inverses** (**chaînes antiparallèles**).

a) Composition chimique de l'ADN

L'hydrolyse enzymatique permet d'isoler les différents constituants de la macromolécule d'ADN

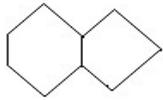
- de l'**acide phosphorique** H_3PO_4 : c'est un triacide ;
- un sucre en C5

(Pentose) : le **désoxyribose**, de formule chimique brute $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$



- quatre **bases azotées** différentes :

- * **Deux bases puriques** (noyau à deux cycles): l'adénine et la guanine
- * **Deux bases pyrimidiques** (noyau à un seul cycle) : la thymine et la cytosine



bases puriques

adénine et guanine



bases pyrimidiques

thymine et cytosine

L'unité de base de l'ADN est le **nucléotide**. Chaque nucléotide correspond à l'association d'un **sucres**, d'un **acide phosphorique** et d'une **base azotée**. Puisqu'il existe quatre bases azotées différentes, il existe aussi **quatre types de nucléotides**.

Exemple : l'adénosine monophosphate (A+D+P), le guanosinemonophosphate (G+D+P), la thymidine monophosphate (T+D+P), la cytidinemonophosphate (C+D+P).

NB : Un **nucléoside** est l'unité de la molécule d'ADN ou d'ARN constituée d'un **sucres** et d'une **base azotée**. Il existe plusieurs nucléosides distincts : l'**adénosine**, la **thymidine**, la **cytidine** et la **guanosine** et l'**uridine** (cas de l'ARN).

b) Représentation spatiale de l'ADN : fig1.13

En 1951, Chargaff démontre que dans une molécule d'ADN, il existe autant d'adénine que de thymine et

autant de cytosine que de guanine. On peut donc écrire : $\frac{A+G}{C+T} = 1$ A/T=C/G=1 (règle de Chargaff)

En 1953, Watson et Crick ont énoncé que l'ADN est formé de deux brins parallèles et enroulés sur eux-mêmes : on parle d'une **double hélice d'ADN**.

Distordue et mise à plat, la molécule aurait l'aspect d'une très longue échelle dont les **montants** sont formés par les **désoxyriboses** et les **acides phosphoriques** alors que les **barreaux** sont constitués de **paires de bases azotées complémentaires** associées par des liaisons de faible énergie (**liaison hydrogène**) :

- l'adénine toujours associée à la thymine par deux liaisons hydrogènes (A = T et T = A)
- la cytosine toujours associée à la guanine par trois liaisons hydrogènes (C = G et G = C)

Les deux brins de la double hélice d'ADN sont orientés en sens contraire : ils sont **antiparallèles**.

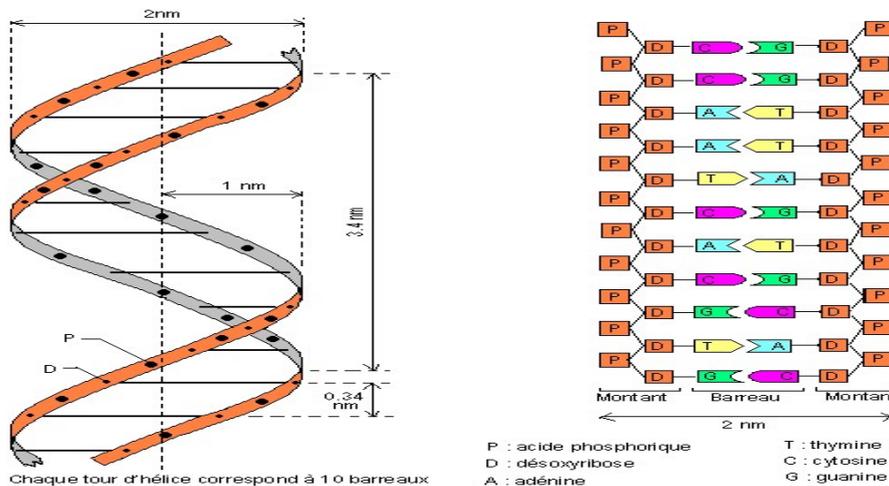


Figure : Représentation schématique d'une petite portion de la macromolécule d'ADN

NB : Bien que le rapport $\frac{A+G}{C+T} = 1$, le rapport $\frac{A+T}{C+G} \neq 1$ et dépend de l'espèce.

3 - Notion de gène

Un **gène** est une portion de l'ADN (séquence de nucléotides) qui commande l'expression d'un caractère héréditaire. Sa position sur le chromosome est appelée **locus**.

Les différentes formes ou versions d'un même gène telles que portées sur les chromosomes homologues sont les **allèles** de ce gène. L'ensemble des gènes d'un individu constitue son **génom**.

5- Réplication ou duplication de l'ADN

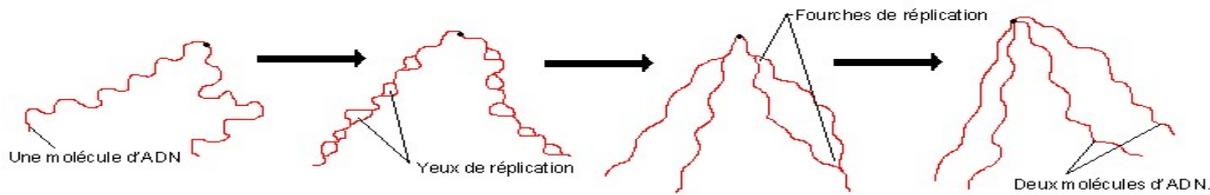
Activité : Figure1.14

Avant d'entrer en mitose, une cellule doit dédoubler son matériel génétique ; ceci afin que chaque cellule fille ait une copie conforme du matériel génétique de la cellule mère.

a) Un dédoublement de la quantité d'ADN en interphase

Chaque chromosome à une chromatide se « fabrique » une deuxième chromatide en interphase : on parle d'un **dédoublé** du matériel chromosomique. D'un point de vue génétique, ce phénomène entraîne le **dédoublé de la quantité d'ADN**.

Cette synthèse se déroule dans le noyau à un moment de l'**interphase** nommé **phase S** (S = Synthèse). Il se forme des points d'ouverture ou **yeux de réplication** le long de la molécule d'ADN. A chaque œil de réplication correspondent deux **fourches de réplication** qui progressent en sens inverse. Les yeux de réplication ainsi formés s'allongent de plus en plus. *Immédiatement avant la réplication, l'ADN est séparé des histones avec lesquelles il constitue la chaîne nucléosomique ; immédiatement, après la réplication, deux chaînes nucléosomiques filles se reconstituent.*



b) Une réplication semi conservative de l'ADN

Meselson et Stahl, grâce à leurs travaux sur la bactérie *Escherichia coli*, ont démontré que la réplication de l'ADN se fait selon un **modèle semi conservatif**. Les deux brins de la molécule d'ADN s'écartent par rupture des faibles liaisons reliant les bases grâce à l'ADN polymérase. Face à chacun des deux brins ainsi séparés, un brin nouveau est synthétisé par incorporation des nucléotides dispersés dans la cellule.

Par le jeu de la **complémentarité des bases**, la chaîne de nucléotides néoformée est identique à la chaîne mère et chaque molécule fille d'ADN est ainsi une réplique parfaite de la molécule mère : elle est constituée pour moitié d'un **brin ancien conservé** et pour moitié d'un **brin nouveau**, complémentaire du précédent (C'est pourquoi on parle d'une **semi conservation**). Au terme de cette synthèse, les deux chromatides possèdent exactement le même message génétique.

NB : La réplication de l'ADN est catalysée par un complexe enzymatique appelé **ADN polymérase** et nécessite les quatre types de nucléotides, (ATCG), de l'énergie(ATP), les ions magnésium

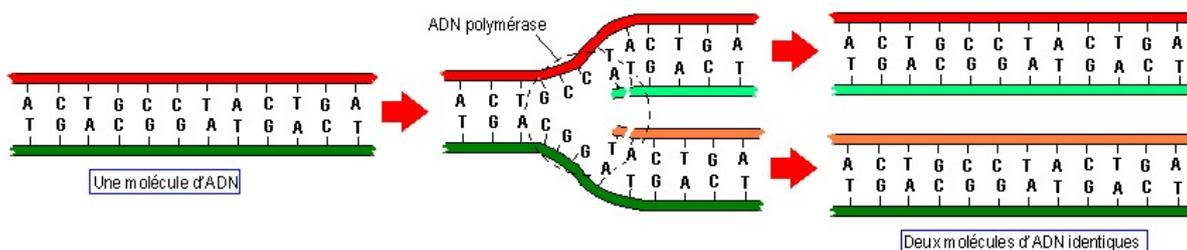


Figure : Réplication semi conservative de l'ADN

Remarque : au cours de la réplication, d'éventuelles erreurs peuvent subvenir : un emplacement d'un nucléotide par un autre, une addition de nucléotide, une perte d'un nucléotide ou d'un fragment de nucléotide. Ces accidents sont appelés mutations

6-L'ADN, support de l'information génétique

Activité

Le **pneumocoque** est une bactérie qui existe sous deux formes :

- Une souche **S** (Smooth = lisse) à **capsule virulente** et d'**aspect lisse**. Cette souche provoque une pneumonie mortelle chez la souris.
- Une souche **R** (Rough = rugueux) sans **capsule**, **inoffensive** et d'**aspect rugueux**.

a) Les expériences de Griffith (1928)

1ère expérience :

Griffith injecte à une souris les **bactéries S**. Cette dernière meurt de pneumonie et on retrouve les pneumocoques S dans son sang.

2ème expérience :

Griffith injecte les **pneumocoques R** à une souris. Elle ne présente aucun symptôme de pneumonie et les bactéries ne sont pas retrouvées dans son sang.

Conclusion : seule la **présence** de la capsule provoque la virulence du pneumocoque.

3ème expérience :

Griffith tue les formes S à la chaleur avant leur injection à une souris. Celle-ci survit et aucune bactérie n'est retrouvée dans son sang.

Conclusion : la chaleur en détruisant la capsule supprime la virulence.

4ème expérience :

Il mélange les bactéries S tuées aux bactéries R vivantes qu'il injecte à une souris. Celle-ci meurt de pneumonie et on retrouve des bactéries S vivantes dans son sang.

Conclusion : les pneumocoques R non virulentes ont été « **transformés** » en forme S virulentes. Griffith suggère que les bactéries S tuées ont fourni un facteur spécifique aux bactéries R, leur permettant de fabriquer la capsule : c'est le **facteur transformant**.

Quelle est la nature de ce facteur transformant ?

b) Les travaux de Avery et ses collaborateurs (1944)

Avery et ses collaborateurs extraient l'ADN des bactéries S qu'ils mélangent aux formes R. Le mélange, injecté à une souris, provoque une pneumonie mortelle.

Ils démontrent ainsi que le **facteur transformant** est l'ADN. Ce fut la première transformation héréditaire d'une souche bactérienne grâce à l'ADN extrait d'une autre souche.

c) Conclusion

L'ADN est le **support moléculaire** de l'information génétique chez tous les êtres vivants.

7- Le test d'ADN

Action 5 : Expliquer la nécessité de la mitose pour le maintien de l'identité biologique au sein des organismes.

SEANCE 7 : LA DIVISION CELLULAIRE OU MITOSE.

Objectif : Décrire la mitose et relever son rôle chez le vivant

La mitose est un processus continu qui a un triple objectif :

- permettre le passage de l'état unicellulaire (zygote) à l'état pluricellulaire (embryon) ;
- permettre ensuite le développement de l'embryon et la croissance du jeune enfant ;
- assurer le renouvellement des cellules qui meurent chez l'adulte.

Une cellule qui n'est pas en division est dite quiescente (au repos). Elle alors en interphase : le noyau, bien délimité, contient un réseau de fibres (chromatine) et un ou plusieurs nucléoles.

Lorsqu'elle entre en division, on peut distinguer nettement quatre phases : la prophase, la métaphase, l'anaphase et la télophase.

Quel est le mécanisme exact d'une mitose ?

1-Les différentes étapes de la mitose ou division cellulaire (animale et végétale)

Activité: fig 1.15

1-1- LA PROPHASE.

Elle dure 14 à 60 minutes et se caractérise par les événements suivants :

- la chromatine s'organise en filaments nets, épais et colorables appelés chromosomes très enchevêtrés ; le (ou les) nucléole(s) disparaît (ou disparaissent) progressivement ;
- au milieu de cette phase, chaque chromosome se fissure en deux unités appelées chromatides réunies par un centromère ;
- l'enveloppe nucléaire disparaît et le contenu du noyau se mélange à celui du cytoplasme ;
- le centrosome se transforme en asters qui regagnent les deux pôles opposés de la cellule ; il apparaît un réseau de fibres appelées fibres achromatiques ou fibres polaires qui joignent les deux asters ;
- à la fin de la prophase apparaissent d'autres microtubules perpendiculaires aux chromosomes appelés fibres chromosomiques qui rattachent chaque centromère aux deux pôles du fuseau.

1-2- LA METAPHASE.

Elle est très brève (dure quelques minutes seulement). Les fibres chromosomiques se développent pour atteindre les pôles ; les chromosomes s'immobilisent, se disposent dans un plan médian à la cellule, formant ainsi une image dite plaque équatoriale.

1-3- L'ANAPHASE.

Elle dure 2 à 3 minutes. Le centromère se divise et libère les deux chromatides : on parle d'un clivage du centromère. Les chromatides appelés désormais chromosomes fils s'éloignent l'un de l'autre en direction des pôles grâce à une rétractation du fuseau de division (les fibres chromosomiques sont ainsi qualifiés de fibres tractrices).

L'anaphase est donc caractérisée par l'ascension polaire de deux lots de chromosomes.

1-4- LA TELOPHASE.

Elle dure 15 à 60 minutes. C'est une prophase à l'inverse :

- les chromosomes se désindividualisent par désérialisation des chromatides ;
- le fuseau de division disparaît ;
- la membrane nucléaire et le (ou les) nucléoles se reconstituent ;
- le cytoplasme se répartit en deux masses à peu près égales par formation d'une membrane au niveau équatorial, se divisant ainsi en deux : on parle de cytotéiérèse.

On aboutit à la fin à deux cellules filles ayant le même nombre de chromosomes que la cellule mère de départ.

*Les importances de la mitose

La mitose assure :

- la formation des différents tissus chez les embryons d'animaux
- l'allongement des tiges et des racines chez les végétaux
- le renouvellement cellulaire chez les êtres vivants : cicatrisation des plaies, renouvellement de l'épiderme...
- la reproduction conforme de l'information génétique

C'est donc grâce à la mitose que les individus survivent

REMARQUE :

- 1- Certaines cellules ne se divisent jamais : c'est le cas des neurones, des hématies et des myofibrilles.
- 2- L'ensemble interphase + mitose constitue un cycle cellulaire.

2- Notion de cycle cellulaire et variations de la quantité d'ADN au cours d'un cycle cellulaire :

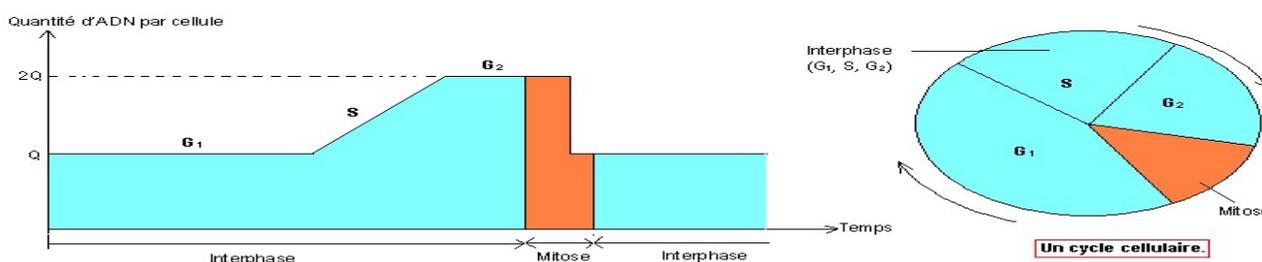
Activité : fig 1.16

La vie cellulaire est une alternance d'interphases et de mitoses. Une interphase (cette phase prépare la mitose) et la mitose qui la suit directement constituent un **cycle cellulaire**.

Un cycle cellulaire comprend donc quatre phases :

- la **phase G₁** (G = gap of time ou intervalle de temps) correspondant à une **1^{ère} phase de croissance** de la cellule ;
- la **phase S** (S = synthèse) au cours de laquelle la cellule **double** son stock d'ADN (**et non de chromosomes !**)
- la **phase G₂** pendant laquelle la **croissance se poursuit** ;
- la **phase M** représentant la **mitose**.

La durée totale du cycle cellulaire varie selon les espèces. La **phase M est toujours la plus courte** (1 à 3 heures) ; les autres durent plus longtemps, un cycle complet se déroulant sur 15 à 20 heures.



Pendant la sous phase S de l'interphase, la quantité d'ADN double dans le noyau interphasique. On passe alors de Q à 2 Q quantité d'ADN. Ceci est l'œuvre de la **réplication** (duplication ou dédoublement) de l'ADN ; on passe des chromosomes à une seule chromatide aux chromosomes à deux chromatides.

Pendant l'anaphase de la mitose, la quantité d'ADN revient à sa valeur normale. Ceci est l'œuvre de la séparation des chromatides sœurs et de la migration de chaque chromatides vers un pôle de la cellule (ascension polaire). On passe des chromosomes à deux chromatides aux chromosomes à une seule chromatides.

3- LE RENOUVELLEMENT DES CELLULES D'UN ORGANISME.

Activité: fig 1.17 et 1.18

Chez les mammifères, la plupart des types cellulaires sont soumises à un renouvellement permanent, chez le jeune et chez l'adulte.

Dans la peau humaine par exemple, une cellule épidermique (kératinocyte) de forme cubique naît dans la couche basale de l'épiderme. Elle est repoussée vers la surface par les cellules formées après elle. Au cours de ce cheminement, elle produit des protéines spécialisées (kératines) et se différencie. Sa structure finale est très aplatie. Devenue une cellule cornée morte, elle desquame. La durée de vie d'une cellule épidermique varie entre 2 et 4 semaines.

De même, l'organisme humain fabrique toutes ses cellules sanguines à partir des cellules souches hématopoïétiques pluripotentes localisées chez l'adulte dans la moelle rouge des os. Il naît plus de 2 millions de globules rouges par secondes, entre 3 et 10 milliards de plaquettes sanguines par heure. Les globules blancs ont des vitesses de renouvellement très variables.

D'une manière générale, la plupart des cellules sont renouvelées ; mais à des vitesses différentes selon le type cellulaire considéré. La mitose est le seul processus par lequel ce renouvellement est assuré.

NB : Les cellules non renouvelables comme les neurones sont incapables d'entrer en mitose. Elles ne cancérisent pas.

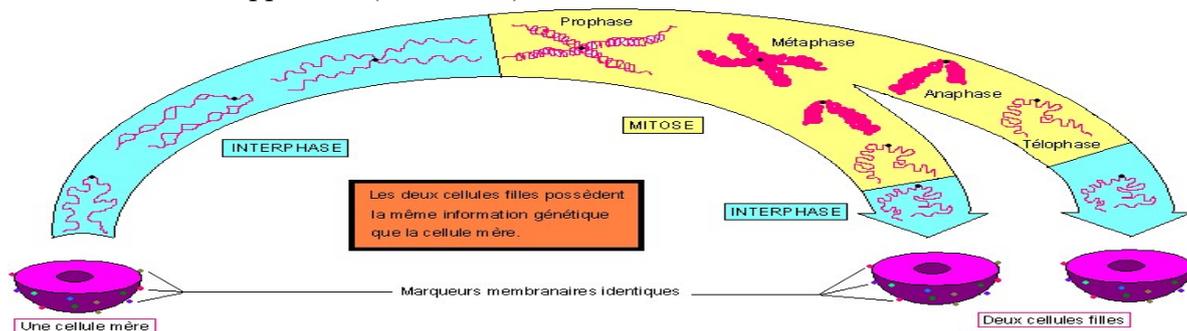
4- CONSERVATION DE L'INFORMATION GENETIQUE DES CELLULES ISSUES DE LA MITOSE ET MAINTIEN DE L'IDENTITE BIOLOGIQUE D'UN ORGANISME.

Chaque cellule porte un ensemble d'informations génétiques dont le support est l'ensemble des chromosomes de cette cellule. Ces informations sont transmises intégralement et fidèlement de la cellule mère aux cellules filles au cours de la mitose. Cette transmission est assurée par deux événements fondamentaux et complémentaires :

- un dédoublement ou duplication du matériel chromosomique (et donc du programme génétique) durant l'interphase : chaque cellule contient ainsi au début de la mitose un lot ($2n$) de chromosomes à deux chromatides chacun ;

- un partage égalitaire en anaphase : chaque cellule fille reçoit un programme génétique complet sous la forme d'un lot ($2n$) de chromosomes à une chromatide chacun.

Ainsi sont assurés la conservation de l'information génétique et le maintien de l'identité biologique au cours du développement (croissance) et du renouvellement cellulaire.



- Evolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire.

La vie cellulaire est une alternance d'interphases et de mitoses. Une interphase et la mitose qui la suit directement constituent un cycle cellulaire.

Les dosages de la quantité d'ADN présent dans une cellule montre que cette quantité double au cours de l'interphase. Cette phase de synthèse d'ADN est appelée phase S.

Un cycle cellulaire comprend donc quatre phases :

- la phase G₁ (G = gap of time ou intervalle de temps) correspondant à une 1^{ère} phase de croissance de la cellule ;
- la phase S (S = synthèse) au cours de laquelle la cellule double son stock d'ADN (et non de chromosomes !)
- la phase G₂ pendant laquelle la croissance se poursuit ;
- la phase M représentant la mitose.

La durée totale du cycle cellulaire varie selon les espèces. La phase M est toujours la plus courte (1 à 3 heures) ; les autres durent plus longtemps, un cycle complet se déroulant sur 15 à 20 heures.

CONCLUSION GENERALE

L'édification d'un être organisé et original à partir d'une cellule œuf est sous la dépendance d'un programme génétique hérité des deux parents. Ce programme préside en effet à la mise en place des différentes cellules et gouverne l'identité chimique des cellules. C'est cette identité qui fait l'originalité d'un individu au sein d'une espèce. L'identité est fidèlement conservée au cours des mitoses ; aussi bien celles qui assurent la croissance et le développement de l'individu à partir de la cellule œuf que celles qui permettent le renouvellement cellulaire.

Le programme génétique est porté par les chromosomes du noyau et plus précisément par l'ADN. Il se transmet intégralement lors de chaque mitose.

L'ADN, support universel de l'information génétique chez les êtres vivants, est formé de deux chaînes (ou brins) polynucléotidiques associées par des liaisons de faible énergie établies entre les bases azotées complémentaires (A=T ou T=A, C≡G ou G≡C) et enroulées en double hélice (Watson et Crick, 1953). L'information génétique qu'il porte est dupliquée en interphase, duplication assurée par un mécanisme de réplication semi conservative de l'ADN parent.

En fin de compte, les propriétés de l'ADN sont liées à sa structure :
le codage de l'information génétique réside dans sa séquence de nucléotides ;
la duplication de l'information génétique est fondée sur la complémentarité de bases.

Si le renouvellement des cellules se fait par des mitoses, comment se fait le renouvellement des molécules au sein même d'une cellule ?

EEMPLE DE SITUATION N°2 : Maintien de l'équilibre dynamique des molécules constitutives des cellules

CATEGORIE D'ACTION : Sensibilisation sur la permanence du renouvellement moléculaire des cellules

**Action 1- Expliquer le maintien de l'équilibre dynamique des molécules constitutives des cellules.
- Expliquer l'origine des molécules nécessaires au renouvellement**

SEQUENCE II : LE RENOUVELLEMENT MOLECULAIRE ET LE CODE GENETIQUE

OBJECTIFS ET INTRODUCTION

Les molécules organiques constituant la matière vivante sont soumises à un renouvellement permanent : à quelle vitesse se fait ce renouvellement ?

Parmi ces molécules, les protéines jouent des rôles biologiques fondamentaux. Existe-t-il un lien entre la structure d'une protéine et sa fonction biologique ?

Sous quelle forme les informations nécessaires à l'assemblage d'une protéine sont-elles "inscrites" dans le matériel génétique de la cellule ?

Comment la cellule utilise-t-elle ces informations pour édifier les séquences "correctes" d'acides aminés ? Le renouvellement biologique désigne le remplacement de molécules par de nouvelles molécules identiques (dans ce cas on parle de renouvellement moléculaire) ou de cellules mortes par de nouvelles cellules (dans ce cas on parle de renouvellement cellulaire).

Dans une cellule en équilibre, la plupart des espèces chimiques sont dégradées et synthétisées en permanence (excepté l'ADN qui reste le même dans une cellule jusqu'à sa mort).

SEANCE 1 : le renouvellement permanent des molécules des cellules

**Objectifs : -décrire le renouvellement permanent des molécules constitutives des cellules
- Déterminer la nature, les propriétés et la structure des molécules organiques**

La plupart des cellules d'un organisme sont renouvelées en permanence, les cellules mortes étant remplacées par de nouvelles cellules qui proviennent de la prolifération des cellules souches. De même, durant sa vie, la cellule renouvelle de façon incessante l'ensemble de ses constituants organiques.

De quels constituants s'agit-il ?

Quel est le mécanisme exact de ce renouvellement ?

Tous les constituants organiques de la cellule sont renouvelés naturellement à des vitesses et à des taux qui diffèrent selon le type de molécule. Il y a constamment destruction et reconstruction des molécules.

1- MISE EN EVIDENCE DU RENOUVELLEMENT PROTEIQUE CHEZ LES CELLULES.

1.1- Observations.

Un adulte en bonne santé perd chaque jour 5 à 7 g d'azote sous forme d'urée (protéine), éliminée dans les urines. Cette urée provient du catabolisme (réaction de dégradation) des protéines.

La masse des protéines restant stable, malgré ces pertes, la quantité détruite serait donc totalement remplacée par l'anabolisme (réaction de synthèse) de nouvelles protéines à partir des acides aminés.

1.2 – Expérience.

Pour évaluer la durée de vie d'une protéine, on introduit dans l'organisme une faible quantité d'acides aminés "marqués" au carbone 14 par exemple. Ces acides aminés sont incorporés aux protéines synthétisées et ces dernières deviennent repérables par leur radioactivité.

Le graphique suivant montre l'évolution de la radioactivité des protéines en fonction du temps. (Voir graphe de la figure 1 page 6)

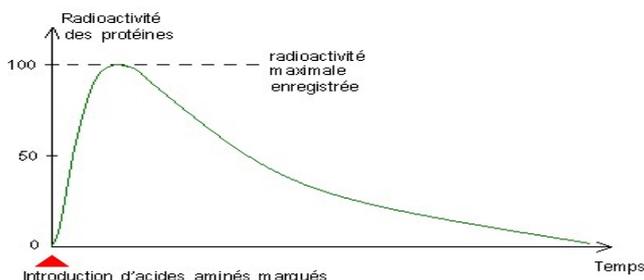


Figure 1 : Evolution de la radioactivité des protéines en fonction du temps.

1.3 – Interprétation et conclusion.

La décroissance de la courbe montre une destruction progressive des protéines marquées.

La vitesse de renouvellement d'une protéine (ou "turn-over") qui correspond en même temps à la vitesse de dégradation est définie par la demie – vie des molécules c'est-à-dire le temps nécessaire pour que la moitié des molécules formées à un moment donné soit détruite (ou encore le temps au bout duquel la radioactivité est réduite de moitié)

TRAVAIL DEMANDE : Repérer sur le graphe précédent la demie – vie des protéines étudiées.

Globalement, chez un homme adulte en bonne santé, le "turn-over" protéique correspond chaque jour à 1 – 2 % des protéines corporelles totales.

NB : La vitesse de renouvellement des autres molécules (glucides et lipides) est également déterminée en marquant ces molécules ou leurs précurseurs par les isotopes radioactifs.

2- LES MOLECULES ORGANIQUES DES CELLULES: STRUCTURE ET MISE EN EVIDENCE.

En dehors des constituants minéraux, trois groupes de substances organiques entrent dans la composition chimique des êtres vivants : les glucides, les lipides et les protides.

2.1 – LES GLUCIDES OU SUCRES.

Ce sont des hydrates de carbone de formule générale $C_x (H_2O)_y$. Ils sont donc formés des éléments chimiques carbone, hydrogène et oxygène : ce sont des corps ternaires.

On distingue trois familles de glucides suivant la complexité des molécules :

2.1.1– Les oses ou sucres simples.

Les plus courants sont les hexoses qui sont des sucres de formule brute $C_6H_{12}O_6$ (sucres en C_6)

Exemple : glucose, fructose, galactose,...

2.1.2– Les diosides ou diholosides.

Ce sont des sucres formés par l'assemblage de deux molécules d'oses. Leur formule chimique brute est $C_{12}H_{22}O_{11}$. Les plus courants sont :

- le saccharose (glucose + fructose) ;
- le maltose (glucose + glucose) ;
- le lactose (glucose + galactose).

2.1.3 – Les polyosides ou polyholosides.

Ce sont les polymères d'oses de formule générale $(C_6H_{10}O_5)_n$.

- Exemples :
- le glycogène ou amidon animal (chez les animaux) ;
 - l'amidon, la cellulose (chez les végétaux).

2.2 – LES LIPIDES OU CORPS GRAS.

Ce sont des molécules de structure variée formée par le carbone, l'hydrogène et un peu d'oxygène (corps ternaires).

Tous les lipides se caractérisent par une extrémité hydrophobe et une extrémité hydrophile qui définissent leur orientation par rapport aux molécules d'eau.

Les lipides ne sont solubles que dans les solvants organiques (éther, acétone, chloroforme, benzène,...).

Ils regroupent :

2.2.1 – Les glycérides.

Ce sont des esters (produit de l'action d'un acide sur un alcool) du glycérol. Puisque cet alcool (glycérol) possède trois fonctions estérifiables, on peut avoir des monoglycérides (une seule fonction alcool estérifiée), des diglycérides (deux fonctions alcools estérifiées) et des triglycérides. (Toutes les trois fonctions alcools sont estérifiées).

TRAVAIL DEMANDE : Le glycérol est un trialcool de formule chimique $CH_2OH-CHOH-CH_2OH$. Sachant qu'un alcool a pour formule générale $R-COOH$ (avec R = radical variable) ; écrire les équations des réactions chimiques qui sont à l'origine d'un mono-, d'un di- et d'un triglycéride.

Exemples : le tri oléine (formé à base de l'acide oléique $C_{17}H_{33}COOH$) ; la stéarine, les phospholipides.

2.2.2 – Les stérides.

Ce sont des esters du cholestérol (molécule polycyclique à 26 atomes de carbone).

Exemples :

- les précurseurs des acides biliaires dans le foie ;
- les précurseurs des hormones stéroïdes de la surrénale (glucocorticoïdes, minéralocorticoïdes).

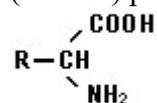
2.3 – LES PROTIDES.

Ce sont des molécules contenant du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote (corps quaternaires). A ces éléments, peuvent s'ajouter le phosphore et le soufre.

Les protides comprennent :

2.3.1 – Les acides aminés.

Ce sont des molécules possédant une fonction amine (NH_2) et une fonction acide carboxylique ($COOH$) portées par le même carbone. Leur formule générale est



avec R = radical ou chaîne latérale.

Il existe vingt radicaux différents définissant vingt acides aminés différents.

TRAVAIL DEMANDE : Pour chaque acide aminé, préciser son radical R

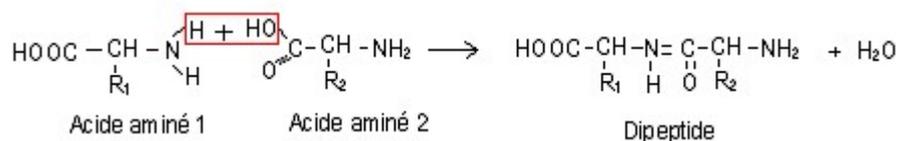
Exemples :

Acide aminé	Formule	Radical
Alanine	$\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{COOH}$	
Acide glutamique	$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\underset{\text{COOH}}{\overset{\text{NH}_2}{\text{CH}}}$	
Lysine	$\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{NH}}{\text{C}}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{COOH}}{\overset{\text{NH}_2}{\text{CH}}}$	
Phénylalanine	$\text{O}=\underset{\text{NH}_2}{\text{C}}-\text{CH}_2-\underset{\text{COOH}}{\overset{\text{NH}_2}{\text{CH}}}$	
Tyrosine	$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\underset{\text{COOH}}{\overset{\text{NH}_2}{\text{CH}}}$	
Glycine	$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{NH}_2$	

2.3.2 – Les peptides.

Ce sont de chaînes de quelques acides aminés jusqu'à une vingtaine, reliés entre eux par une liaison peptidique (liaison entre deux acides aminés).

Exemples : Les dipeptides (deux acides aminés).



TRAVAIL DE MANDE : Repérer la liaison peptidique par la couleur rouge. Combien de molécules d'eau obtiendra-t-on dans le cas de la formation d'un décapeptide (10 acides aminés) ?

2.3.3 – Les protéines.

Ce sont les polymères d'acides aminés formés d'une chaîne de plus de cinquante acides aminés ou de plusieurs chaînes polypeptidiques. Chaque protéine se distingue des autres par :

- la séquence de ses acides aminés (le nombre et l'ordre d'assemblage des acides aminés constitutifs) ; elle est définie par la séquence des nucléotides dans la molécule d'ADN ;
- sa configuration tridimensionnelle (sa forme spatiale) ;
- sa fonction dans l'organisme : enzyme, soutien (collagène), mouvements (actine et myosine), transport (albumine), communication (hormones), défense (anticorps), ...

2.4 – MISE EN EVIDENCE DES CONSTITUANTS ORGANIQUES.

2.4.1 – Mise en évidence des glucides.

Activitéfig 2.1

Test de Fehling.

La liqueur de Fehling contient des ions cuivriques bleus solubles (Cu^{2+}) qui, à chaud, sont réduits (ou précipités) en ions cuivreux (Cu^+), insolubles, par certains glucides qualifiés de sucres réducteurs

Exemples : glucose, galactose, maltose, lactose, ... sauf le saccharose.

Activitéfig2.2

L'eau iodée colore l'amidon en **bleu violacé** et le glycogène en **brun acajou**. La réaction se fait à froid.

NB : Les **dextrines** (petits polysides résultant de la digestion partielle des molécules d'amidon) sont colorées en **rouge** plus ou moins intense par l'eau iodée.

2.4.2 – Mise en évidence des lipides.

Les réactifs spécifiques des lipides sont :

le rouge soudan qui les colore en rouge ; l'acide osmique qui les colore en noir.

Les lipides laissent sur le papier une tache translucide et indélébile.

Les lipides forment avec l'eau une émulsion instable et avec une solution de soude, une émulsion stable.

2.4.3 – Mise en évidence des protides.

Test à la ninhydrine.

La ninhydrine colore les protéines et les acides aminés.

Test du biuret. Test N° 1

C'est un test caractéristique des liaisons peptidiques. Le test est donc négatif avec les acides aminés isolés.

fig 2.3

Réaction xanthoprotéique. Test N° 2

Elle met en évidence les acides aminés dont la chaîne latérale (radical) est constitué par un noyau benzénique. Il s'agit de la tyrosine, du tryptophane et de la phénylalanine.

3- ORIGINE DES MOLECULES NECESSAIRES AU RENOUVELLEMENT.

Les molécules nécessaires au renouvellement ont une double origine :

- une partie est fournie par les aliments ;
- l'autre partie provient du recyclage des anciennes molécules.

3.1 – Des apports alimentaires.

Les nutriments absorbés à travers la paroi intestinale à l'issue de la digestion sont des molécules relativement peu variées : eau, ions minéraux, oses, acides aminés, acides gras, vitamines, ... Certains nutriments sont oxydés au cours de la respiration et de la fermentation pour libérer de l'énergie : ce sont les nutriments glucidiques et lipidiques (rôle énergétique).

D'autres ont un rôle bâtisseur et permettent à l'organisme de construire sa propre matière : c'est le cas des acides aminés à partir desquels seront fabriquées les protéines.

Certaines molécules, pourtant nécessaires au renouvellement, ne sont pas obligatoirement indispensables dans l'alimentation. C'est le cas de certains acides aminés. En effet, il a été démontré expérimentalement que le rat pouvait synthétiser 10 des 20 acides aminés entrant dans la construction des protéines.

Les 10 autres doivent obligatoirement être fournis à l'organisme par des apports alimentaires : ce sont des acides aminés indispensables (que l'organisme ne peut synthétiser). Le tableau suivant (page 7) dresse la liste des acides aminés indispensables chez le rat d'une part et chez l'homme d'autre part :

Remarque : Il a été également démontré que l'alimentation doit apporter certains acides gras indispensables ; précurseurs des lipides.

Rat	homme
Valine	Valine
Leucine	leucine
Isoleucine	isoleucine
Phénylalanine	Phénylalanine
Tryptophane	Tryptophane
Histidine	-
Thréonine	Thréonine
Arginine	-
Lysine	Lysine
Méthionine	Méthionine

3.2- Un recyclage permanent.

C'est surtout le cas des protéines. Chez l'homme, les études quantitatives réalisées en utilisant les acides aminés marqués à l'azote 15 ont donné les résultats suivants : l'hydrolyse des protéines libère 25 à 35 g d'azote chaque jour ; 5 à 7 g d'azote seulement sont éliminés chaque jour dans les urines.

On admet donc que les acides aminés libres provenant de l'hydrolyse des protéines cellulaires ne sont pas totalement oxydés puis éliminés hors de l'organisme ; une bonne partie de ces acides aminés est "recyclée" c'est-à-dire à nouveau utilisée pour synthétiser les protéines. Seuls les acides aminés éliminés doivent être remplacés par un apport alimentaire équivalent

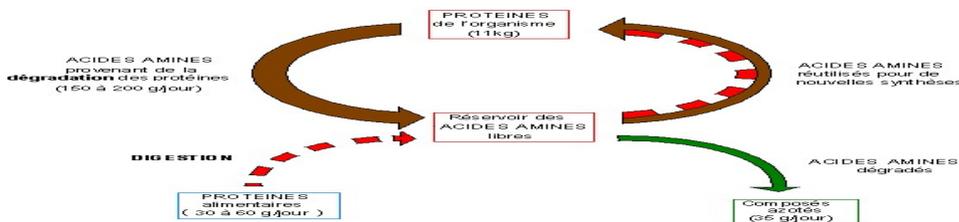


Figure 2 : Le renouvellement (ou turn-over) des protéines et des acides aminés chez l'homme.

4- LE RENOUVELLEMENT MOLECULAIRE EST SOUS LA DEPENDANCE DES PROTEINES ENZYMATIQUES.

Comme toutes les autres réactions chimiques de l'organisme, le renouvellement moléculaire est catalysé par les enzymes. Or toutes les enzymes sont des protéines dont les propriétés dépendent de la séquence de leurs acides aminés. Ainsi, pour un renouvellement moléculaire correct, il faut que les synthèses des différentes enzymes soient elles-mêmes correctes : il faut que les différents acides aminés constitutifs soient assemblés suivant une séquence précise.

Cette séquence des acides aminés d'une protéine est imposée par les informations génétiques codées dans les molécules d'ADN.

Action 2 : Utiliser le code génétique

SEANCE 2 : LA BIOSYNTHESE DES PROTEINES.

Objectifs :- Expliquer le mécanisme de la biosynthèse des protéines ;
 -expliquer le code génétique ;
 -expliquer le devenir des protéines synthétisées

Une protéine est une macromolécule constituée d'un enchaînement d'acides aminés. Comme il existe 20 acides aminés différents, la diversité des protéines pouvant être synthétisées serait indéfinie si l'agencement de ces acides aminés était hasardeux. Mais dans les systèmes biologiques, l'agencement des acides aminés lors de la biosynthèse des protéines se fait selon un « code » imposé par l'**information génétique** contenue dans l'ADN. La biosynthèse d'une chaîne polypeptidique fait intervenir systématiquement deux mécanismes successifs :

- **La transcription** de segments d'ADN en molécules d'ARNm
- **La traduction** de l'ARNm en polypeptide

1-La transcription

Activité: fig 2.4 et 2.5

1.1-Définition

La transcription est la synthèse des ARN à partir de l'ADN. Elle se déroule dans le noyau chez les cellules eucaryotes et nécessite la présence d'une enzyme appelée ARN polymérase ou transcriptase, des nucléotides

libres(A,U,C,G), et de l'énergie sous forme d'ATP. L'unique brin de la molécule d'ADN servant de matrice à la synthèse de l'ARN est le brin transcrit ou brin non codant *ou brin informatif ou brin 3'-5'*. Le brin complémentaire (*situé en face du brin transcrit*) de ce brin est le brin codant ou brin non transcrit ou brin 5'-3'. La transcription débute en une région de l'ADN appelée **Promoteur** (*site promoteur*).

1.2-Mécanisme de la transcription

Lors de la transcription la molécule d'ADN se dégrade (ouverture d'un œil) localement au niveau des gènes par rupture des liaisons hydrogènes entre les bases complémentaires des deux brins, ce qui entraîne l'ouverture des deux brins ; ensuite, l'ARN polymérase rassemble les nucléotides libres(nucléotides précurseurs : A,U,C,G) en chaîne polypeptidique constituant la molécule l'ARNm et selon un système de complémentarité de base avec le brin transcrit de l'ADN.

Au cours de la transcription il y'a synthèse de trois types d'ARN

-l'ARNm(polymérase II) : C'est la copie d'un brin de l'ADN (appelé **brin transcrit** ou **brin non codant**). Il transporte le message contenu dans l'ADN du noyau jusqu'au cytoplasme où ce message va permettre l'assemblage des acides aminés en chaîne polypeptidique ;

-l'ARNr(polymérase I) :Ce sont des regroupements de près de 4500 nucléotides qui s'associent aux **protéines non histones** pour former les ribosomes, lesquels vont « traduire » le message de l'ARNm en assemblant lesacides aminés pour former la protéine indiquée;

-l'ARNt (polymérase III):Ce sont de petites molécules formées de 70 à 80 nucléotides qui forment un monofilament torsadé.

Ils ont chacun une affinité avec un acide aminé précis qu'il est chargé de capter et de transférer au lieu de synthèse de la protéine (cytoplasme).



Figure 5 : Représentation schématique d'un ARNt

L'ARN polymérase joue un rôle essentiel :

-elle reconnaît des signaux de début et de la fin de transcription qui délimitent le gène

-elle lit le brin du gène ou brin transcrit base après base

-elle utilise le principe de complémentarité des bases pour assembler les nucléotides de l'ARN.

Remarque : le brin d'ADN non transcrit ou brin codant présente une séquence de nucléotides qui ne diffère de celle de l'ARNm de la thymine en lieu et place de l'uracile.

NB : Contrairement aux Procaryotes, on n'obtient pas directement un ARNm chez les Eucaryotes. En effet le gène des Eucaryotes est **morcelé**, c'est-à-dire qu'il contient des **portions codantes (exons)** et les **portions non codantes (introns)**. A la fin de la transcription, on obtient un **ARN pré-messager (ARNpm)** qui va subir un processus de **maturation (épissage)** pour donner l'ARNm proprement dit. Au cours de cet épissage, les introns sont éliminés (**excision**) et les exons sont accolés bout à bout pour former le **cistron (ARNm)**.

La transcription s'achève au niveau **du site de terminaison ou site de libération**.

Ainsi, l'ARN synthétisé migre hors de l'ADN puis du noyau par l'un des **pores nucléaires** et s'installe dans le cytoplasme où la traduction (translation) aura lieu et la molécule d'ADN ayant dirigé la synthèse se reconstitue.

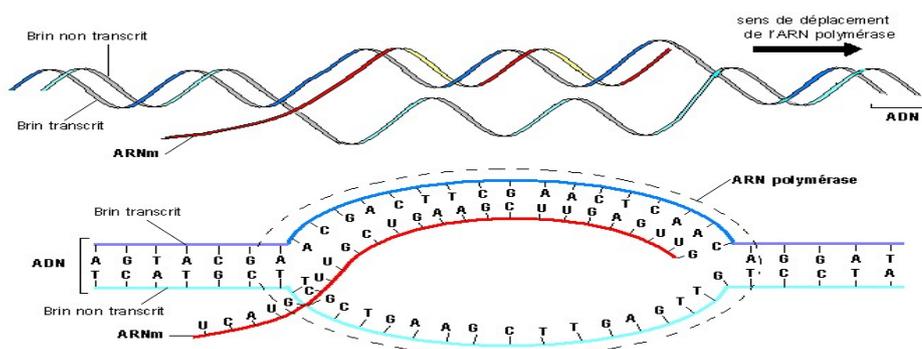


Figure 6 : Transcription de l'ADN en ARNm

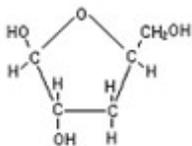
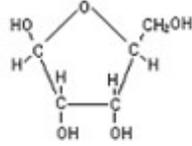
1.3-Localisation des ARN

La localisation des ARN dans la cellule se fait par le **test de Brachet**. On utilise le mélange **vert de méthyle-pyronine** :

- Le vert de méthyle colore l'ADN en **vert** dans le noyau
- La pyronine colore l'ARN en **rose** dans le cytoplasme

NB : Le qualificatif « nucléique » ne signifie pas ces molécules sont spécifiques au noyau. Il vient du fait que les premières mises en évidence ont été faites dans le noyau.

1.4 -Comparaison entre ADN et ARN

Critère de comparaison	ADN	ARN
Acide	Acide phosphorique	Acide phosphorique
Sucre	Désoxyribose (pentose de formule chimique brute $C_5H_{10}O_4$) 	Ribose (pentose de formule chimique brute $C_5H_{10}O_5$). 
Bases azotées	Puriques (A et G) ; Pyrimidiques (T et C)	Puriques : A et G Pyrimidiques : U et C (U = Uracile)
Structure	Bicaténaire (double brin)	Monocaténaire (un seul brin)
Localisation	Noyau	Cytoplasme

2 -La traduction

Traduire = s'exprimer en une autre langue. Sur le plan biologique, c'est le passage du langage nucléique de type ARN en un langage protéique

La **traduction** est le décodage du message contenu dans l'ARNm en une chaîne protéique ou synthèse des protéines à partir de l'ARNm. Elle se déroule dans le cytoplasme (hyaloplasme). Ce décodage se fait à l'aide d'un code génétique.

2.1) Nécessité du code génétique

Le **code génétique** est un système de correspondance existant nécessairement entre la séquence des nucléotides de l'ARNm et la séquence des acides aminés dans la protéine.

Comment composer 20 "mots" distincts pour désigner 20 "objets" que sont les 20 acides aminés, à partir d'un alphabet à 4 lettres que sont les nucléotides (P-S-A, P-S-G, P-S-C et P-S-U)?

- *1^{ère} hypothèse* :
En prenant les 4 nucléotides isolément (sous forme de monoplètes), on ne peut désigner que 4 acides aminés sur les vingt.
- *2^{ème} hypothèse* :
En combinant les nucléotides deux à deux (sous forme de doublets), on peut désigner $4^2 = 16$ acides aminés ; ce qui reste insuffisant.
- *3^{ème} hypothèse* :
Si on combine les nucléotides trois à trois (sous forme de triplets), on peut former $4^3 = 64$ combinaisons ; ce qui peut bien permettre de désigner les 20 acides aminés.
Chacun de ces triplets de nucléotide est appelé **codon** : c'est l'unité du code génétique.
Ces 64 codons devant servir à désigner 20 acides aminés différents, deux cas sont possibles :
1^{er} cas : plusieurs codons vont désigner un même acide aminé : ce sont des **codons synonymes**.
2^{ème} cas : 3 codons ne désignent aucun acide aminé : ce sont des **codons non sens** ou **codons stop** ou **codons de ponctuation**.

Un codon est une succession de trois nucléotides de l'ARNm correspondant à un acide aminé

Un anticodon est un triplet de nucléotide de l'ARNt complémentaire d'un triplet de nucléotide de l'ARNm

2.1.1) Les caractéristiques du code génétique

- 1- le **code génétique est redondant** c'est-à-dire que plusieurs codons peuvent désigner le même acide aminé.

Remarque : les codons synonymes diffèrent surtout par leur 3^{ème} base. C'est un facteur de **stabilité génétique** car une modification de cette troisième base (**mutation ponctuelle**) n'a aucun effet sur la protéine synthétisée : on parle aussi pour cela du **caractère dégénéré** du code génétique.

- 2- le **code génétique est non chevauchant** c'est-à-dire qu'un nucléotide n'est impliqué que dans un seul codon ;
- 3- le **code génétique est univoque ou non ambigu** c'est-à-dire qu'un codon désigne un seul et toujours le même acide aminé ;
- 4- le **code génétique est universel** : la "signification" d'un codon est la même pour tous les êtres vivants à quelques exception près.

NB : Une modification de l'ADN engendre une modification de codon de l'ARN qui peut se traduire par une modification de la protéine ou arrêt de synthèse. Une modification de l'information génétique est appelée **mutation**. Une **mutation ponctuelle** est la modification d'un nucléotide dans le gène et on en distingue les types suivants :

-la **substitution** : c'est le remplacement d'un nucléotide par un autre.

-la **délétion** : c'est la perte d'un nucléotide dans un gène

-l'**inversion** : c'est le changement de position dans un gène de 2 nucléotides qui se suivent

-l'**insertion** : c'est l'addition d'un nucléotide du gène

		Deuxième lettre					
		U	C	A	G		
Première lettre	U	UUU	UCU	UAU	UGU	Troisième lettre	U
		UUC phénylalanine	UCC sérine	UAC tyrosine	UGC cystéine		C
		UUA leucine	UCA	UAA codons stop	UGA codon stop		A
		UUG	UCG	UAG	UGG tryptophane		G
	C	CUU	CCU	CAU	CGU	U	
		CUC leucine	CCC proline	CAC histidine	CGC arginine	C	
		CUA	CCA	CAA glutamine	CGA	A	
		CUG	CCG	CAG	CGG	G	
	A	AUU	ACU	AAU	AGU	U	
		AUC isoleucine	ACC thréonine	AAC asparagine	AGC sérine	C	
		AUA	ACA	AAA lysine	AGA arginine	A	
		AUG méthionine	ACG	AAG	AGG	G	
	G	GUU	GCU	GAU	GGU	U	
		GUC valine	GCC alanine	GAC aspartique	GGC glycine	C	
		GUA	GCA	GAA acide	GGA	A	
		GUG	GCG	GAG glutamique	GGG	G	

Ce tableau donne diverses combinaisons possibles des 4 nucléotides pris 3 par 3 et leur "signification".

2.2) Les acteurs de la traduction

Ce sont :

-l'ARNm, le modèle détenteur de l'information génétique

-les ribosomes, le système de lecture. Il comporte deux sites de fixation dont le **site A (ou site aminoacyloù se fixe l'ARNt initial)** et : **le site P ou site peptidyl** au niveau duquel sera transloquée la chaîne polypeptidique en formation

-l'ARNt, cest « l'adaptateur » qui assure la correspondance entre le codon de l'ARNm et l'acide aminé.

C'est le déchiffreur du code génétique (*car c'est lui qui reconnaît le codon et l'acide aminé correspondant grâce à son anticodon*). Il existe au moins autant d'ARNt que d'acides aminés.

-les acides aminés stockés dans la cellule

-un fournisseur d'énergie, l'ATP et les enzymes

2.3) Les étapes de la traduction

Activité: fig 2.6

Elle se fait en trois étapes :

- **L'initiation** : étapes 1 et 2

Elle débute toujours au niveau d'un codon **AUG** de l'ARNm. Ce **codon initiateur** (ou **codon début**) détermine la mise en place :

* D'un ribosome qui s'assemble à partir de ses deux sous-unités

* De l'ARNt ayant lié la **Méthionine**

Un ARNm se fixe à la petite sous unité ribosomale et un ARNt portant la méthionine se fixe au codon initiation d'ARNm. La petite sous unité se déplace sur un ARNm jusqu'au niveau du codon AUG, correspondant à la méthionine : c'est le codon correspondant à l'anticodon UAC. La grosse sous unité ribosomale vient se positionner sur cet ensemble. Le ribosome complet est alors prêt à fonctionner et l'ARNt porteur de la méthionine occupe le site peptidique du ribosome. La traduction proprement dite peut alors commencer.

NB : une activation préalable des acides aminés est indispensable pour permettre leur accrochage à la chaîne polypeptidique. La réaction est catalysée par l'**aminoacyl – ARNt – synthétase**, enzyme responsable de la reconnaissance entre l'acide aminé et son ARNt spécifique

- **L'élongation de la chaîne** : étapes 3 et 4

Un nouvel ARNt ayant lié un acide aminé quelconque viendra se positionner au niveau du ribosome, selon leur **anticodon**. Ce positionnement est suivi :

* De la **libération** de l'ARNt fixé à l'autre site (p) du ribosome qui se décroche de son acide aminé

* De la création d'une **liaison peptidique** entre les deux acides aminés présents dans le ribosome

* Du **déplacement relatif** du ribosome par rapport à l'ARNm qui permet la libération du site A

* De la fixation d'un troisième ARNt dont l'anticodon est complémentaire au nouveau codon et porteur d'un acide aminé au site A libéré.

Au cours de la phase d'élongation, on note

- la fixation d'un nouvel ARNt sur le site A en face du deuxième codon CUG grâce à son anticodon qui apporte un deuxième acide aminé approprié (leucine) pour qu'il soit « lu »

- la formation par le ribosome d'une liaison peptidique entre le premier acide aminé (méthionine) et le deuxième acide aminé (leucine)

- le ribosome déplace l'ARNt qui porte le deuxième acide aminé vers le site P. Simultanément, il pousse l'ARNt (fixé au site p) initiateur et le libère dans le cytosol (qui se décroche ainsi de son acide aminé).

Une autre molécule d'ARNt se lie au troisième codon apportant le troisième acide aminé. Le ribosome lie les deux acides aminés au troisième et libère le deuxième ARNt. Le processus se poursuit tout au long de l'ARNm, entraînant de proche en proche l'allongement de la chaîne peptidique dans l'ordre imposé par la succession des codons de l'ARNm.

- **La terminaison de la synthèse** : étapes 5 et 6

La fin de la synthèse protéique se fait au niveau d'un codon stop :

* Les deux sous-unités du ribosome se séparent

* La chaîne polypeptidique est libérée et la méthionine, premier acide aminé incorporé, est détaché de cette chaîne.

NB : Chaque molécule d'ARNm sert de guide pour la fabrication de 10 à 20 molécules polypeptidiques puis est détruite ; c'est donc **une copie très éphémère du gène**.

Lorsque le ribosome arrive à un codon stop (UAG, UAA ou UGA), il n'existe pas d'ARNt complémentaire et la synthèse s'arrête. Le complexe ARNm, les deux sous unités ribosomales, l'ARNt et la chaîne polypeptidique se dissocient. Les éléments de ce complexe pourront être à nouveau utilisés le premier acide aminé ayant servi à l'initiation de la traduction (la méthionine) est supprimé de la chaîne et la traduction est terminée

2.4 -Le devenir des protéines synthétisées Activité : Fig ;

Les protéines synthétisées ont une double destination :

- Elles peuvent être utilisées par la cellule qui les a fabriqués : protéines du cytosol (enzymes, transporteurs...). C'est le cas des protéines fabriqués au niveau des ribosomes libres dans le hyaloplasme.
- Elles peuvent être exportées hors de cette cellule et être utilisées ailleurs ou être enchâssées dans la bicouche membranaire (cas des hormones, des enzymes digestives). Ces protéines sont fabriquées par les ribosomes du REG.

2.4.1 - Un véritable « code postal » en fonction de la destination

L'élongation de nombreuses chaînes polypeptidiques débute par la synthèse d'une séquence de 15 à 30 acides aminés appelée **peptide signal** (court polypeptide synthétisé en début de la traduction) dont le rôle est de diriger la protéine vers tel ou tel organite.

Dans tous les cas, le peptide signal est excisé (amputé) par une enzyme spécifique dès que la protéine a atteint l'organite auquel elle est destinée.

Si une protéine n'a pas de peptide signal, elle doit rester dans le hyaloplasme. C'est le cas de certaines enzymes et protéines de structure.

2.4.2 - Mécanismes d'exportation des protéines

Activité:fig 2 .7

- Après sa synthèse, La protéine destinée à être exportées est introduite directement dans le RE.
- Le RE bourgeonne et forme des vésicules contenant les polypeptides en transit
- Ces vésicules s'assemblent pour former les saccules golgiens où les chaînes polypeptidiques subissent des remaniements complexes (**maturation**) : coupures de fragments, fixation des molécules comme les glucides (cas des glycoprotéines). Les protéines achevées sont emballées dans des **vésicules golgiennes** qui vont s'accumuler pour former des volumineuses **vésicules de sécrétion**.
- Les vésicules de sécrétion fusionnent avec la membrane cytoplasmique de la cellule pour déverser leur contenu hors de la cellule. Ce mécanisme de sécrétion est appelé **exocytose**.

NB : L'exocytose a pour conséquence directe l'augmentation de la surface de la membrane plasmique. Cette création permanente de la membrane plasmique est compensée par des mécanismes inverses (dits d'**endocytose**) pendant lesquels la membrane plasmique bourgeonne pour faire entrer dans la cellule des substances d'origine externe. La membrane plasmique est ainsi soumise à un renouvellement rapide et permanent.

Les protéines peuvent être synthétisées soit par les ribosomes libres dans le cytoplasme soit par des ribosomes liés à la face externe de la membrane du RE. Le devenir de ces deux groupes de protéines n'est pas la même.

-les protéines synthétisées au niveau des ribosomes libres restent en général intracellulaire (protéine du cytosol). Ce sont des protéines de structure et les protéines enzymatiques exerçant leur activité au sein même de la cellule.

-les protéines synthétisées au niveau du REG sont destinées à l'exportation ou à être enchâssées dans la double couche lipidique des membranes cellulaires. Après passage dans les tubules du RE, elles regagnent les saccules golgiennes où elles subissent une maturation et un tri(acquisition de la structure tertiaire, quaternaire, clivage des certaines séquences d'acides aminés, addition des glucides pour former les glycoprotéines), et peuvent alors être emballées dans les vésicules golgiennes qui assurent leur concentration et leur exportation par exocytose (enzymes, hormones, immunoglobulines...)ou être intégrés dans les membranes cellulaires

Action 3 :-Produire des plantes transgéniques**SEANCE 3 : LE GENIE GENETIQUE : LES O.G.M.***1– DEFINITION ET TECHNIQUE.*

1.1– Définition.

« Le génie génétique est une technique consistant à introduire des changements dans la molécule d'ADN d'un organisme vivant sans qu'il y ait intervention des moyens naturels de reproduction ». Le génie génétique consiste donc à modifier le patrimoine héréditaire d'un être vivant en y introduisant un ou plusieurs gènes provenant d'une espèce différente.

L'action d'introduire, par génie génétique, un gène étranger (appelé transgène) et de le faire fonctionner dans un organisme vivant est appelée transgénèse.

Un organisme vivant ayant reçu dans son génome des gènes étrangers est dit transgénique (encore appelé organisme Génétiquement Modifié ou OGM).

Le génie génétique se base sur l'universalité du code génétique : un gène d'une espèce donné isolé puis incorporé dans le génome d'une autre espèce peut fonctionner et induire chez le receveur la synthèse de la protéine spécifique du donneur.

1.2– Technique.

La première étape consiste à identifier une cellule donneuse possédant le gène d'intérêt, d'isoler ce dernier grâce aux enzymes de découpage de l'ADN (enzymes de restriction). Ce sont des enzymes qui découpent l'ADN lorsqu'elles rencontrent des séquences nucléotidiques particulières.

La deuxième étape varie selon le règne :

Chez les animaux, le gène peut être introduit directement dans l'œuf, puis celui-ci est réimplanté. Dans ce cas, toutes les cellules de l'individu exprimeront le gène si celui-ci est correctement placé dans l'ADN de la cellule hôte.

Chez les plantes, la bactérie *Agrobacterium tumefaciens* est un vecteur utilisé pour introduire un gène choisi dans une culture de tissu à partir de laquelle, une plante transgénique peut être régénérée par culture *in vitro*.

2– APPLICATION DU GENIE GENETIQUE.

2.1– Dans le domaine de l'agronomie.

Les plantes sensibles à *Agrobacterium tumefaciens* peuvent faire l'objet d'une greffe de gènes.

Propriétés nouvelles de quelques plantes transgéniques	Rôle des gènes transférés.
Résistance à un herbicide (colza, tabac, tomate, soja, coton, betterave à sucre)	Production d'une enzyme détruisant l'herbicide ou surproduction de l'enzyme inactivée par l'herbicide ou production d'une enzyme insensible à l'herbicide.
	Production des substances inhibant les enzymes digestives de

Résistance à un parasite (tabac, chou, tomate, coton, pomme de terre)	l'insecte.
Amélioration de la conservation (tomate)	Non synthèse de l'enzyme responsable du ramollissement. Inhibition de la reproduction du virus.
Résistance à un virus (tomate, tabac, melon)	

2.2– Dans le domaine médical.

La bactérie *Echerichia coli* ayant reçu dans son génome une insertion du gène de l'hormone humaine de croissance, se multiplie et synthétise activement cette hormone qui est purifiée et injectée directement aux enfants nains. C'est une voie prometteuse permettant de traiter le nanisme.

De même, ces bactéries génétiquement modifiées peuvent synthétiser en grande quantité de l'insuline humaine (hormone sécrétée par les cellules du pancréas), permettant ainsi de soigner le diabète insulino-dépendant ou juvénile.

3– AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU GENIE GENETIQUE.

3.1– Avantages.

production de nouvelles variétés de plantes à hauts rendements, ayant les meilleures aptitudes de conservation, tolérantes à la sécheresse, aux maladies et aux ravageurs.

Production industrielle des protéines humaines dans un but thérapeutique (insuline, hormone de croissance, facteurs de coagulation du sang, ...)

3.2– Inconvénients.

La pratique du génie génétique suscite de nombreuses controverses dans l'opinion publique car elle présente des risques :

Risque de transmission horizontale du transgène c'est-à-dire risque de passage du transgène d'une espèce à une autre dans la nature (grâce aux bactéries du sol par exemple) ;

Exemples :

Un gène de résistance à un herbicide greffé à la tomate peut se transmettre dans la nature à une plante parasite. Cette dernière deviendra alors capable de résister à l'herbicide.

Un gène de résistance à un antibiotique introduit dans une plante peut se transmettre aux animaux qui s'en nourrissent.

Risque de détérioration des économies des pays du tiers monde : en effet, cette technique peut permettre la culture en tout lieu des plantes considérées jusqu'alors comme strictement tropicales (cacao, café, canne à sucre, ...).

Risque de réduction de la biodiversité, de perte du savoir faire agricole, ...

Conclusion : La vulgarisation et la commercialisation des OGM doivent être précédées par une évaluation rigoureuse des risques : risques potentiels absolus pour la santé et l'environnement ; risques relatifs (négligeables et maîtrisables) face aux bénéfices attendus.

CONCLUSION GENERALE.

L'activité d'une protéine est étroitement liée à sa structure spatiale, elle-même déterminée par la séquence des acides aminés. L'information qui induit l'ordre d'enchaînement des acides aminés est stockée sous forme codée dans le gène. Le gène peut donc aussi se définir comme un fragment d'ADN capable de diriger la synthèse d'une protéine. La correspondance entre la séquence des nucléotides de l'ADN et la séquence de la protéine est appelée code génétique. Ce code est universel et permet par conséquent la transgénèse.

La synthèse de la protéine se fait en deux étapes :
une transcription qui produit une série de copies éphémères du gène : les ARNm ;
la traduction qui fait intervenir les ribosomes, ateliers de synthèses contenant l'équipement enzymatique indispensable et les ARNt, molécules adaptatrices qui assurent le décodage des codons de l'ARNm.

Au cours de ces activités, les mitochondries fournissent l'énergie indispensable à tous les niveaux, le RER ou RE granuleux (REG) et le dictyosome assurent le transit des protéines synthétisées, leurs modifications éventuelles et parfois leur exportation hors de la cellule. A tous les niveaux, on note une intervention des enzymes.

Quel est donc le mécanisme exact de la catalyse enzymatique ?

Exemple de situations : Action des enzymes dans les réactions de renouvellement moléculaire

Actions

- Réaliser la culture des souches bactériennes ou de champignons microscopiques.
- Réaliser des expériences mettant en évidence les caractéristiques de l'activité enzymatique

SEQUENCE III : LES AGENTS DE LA CATALYSE : LES ENZYMES.

Un catalyseur est une substance qui, à faible dose, accélère une réaction chimique et se retrouve intacte à la fin de cette réaction. Si la réaction a lieu chez un être vivant pour permettre son métabolisme, le catalyseur est appelé enzyme ; autrement dit, les enzymes sont les catalyseurs des réactions biologiques ou biocatalyseurs.

Les enzymes existent chez tous les êtres vivants, unicellulaires comme pluricellulaires, végétaux comme animaux.

Quelle relation existe entre la structure et la fonction de la protéine enzyme ?

SEANCE 1 : LA RELATION ENTRE L'EQUIPEMENT ENZYMATIQUE D'UNE CELLULE ET SES REACTIONS.

OBJECTIF : Quelle relation existe entre les enzymes d'une cellule et les réactions qui s'y produisent ?

Les enzymes sont des "outils" biologiques spécialisées, chacune d'elles ayant un rôle précis. Cette spécialisation se situe à deux niveaux :

A CHAQUE CELLULE, SON EQUIPEMENT ENZYMATIQUE.

1-1– Expérience et Résultats.

On prépare trois milieux de culture différents ainsi qu'il suit :

- Tube 1 : gélose + lactose (tube témoin) ;
- Tube 2 : gélose + lactose + *Enterobacterium* (bactérie du genre bacille) ;
- Tube 3 : gélose + lactose + *Staphylococcus* (bactérie du genre coque).

A chaque tube, on ajoute un réactif spécifique qui se colore en rouge en présence d'un sucre réducteur (lactose, maltose, galactose, glucose, ...) et en jaune si le milieu en est dépourvu.

Toutes les précautions sont prises pour éviter la contamination des milieux de culture.

Quelques jours après la mise en culture, on observe les colorations suivantes dans les tubes :

Tube	Coloration	
	Avant la mise en culture	Après la mise en culture
1		Rouge
2		Rouge
3		Jaune

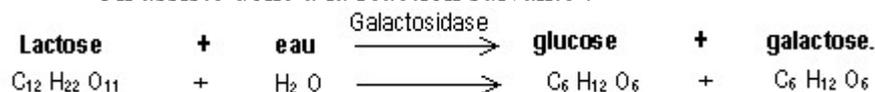
TRAVAIL DEMANDE : Préciser la coloration de chaque tube avant la mise en culture.

1-2- Interprétation et conclusion.

Les tubes 1 et 2 contiennent encore un sucre réducteur et le tube 3 est dépourvu de sucre réducteur.

Les staphylocoques disposent d'une enzyme identifiée comme étant la lactase ou galactosidase qui catalyse l'hydrolyse du lactose en glucose et en galactose. Les produits de l'hydrolyse sont consommés aussitôt alors que cette bactérie ne consomme pas directement le lactose.

On assiste donc à la réaction suivante :



Les entérobactéries sont incapables de catalyser l'hydrolyse du lactose. Elles ne disposent pas d'enzymes adéquates.

Chacune de ces bactéries, tout comme les autres cellules, dispose chacune d'un équipement enzymatique propre ou spécifique.

2- A CHAQUE REACTION, SON ENZYME SPECIFIQUE.

Les levures sont les champignons unicellulaires. Lorsqu'on cultive ces levures dans un milieu liquide contenant du saccharose, elles s'en nourrissent en le transformant grâce à une enzyme (saccharase) qu'elles libèrent dans le milieu.

2-1- Expérience et Résultats.

Un gramme de levure est délayé (trempé) dans 100 ml d'eau. Un quart d'heure après, on filtre pour obtenir un extrait enzymatique de saccharase (Filtrat F) qu'on fait agir sur différents substrats glucidiques.

La transformation des glucides est suivie à l'aide de deux tests caractéristiques :

la liqueur de Fehling permet de caractériser les sucres réducteurs ;

les bandelettes réactives (glucotest) indiquent la présence de glucose seulement.

Les résultats obtenus figurent dans le tableau suivant :

Tubes		T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
Contenu initial	2 ml	Filtrat F	Filtrat F	Filtrat F	Eau distillée	Filtrat F bouilli	Filtrat F**
	10 ml	Saccharose	Lactose	Amidon	Saccharose	Saccharose	Saccharose
Tests	Liqueur	Positif	Positif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif

après 10 minutes.	de Fehling						
	Glucotest	Positif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif

Filtrat F' = extrait d'une suspension de levures tuées par ébullition.

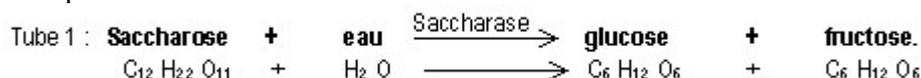
2-2- Interprétation et Conclusion.

Les tubes 1 et 2 contiennent un sucre réducteur. Les autres tubes en sont dépourvus.

Le glucotest précise que le sucre réducteur du tube 1 est le glucose.

Les levures vivantes sécrètent une substance détruite à la chaleur qui permet, de façon spécifique, l'hydrolyse du saccharose.

TRAVAIL DEMANDE : Pour chacune des expressions en caractères gras, préciser le (ou les) numéro(s) de tube permettant d'arriver à cette conclusion.



Chaque réaction a donc son enzyme spécifique.

SEANCE 2 : LES CARACTERISTIQUES DE L'ACTIVITE ENZYMATIQUE.

OBJECTIF

Quels sont les caractères de la catalyse enzymatique ? Quels facteurs sont susceptibles de la modifier ?

1 – ETUDE D'UN EXEMPLE : LA CATALYSE ENZYMATIQUE DE L'AMIDON.

Deux tubes 1 et 2 contiennent respectivement de l'empois d'amidon et de l'empois d'amidon additionnée de de la salive fraîche. On effectue deux prélèvements toutes les trois minutes :

au premier, on fait agir l'eau iodée ;

au deuxième, on fait agir la liqueur de Fehling.

Les résultats obtenus sont les suivants :

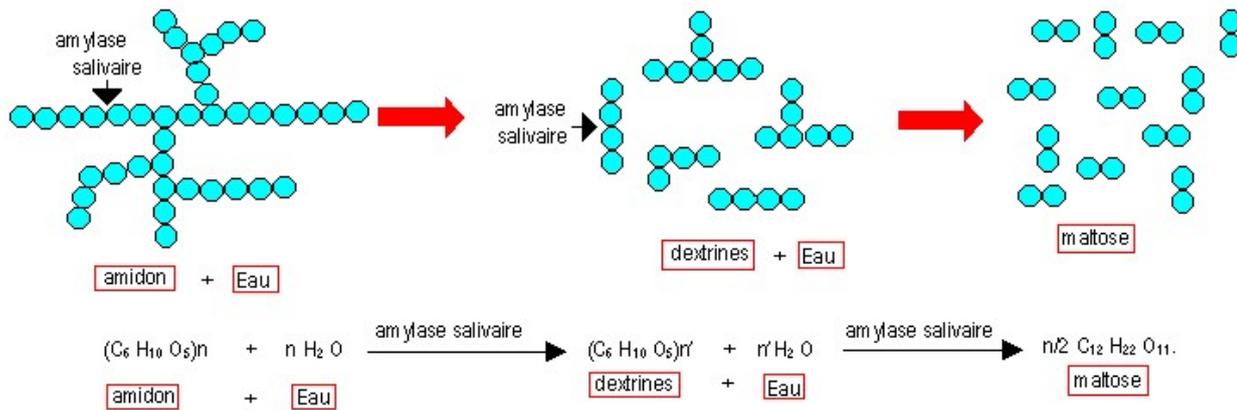
Temps (en minutes)	Tube 1 : empois d'amidon				Tube 2 : empois d'amidon + salive fraîche			
	0	3	6	9	0	3	6	9
Eau iodée	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	Rouge violacé	jaune
Liqueur de Fehling*	-	-	-	-	-	-	+	+

* Le signe + indique l'apparition, à ébullition, d'un précipité rouge brique qui témoigne de la présence d'un sucre réducteur.

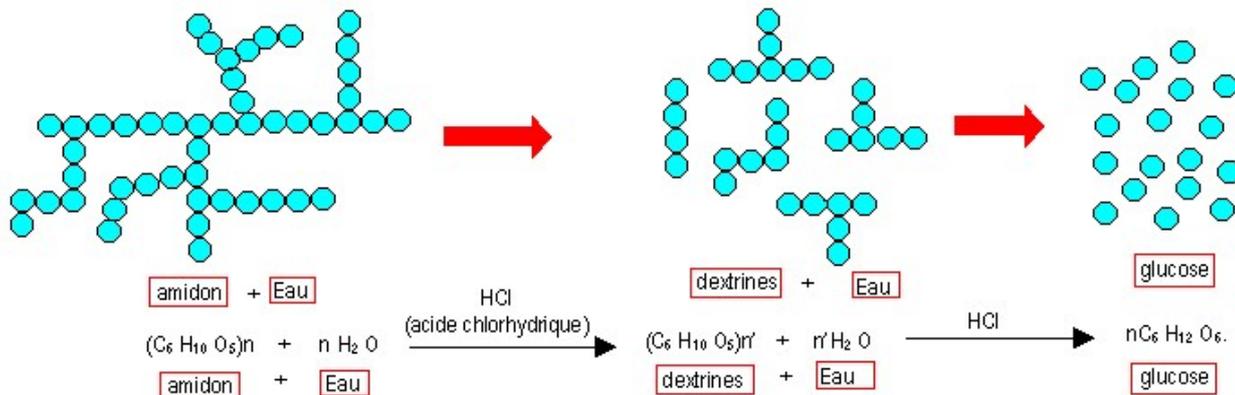
TRAVAIL DEMANDE : Interpréter les résultats obtenus.

Une analyse chimique de la salive montre qu'elle contient 99 à 99,5 % d'eau ; 0,5 à 1 % d'ions (Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , K^+ , Ca^{2+} , ...); 3 ‰ de protéines (mucus et amylase). Son pH est neutre (pH = 7).

De tous ces constituants, seule l'amylase transforme l'amidon en maltose suivant les réactions suivantes :



L'hydrolyse de l'amidon cuit peut être obtenue sans la salive, mais les conditions expérimentales sont très différentes. Par exemple, en présence de l'acide chlorhydrique, on observe la réaction suivante :



NB : L'hydrolyse complète se fait au bout de deux heures environ à 37 °C.

TRAVAIL DEMANDE : Comparer les réactions observées avec les deux types de catalyseurs du point de vue vitesse de la réaction, température, produits obtenus, type de réaction chimique réalisée. Cette comparaison peut être présentée sous forme de tableau.

2. – LES PROPRIETES DES CATALYSEURS.

2.1 – Leur vitesse de réaction est grande.

Une molécule d'enzyme peut généralement catalyser la transformation de 10 à 100 molécules de substrats, voir plus (un million dans le cas de l'anhydrase carbonique qui catalyse l'hydratation du CO₂ dans les hématies).

2.2.– Ils agissent à faible dose.

Il suffit d'une très faible quantité d'enzymes pour que la réaction ait lieu. Cette propriété est liée au fait que le catalyseur demeure intact à l'issue de la réaction et se trouve immédiatement disponible pour une nouvelle action.

2.3 – DES PROPRIETES LIEES A LA NATURE BIOLOGIQUE.

Une enzyme est un biocatalyseur, c'est-à-dire une molécule produite par un être vivant conformément à son information génétique et qui réalise une réaction. Elles possèdent des propriétés propres qui les distinguent des catalyseurs chimiques (HCl par exemple).

2.3.1 – Les enzymes : des protéines solubles.

Toutes les enzymes sont les protéines. Ce sont de grosses molécules (masse molaire allant de 80 000 à plusieurs centaines de milliers de daltons), relativement fragiles (détruites par une forte température), facilement dénaturées (configuration spatiale et fonction modifiées).

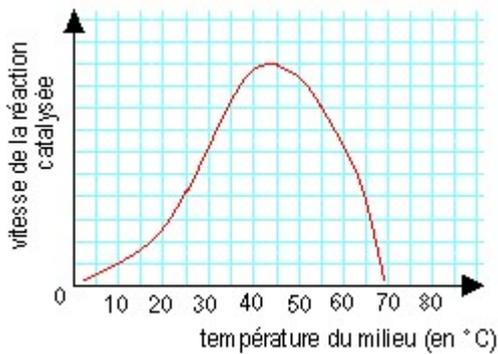
2.3.2 – Des conditions de températures précises.

Les enzymes sont actives à des températures plus basses que les catalyseurs chimiques, et la réaction catalysée se réalise plus rapidement.

Les enzymes présentent un optimum d'activité (vitesse de réaction maximale) pour une température donnée, généralement celle du milieu cellulaire (37 – 40 °C chez l'homme).

Elles sont inactives à basse température, mais retrouvent leurs propriétés si la température redevient convenable (dénaturation réversible).

Elles sont irréversiblement dénaturées à la chaleur (elles perdent définitivement leur propriétés). En effet, aux hautes températures, les liaisons qui maintiennent les chaînes peptidiques repliées sur elles-mêmes sont définitivement rompues.



TRAVAIL DEMANDE : Décrire les effets de la température sur la vitesse de la réaction. Déterminer graphiquement la valeur de la température optimale.

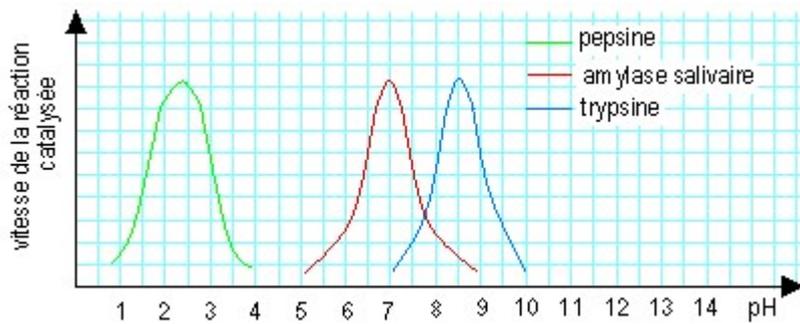
Remarque : Certains microorganismes vivent dans la neige ou la glace ; on en trouve aussi dans des eaux chaudes dont la température dépasse 100 °C ; et pourtant ces cellules présentent une activité enzymatique.

2.3.3 – Des conditions de pH spécifiques.

Les expériences de digestion *in vitro* réalisées sur l'amidon en présence de l'amylase salivaire et sur l'ovalbumine en présence de la pepsine gastrique et de la trypsine pancréatique révèlent que chaque enzyme a une activité optimale dans des conditions de pH bien précises.

L'amylase salivaire est active en milieu neutre (pH = 7) ; la pepsine gastrique en milieu acide (pH inférieur à 7) et la trypsine en milieu légèrement basique (pH légèrement supérieur à 7).

Plus généralement, chaque enzyme possède un pH optimum d'activité.



TRAVAIL DEMANDE : Décrire les effets du pH sur l'activité de chaque enzyme.

2.3.4 – Une spécificité de substrat.

Le substrat est la molécule dont l'enzyme catalyse la transformation. Une enzyme donnée ne peut agir que sur un seul substrat.

Le nom de l'enzyme indique la nature du substrat le plus souvent :

Enzyme	Substrat
Amylase	Amidon
Lipase	Lipide
Maltase	Maltose
Lactase	Lactose
ribonucléase	Acide ribonucléique
...	...

Remarque : Sur un substrat donné, plusieurs enzymes peuvent agir ; mais chacune d'elles agit sur une partie différente de ce substrat. C'est le cas de la trypsine et de la pepsine qui agissent toutes les deux sur l'albumine.

2.3.5 – Une spécificité d'action.

Sur un substrat donné, une enzyme ne catalyse qu'un seul type de réaction chimique : ainsi, une enzyme digestive ne peut catalyser qu'une hydrolyse. D'autres enzymes catalysent les oxydations.

Lorsqu'une réaction catalysée est réversible (équilibre chimique), la même enzyme peut catalyser la réaction dans les deux sens.

Enzyme	Action
Hydrolases	Hydrolyse
Déshydrogénases	Déshydrogénation
Oxydoréductases	Oxydoréduction
Polymérasés	Polymérisation
...	...

3 – RELATION ENTRE STRUCTURE ET FONCTION DE LA PROTEINE ENZYME.

3.1- NOTION DE SITE ACTIF.

Les enzymes sont des macromolécules protéiques dont la forme est généralement globulaire. Une enzyme montre sous un certain angle une zone en forme de poche ou de sillon : c'est le site actif.

Le site actif est le domaine d'une enzyme qui se lie au substrat. La comparaison de ce site avec d'autres régions du substrat montre une étroite complémentarité telle une serrure et sa clé. La complémentarité entre le site actif de l'enzyme et une région très précise de son substrat explique la spécificité enzymatique.

Le site actif présente deux zones bien définies :
le site de fixation qui reconnaît le substrat avec lequel il présente des affinités ;
le site catalytique constitué d'acides aminés capables d'interagir avec le substrat.

3.2 – LA CINÉTIQUE ENZYMATIQUE.

L'activité enzymatique ou cinétique enzymatique s'évalue par la quantité de produit formé (ou quantité de substrat transformé) par unité de temps.

La vitesse de la réaction enzymatique :
est proportionnelle à la concentration de l'enzyme ;
varie avec le temps pour une concentration initiale de substrat donné ;
augmente avec la concentration initiale du substrat jusqu'à un palier pour lequel la vitesse de la réaction atteint son maximum. L'existence de ce palier s'explique par le fait que l'enzyme se lie à son substrat, formant un complexe enzyme – substrat. Pour une enzyme donnée, la vitesse initiale maximale est atteinte si toutes les molécules d'enzymes sont combinées à des molécules de substrat : on dit que l'enzyme est « saturée ».

3.3 – NOTION DE COMPLEXE ENZYME – SUBSTRAT.

La fonction de l'enzyme est liée à sa structure : la complémentarité entre le site actif et une région spécifique du substrat permet la formation d'un ensemble indispensable à la catalyse de la réaction, ensemble appelé complexe enzyme – substrat.

Ce complexe se dissocie dès que la réaction a lieu, libérant ainsi l'enzyme pour une nouvelle fixation. Plus ce complexe est stable, moins la réaction est rapide :

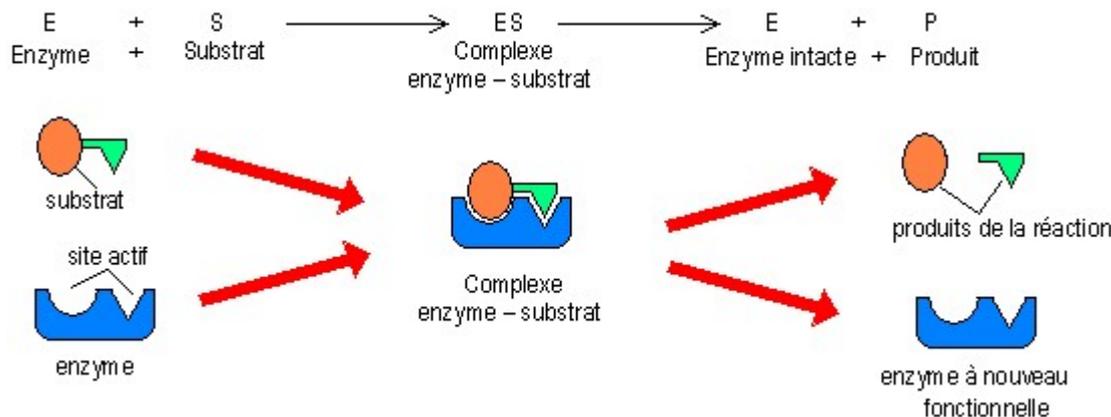


Figure : Formation d'un complexe enzyme – substrat dissociable et spécifique.

TRAVAIL DEMANDE : Justifier les termes « dissociable » et « spécifique ».

3.4- Quelques applications des réactions enzymatiques : transformations alimentaires, détergents biologiques, brasserie

- les **levures de bière**, agents de la **fermentation alcoolique**, elles permettent de produire les **boissons alcooliques** à partir du sucre (glucose) ;
- les **levures du boulanger**, qui permet de **gonfler la pâte à pain** ;
- les **bactéries acétifiantes**, agents de la **fermentation acétique**, elles permettent de produire le **vinaigre** à partir de l'alcool (éthanol) ;

- les **lactobacilles** et les **streptocoques**, agents de la **fermentation lactique**, elles permettent de produire du **yaourt** ou du **fromage**.

CONCLUSION

Toutes les réactions chimiques qui se produisent dans les cellules vivantes sont catalysées par des enzymes. L'équipement enzymatique d'une cellule conditionne les réactions qui s'y produisent.

Les enzymes sont des biocatalyseurs qui agissent dans certaines limites de température et de pH.

Elles sont spécifiques d'un substrat qu'elles transforment et d'un seul type de réaction.

La fonction de l'enzyme est liée à sa structure : la complémentarité entre le site actif et une zone spécifique du substrat permet la formation du complexe enzyme – substrat, étape indispensable à la catalyse de la réaction.

Famille de situations 2 : Problèmes liés à l'utilisation de la matière comme source d'énergie

Exemple de situations 3 : Déséquilibres énergétiques au sein des organismes

Catégorie d'actions 4 : Lutte contre les déséquilibres énergétiques et leurs conséquences au niveau des organismes

Action 1 : Mesurer les dépenses énergétiques.

Séquence IV : L'ENERGETIQUE BIOLOGIQUE.

SEANCE 1 LA PERMANENCE DE LA DEPENSE ENERGETIQUE ET SA VARIATION

Objectif :

Relever que la dépense énergétique d'un organisme est permanente et varie en fonction de différents facteurs

1- PERMANENCE DE LA DEPENSE ENERGETIQUE

Le fonctionnement des organismes est lié à des **dépenses permanentes d'énergie**. Ces dépenses dont certaines sont incompressibles varient en fonction de multiples facteurs : **âge, sexe, saisons, activité physique, ...** Au cours de la digestion, les aliments sont transformés en **nutriments** qui sont absorbés au niveau de la paroi intestinale puis distribués par le sang à toutes les cellules de l'organisme. Certains nutriments servent à **édifier** de nouvelles substances organiques complexes ; d'autres sont dégradés et fournissent l'**énergie** nécessaire à l'organisme pour satisfaire l'ensemble de ses dépenses énergétiques (mouvements, synthèses, maintien de la température, ...). La libération de l'énergie des nutriments dans les cellules est assurée essentiellement par la **respiration** et/ou par la **fermentation**. Les notions que nous aborderons nous permettront à la fin de ce chapitre d'être capable de :

2- FACTEURS DE VARIATION DES DEPENSES ENERGETIQUES.

2.1.– Influence de la température externe.

Le tableau suivant présente les variations de la dépense énergétique en fonction de la température extérieure. L'étude est faite chez le porc.

Température extérieure.	Température interne	Consommation d'O ₂ (l/24h)	Dépense énergétique (kJ/24h)
20 °C	39 °C	648	13 600
15 °C	39 °C	768	16 050
10 °C	39 °C	960	20 100

5 °C	39 °C	1 272	26 600
------	-------	-------	--------

TRAVAIL DEMANDE : tracer la courbe montrant l'évolution de consommation de dioxygène en fonction de la température extérieure. Interpréter les résultats obtenus et tirer des conclusions.

La dépense énergétique augmente avec la baisse de la température extérieure.

2.2-Influence de l'âge et du sexe.

	Masse (kg)	Dépense énergétique (kJ/24h)
Enfants		
0 - 1 an	7.3	3 380
1 - 4 ans	13.5	5 650
4 - 7 ans	20	7 650
7 - 10 ans	28	9 150
Filles		
10 - 13 ans	38	9 800
13 - 16 ans	50	10 400
16 - 20 ans	54	9 650
Garçons		
10 - 13 ans	37	10 850
13 - 16 ans	51	12 100
16 - 20 ans	63	50

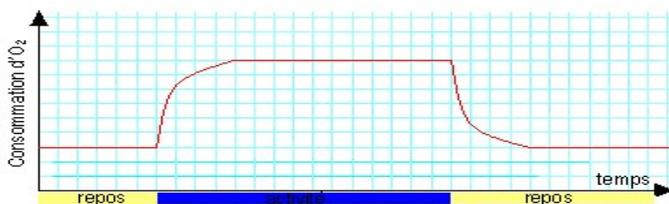
Le tableau ci-contre présente les résultats des mesures des dépenses énergétiques effectuées dans l'espèce humaine.

TRAVAIL DEMANDE : Interpréter et tirer des conclusions.

La dépense énergétique augmente avec l'âge.

Elle est plus importante chez les garçons que chez les filles.

2.3 – Influence de l'activité (exercice physique). Activité fig 4.1



Le graphe suivant montre les variations de l'intensité respiratoire (volume de dioxygène consommé par unité de temps et de masse d'un organisme (l/min/kg)). Le tracé se décompose en trois temps : sujet au repos, pendant l'effort et après l'effort.

TRAVAIL DEMANDE : quelle est la conséquence la plus importante de la consommation de dioxygène ? Comment évolue la dépense énergétique au cours de l'effort ? Formuler pour rendre compte du fait que le retour au repos est plus rapide que le retour de la consommation de dioxygène à sa valeur de la phase de repos ?

on de
ut-on
d'un

La consommation d'O₂ augmente au cours de l'effort et reste élevée quelques minutes après. Il en est de même de la dépense énergétique.

2.2 Conclusion sur les expériences

La dépense énergétique, bien que permanente, varie en fonction :

des facteurs internes : activité physiologique, âge, sexe, ...

des facteurs externes : la température chez les animaux endothermes ou homéothermes c'est-à-dire des animaux qui maintiennent leur température corporelle constante quelles que soient les variations de la température du milieu.

NB : Plus l'animal est petit, plus sa dépense énergétique est grande : c'est la "loi des tailles".

2) Mesure des dépenses énergétiques

L'évaluation de la dépense énergétique d'un animal se fait par **calorimétrie**. L'appareil utilisé est un **calorimètre**.

2.1 -La méthode directe (calorimétrie directe)

a)La calorimétrie à glace

On place l'animal dans un **calorimètre à glace**. La chaleur qu'il dégage fait fondre la glace; à la fin de l'expérience, on recueille une certaine quantité d'eau. Connaissant la masse d'eau recueillie (**m**), et sachant

qu'il faut 80 calories pour faire fondre 1g d'eau, la quantité de chaleur (**Q**) dégagée par l'animal est calculée par la formule : **Q = 80 x m(en cal)**.

b) La chambre calorimétrique

On place l'animal dans une chambre à **paroi adiabatique** (ie ne permettant aucun échange de chaleur entre l'intérieuretl'extérieur). Cet animal dégage de la chaleur qui sert à chauffer une masse d'eau connue (m). Connaissant la température initiale et la température finale de l'eau, on peut calculer la quantité de chaleur (Q) libérée par l'animal, selon la formule: **Q = mx Cx Δt = mx C (tf- ti)**

Où

$$\left\{ \begin{array}{l} C = \text{chaleur massique de l'eau (4,18Kj/g}^\circ\text{C)} \\ t_i = \text{température initiale de l'eau} \\ t_f = \text{température finale de l'eau} \end{array} \right.$$

2.2 -La méthode indirecte (calorimétrie indirecte ou calorimétrie respiratoire)

Elle consiste à évaluer la dépense énergétique d'un animal à partir de sa consommation d'oxygène.

a) Comment mesurer la quantité d'oxygène consommée par un animal? Activité fig 4.2

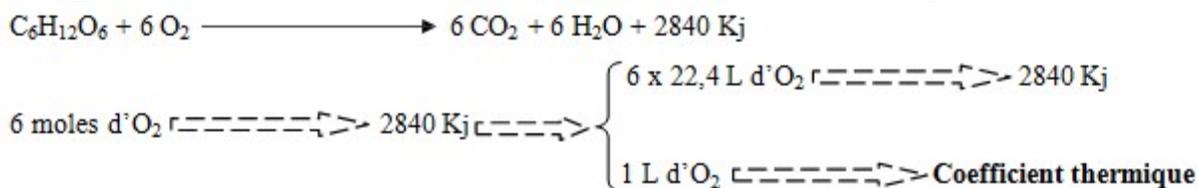
On utilise pour cela un appareil appelé **respiromètre volumétrique** ou **spiromètre**

Le CO₂ rejeté par l'animal est absorbé par la potasse ou la soude.

La consommation d'O₂ par l'animal entraîne une diminution du volume de gaz contenu dans l'enceinte, et donc une baisse de pression que mesure la dénivellation p dans le manomètre. Le niveau de liquide dans le manomètre est ramené à sa valeur initiale (niveau 0) en injectant un volume V d'eau dans le réservoir d'O₂ pur, grâce à la burette. Ce volume V représente le volume de dioxygène consommé par l'animal

b) Détermination du coefficient thermique du dioxygène

On appelle **coefficient énergétique** du dioxygène la quantité d'énergie libérée par litre de dioxygène consommé. Si l'on considère que le métabolite utilisé est le glucose, on a l'équation :



(Rappel : $n = \frac{V}{V_m}$ donc $V = n \times V_m$)

$$\text{Coefficient thermique} = \frac{2840}{6 \times 22,4} = 21,13 \text{ Kj (5,05 kcal)}$$

Le coefficient thermique varie en fonction de la nature des nutriments utilisés. On admet habituellement que, pour un **régime alimentaire mixte (équilibré)** comportant glucides, lipides et protides, la consommation d'un litre de dioxygène correspond à la libération de **20 kilojoules**.

Travail demandé : Calculer le coefficient thermique de l'oxygène dans le cas de l'utilisation : d'un lipide (la trioléine) et d'un protide (l'alanine). On donne les équations de dégradation complète de ces molécules.



NB : 21,13 kJ (5,05 Kcal) est le coefficient thermique du dioxygène lorsque l'organisme utilise du glucose. Dans le cas de l'utilisation des lipides ou des protides, il est inférieur à 20 kJ. pour une alimentation mixte équilibrée, le coefficient thermique moyen est **20Kj/l d'o₂**

c) Calcul de la dépense énergétique de l'animal

Elle se calcule par la formule :

Dépense énergétique = coefficient thermique x volume d'oxygène consommé

Action 2 : Evaluer le métabolisme de base.

SEANCE 2– LE METABOLISME DE BASE.

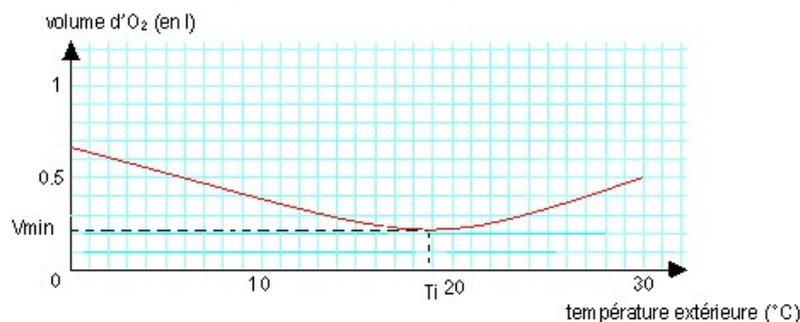
OBJECTIFS :

Déterminer le métabolisme basal d'un individu

Définir la notion de métabolisme basal

2.1- EVALUATION PAR LA MESURE DE LA CONSOMMATION DE DIOXYGENE CONSOMME.

L'évaluation de la consommation de dioxygène par un homme normalement vêtu au repos absolu en fonction de la température externe permet de dresser la courbe suivante :



TRAVAIL DEMANDE : Calculer la dépense minimale d'énergie par cet homme si le coefficient énergétique du dioxygène est de 20 kJ/l. A quelle température correspond cette dépense énergétique minimale ?

On appelle température de neutralité thermique la température ambiante pour laquelle la dépense énergétique liée au maintien de la température corporelle est minimale. Elle varie de 18 à 20 °C pour un sujet habillé.

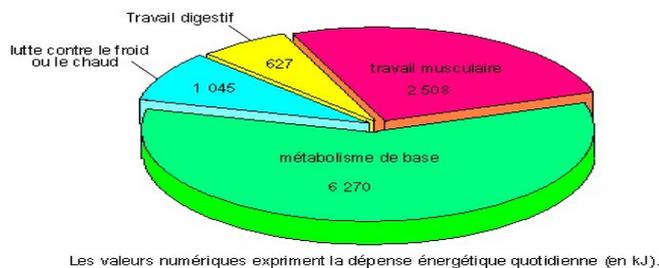
2.2 – DEFINITION.

Même si un mammifère ne réalise aucun effort physique, et s'il n'a à lutter ni contre le chaud ni contre le froid, il a besoin d'un minimum d'énergie pour assurer le maintien des fonctions essentielles de la vie. Ce minimum énergétique représente le métabolisme de base ou métabolisme de repos.

Le métabolisme de base est donc la quantité de chaleur libérée par un sujet vigilant, au repos absolu (allongé et ne pensant à rien) à une température de neutralité thermique et à jeun depuis 12 heures.

2.3 – CONDITIONS DE MESURE DU METABOLISME BASAL.

L'évaluation du métabolisme de repos chez un homme s'effectue dans des conditions très précises : l'individu doit être à jeun depuis 12 heures, afin d'éliminer les dépenses liées au travail digestif ; le sujet doit être au repos intellectuel (afin de réduire au minimum l'activité des neurones) ; et au repos physique (afin de supprimer l'activité musculaire, sauf le tonus musculaire qui est permanent) ; le sujet doit être placé à une température ambiante dite de neutralité thermique, afin d'éliminer les dépenses énergétiques liées au maintien de la constance de la température interne du corps.



Le métabolisme représente plus de la moitié de la dépense énergétique quotidienne chez un sujet adulte ayant une activité physique modérée (voir diagramme ci-contre).

TRAVAIL DEMANDE : calculer, en pourcent, la part du métabolisme de base dans la dépense énergétique quotidienne de ce sujet.

2.4 – SIGNIFICATION DU METABOLISME DE BAS

Le métabolisme de repos est une constante physiologique qui mesure la dépense nécessaire au maintien de l'homéothermie et aux travaux irréductibles tels que les mouvements respiratoires et cardiaques, le fonctionnement des centres nerveux, les sécrétions continues (hormones, urines, bile, ...), biosynthèses cellulaires, ...

Le métabolisme de base varie avec l'espèce, l'âge, le sexe et l'état physiologique. En effet, à masse égale, il est plus élevé chez l'homme que chez la femme. Il est très élevé à la naissance, diminue avec l'âge et s'annule à la mort de l'organisme (voir le graphe de la page 6).

Enfin, chez un même individu, certaines circonstances peuvent faire varier la valeur du métabolisme de base : grossesse (augmentation de 10 à 20 %), pathologies de la glande thyroïde (augmentation jusqu'à plus de 70 % parfois en cas d'hyperthyroïdie et baisse jusqu'à moins 30 % en cas d'hypothyroïdie).

NB : le métabolisme de base s'évalue en kilojoules par unité de temps (h) et par unité de surface corporelle (m^2).

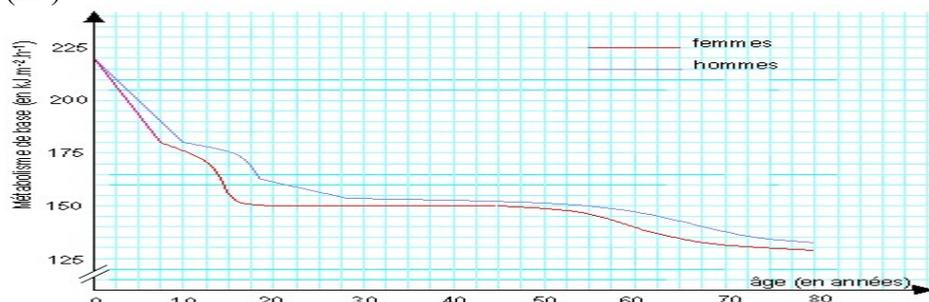


Figure : Variation du métabolisme de base en fonction de l'âge et du sexe.

Actions 3 : Réaliser la mise en évidence de la respiration chez certains organismes

- Réaliser la mise en évidence de certaines fermentations
- Expliquer les mécanismes de la respiration et de la fermentation.

SEANCE 3 : LA DEPENSE DE L'ENERGIE PRODUITE PAR LA RESPIRATION ET LA FERMENTATION.

Objectifs

Mettre en évidence le fait que la respiration et la fermentation produisent de l'énergie

Définir le terme quotient respiratoire

Définir le terme intensité respiratoire

Calculer le quotient respiratoire et l'intensité respiratoire

Relever que l'ATP est l'unique source d'énergie utilisable par les cellules

Relever que l'énergie des métabolites est transférée partiellement à des molécules d'ATP et le reste converti en chaleur.

Expliquer pourquoi le rendement énergétique de la respiration est supérieur à celui de la fermentation

Localiser les fermentations et la respiration dans la cellule

Expliquer les mécanismes biochimiques de la synthèse de l'ATP dans la cellule.

INTRODUCTION

Respiration et fermentation sont deux fonctions au cours desquelles les nutriments, formes de stockage d'une énergie chimique potentielle, sont dégradés pour libérer de l'énergie chimique directement utilisable par les cellules : ce sont des réactions de dégradation (réactions cataboliques). Puisque ces réactions cataboliques produisent de l'énergie, elles sont dites exergoniques ou exothermiques.

Par contre, les réactions de synthèse (biosynthèse des protéines par exemple) consomment de l'énergie : ce sont des réactions anaboliques ; elles sont qualifiées d'endergoniques ou endergoniques.

Les réactions cataboliques libèrent de l'énergie qui est consommée par les réactions anaboliques : ce sont des réactions couplées.

On définit le métabolisme cellulaire comme étant l'ensemble des réactions de dégradation et de synthèse se produisant dans cette cellule.

– *LA RESPIRATION : UNE PRODUCTION D'ENERGIE.*

– Définition et rappel sur les échanges gazeux respiratoires.

La respiration est une fonction biologique qui consiste à dégrader complètement une substance organique (métabolite) en présence du dioxygène, aboutissant à une libération d'énergie et des composés uniquement minéraux (sans valeur énergétique).

La totalité de l'énergie chimique du métabolite est donc extraite et mise à la disposition des cellules qui peuvent l'utiliser directement pour leur fonctionnement.

– Etude quantitative de la respiration.

– *L'intensité respiratoire (IR).*

L'intensité respiratoire est la quantité de dioxygène consommée ou de dioxyde de carbone rejetée par unité de temps et par unité de masse de l'organisme. On l'exprime généralement en $l \cdot h^{-1} \cdot kg^{-1}$.

$$IR = V_{O_2} \text{ (ou } V_{CO_2}) \frac{1}{t \text{ (h)}} \frac{1}{m \text{ (kg)}} \text{ (en } l \cdot h^{-1} \cdot kg^{-1})$$

TRAVAIL DEMANDE : Un rat de 150 g est placé dans un respiromètre dont la température de l'enceinte est ambiante (18 °C) et la pression atmosphérique normale. Au bout de 12 minutes, ce rat absorbe 74 ml d'O₂. Evaluer son IR en l/h/kg.

– *Le quotient respiratoire (QR).*

a – Définition.

Le quotient respiratoire d'un être vivant désigne le rapport du volume de CO₂ dégagé au volume d'O₂ consommé pendant le même temps. Il n'a pas d'unité.

$$QR = \frac{V_{CO_2}^{\nearrow}}{V_{O_2}^{\nwarrow}}$$

b – Mesure.

En utilisant le respiromètre volumétrique, on mesure d'abord l'intensité respiratoire de l'animal. On répète ensuite la manipulation en supprimant l'absorbant de CO₂. Il se crée une dénivellation dans le manomètre. Après compensation de la dénivellation, on mesure le volume d'eau écoulée de la burette. Il correspond à un volume différentiel (Vd)

$$Vd = V_{O_2} \text{ absorbé} - V_{CO_2} \text{ dégagé.}$$

$$\text{On en tire } V_{CO_2} \text{ dégagé} = V_{O_2} \text{ absorbé} - Vd.$$

Remarque : Durant cette mesure, l'animal se trouve en air confiné : la mesure ne doit donc pas être prolongée.

TRAVAIL DEMANDE : Une souris de 20 g placée dans un respiromètre volumétrique à 18 °C et sous une pression atmosphérique normale consomme 25.6 ml de dioxygène en 12 minutes. En supprimant l'absorbant de CO₂, on laisse couler après 12 minutes, 3.8 ml d'eau de la burette graduée pour ramener la dénivellation dans le manomètre au niveau 0.

Evaluer le QR de cette souris.

– *Variations de l'IR et du QR.*

a – Variations de l'IR.

IR varie en fonction de l'activité physique, de la température externe chez les endothermes, de l'âge, du sexe et de l'état physiologique. D'une manière générale, l'IR est étroitement liée à la libération d'énergie par l'organisme.

b- Variations du QR.

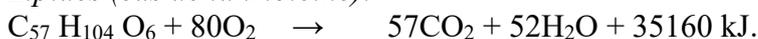
QR varie selon les aliments ingérés.

Glucides (cas du glucose) :



$$QR = 6V_0/6V_0 = 1.$$

Lipides (cas de la trioléine):



$$QR = 57V_0/80V_0 = 0.7125.$$

Protides: QR théorique ≈ 0.85 (valeur obtenue la méthode de pondération des masses de Berthelot).

On peut donc conclure que le QR renseigne sur la nature des nutriments impliqués dans les phénomènes respiratoires. Dans le cas d'une alimentation équilibrée (comportant glucides, lipides et protides), il est admis conventionnellement que QR = 0.85.

Certains troubles métaboliques comme le diabète peuvent modifier la valeur du QR.

Remarque : Plus le quotient respiratoire est grand, plus la production d'énergie par litre de dioxygène consommée est importante.

– *LA FERMENTATION : AUTRE VOIE DE PRODUCTION D'ENERGIE.*

– Définition

Les fermentations sont des oxydations très incomplètes des métabolites, réalisées pour certaines en présence du dioxygène (aérobiose), pour d'autres en absence du dioxygène (anaérobiose). Parmi les déchets figurent toujours les molécules organiques encore riches en énergie chimique potentielle.

– Différents types de fermentations.

– *Fermentation éthylique ou alcoolique.*

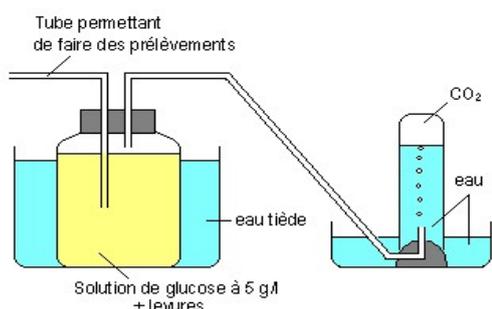
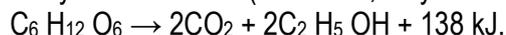


Figure : Dispositif expérimental.

La **fermentation alcoolique** est la transformation anaérobie du glucose en éthanol et en dioxyde de carbone (Lavoisier ; Gay Lussac, 1810).

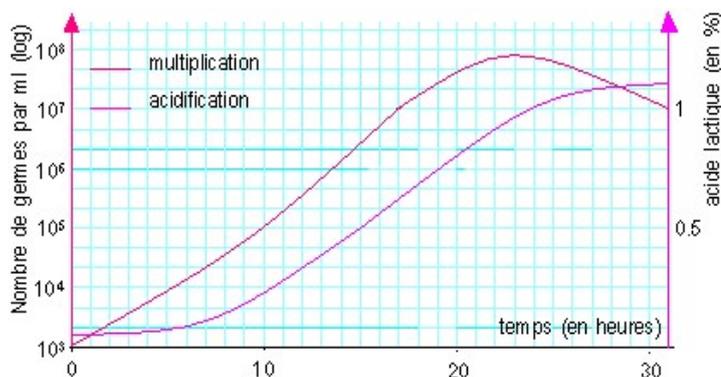


Glucose éthanol

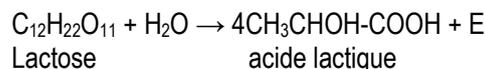
La réaction est catalysée par des enzymes produites par les **levures de bière** (genre *Saccharomyces*).

La progression de la réaction peut être suivie à l'aide d'un réactif spécifique (le dichromate de potassium) qui vire de l'orange au vert en présence de l'alcool ou à l'aide des bandelettes réactives qui permettent de suivre la disparition progressive du glucose.

– *Fermentation lactique.*



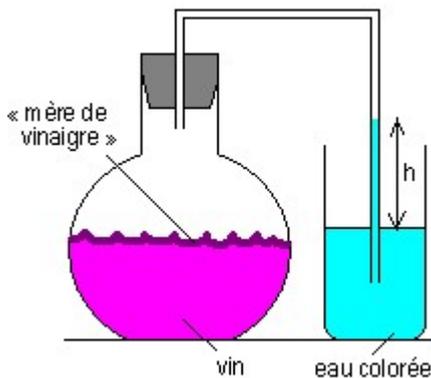
La **fermentation lactique** est la transformation anaérobie du lactose du lait frais en acide lactique (lactate). Cet acide fait coaguler la caséine du lait, transformant ainsi le lait en lait caillé (principe de fabrication du fromage).



L'énergie libérée est de 272 kJ par mole de lactose fermenté.

Les agents de la fermentation lactique sont des espèces de bactéries lactiques (lactobacilles en bâtonnets et les streptocoques en chaînettes). On a pu démontrer expérimentalement que l'acidification du milieu est fonction du développement des bactéries (voir graphe de la page 8).

– *Fermentation acétique.*



La **fermentation acétique** est la transformation aérobie de l'éthanol en acide acétique (acide éthanoïque). Elle permet de transformer le vin en vinaigre.



Ethanol acide acétique

Les agents de la fermentation acétique sont les **bactéries acétifiantes** (*Mycoderma aceti*). Elles se développent en surface, formant un voile bactérien appelé « **mère de vinaigre** ».

L'énergie libérée au cours de ce processus est utilisée par le *Mycoderme* pour son métabolisme.

TRAVAIL DEMANDE : Formuler une hypothèse permettant d'expliquer la dénivellation h. Pourquoi les bactéries acétifiantes se multiplient-elles uniquement en surface ?

NB : La multiplication des bactéries cesse lorsque le milieu contient 6 à 12 % d'acide acétique.

– *Fermentation butyrique.*

La fermentation butyrique est la transformation anaérobie de l'amidon et de la cellulose en acide butyrique ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$) et en CO_2 ; avec libération d'énergie.

La réaction est catalysée par les enzymes produites par les bactéries du genre *Clostridium*.

Conclusion.

Les fermentations sont des réactions de dégradation incomplète qui produisent de l'énergie utilisable par les cellules.

TRAVAIL DEMANDE : Comparer, dans le cas des levures, la quantité d'énergie libérée par la fermentation alcoolique et celle libérée lors de la respiration.

Sous quelle forme les cellules utilisent-elles l'énergie produite par la respiration ou par la fermentation ?

– DEPENSE ENERGETIQUE PAR LES CELLULES.

– *PRINCIPALES FORMES DE DEPENSE D'ENERGIE PAR LES CELLULES.*

Toutes les fonctions biologiques accomplies par les cellules nécessitent de l'énergie. Ainsi, toutes les cellules ont besoin d'énergie pour leur renouvellement moléculaire, pour leur croissance, pour leur activité enzymatique, ...

D'autres fonctions biologiques consommatrices d'énergie sont spécifiques :

certaines cellules effectuent un travail mécanique : cas des cellules qui se déplacent, se déforment ou se contractent ;

d'autres effectuent un travail chimique (synthèse des substances destinées à l'exportation) : cas des cellules glandulaires ;

d'autres enfin effectuent un travail électrochimique (élaboration et conduction des potentiels d'action) : cas des neurones.

Toutes ces activités s'accompagnent d'une consommation d'énergie et d'un dégagement de chaleur.

Les cellules vivantes dépendent donc l'énergie sous des formes variées : calorifique, chimique, mécanique, électrique,...

– L'ATP ; SEULE SOURCE D'ENERGIE.

– Définition.

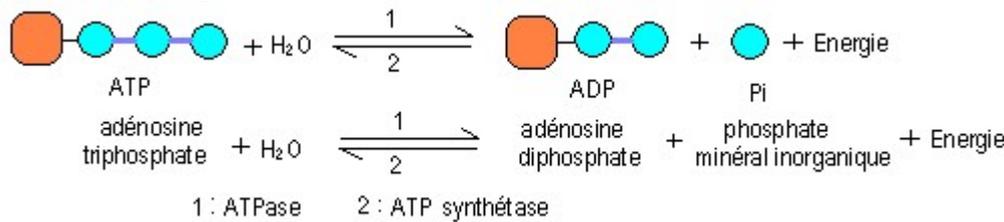
Pour couvrir ses dépenses d'énergie, la cellule n'utilise pas directement les nutriments issus de la digestion mais des stocks d'énergie chimique immédiatement disponibles, représentés par les molécules phosphatées dont la plus importante est l'ATP.

L'ATP ou Adénosine Triphosphate est une molécule universellement répandue chez les êtres vivants. Elle comporte trois groupements phosphates (ou phosphoryles).

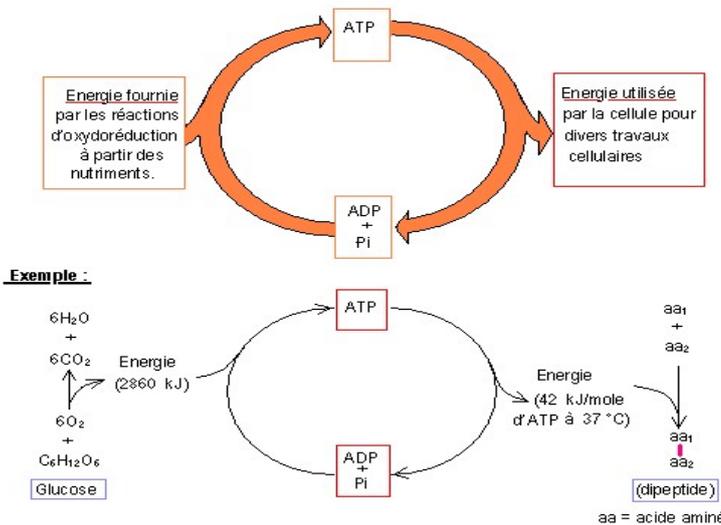
Son hydrolyse, catalysée par une enzyme (ATPase) rompt la dernière liaison phosphate et produit une molécule d'ADP (adénosine diphosphate) avec libération d'énergie (environ 31 kJ.mol⁻¹ d'ATP hydrolysée à 25 °C et 42 kJ.mol⁻¹ d'ATP hydrolysée à 37 °C)

L'hydrolyse de l'ATP est généralement associée à une autre réaction qui, acceptant le groupement phosphate libéré, voit son potentiel énergétique accru : c'est la réaction de synthèse de l'ATP à partir de l'ADP ou phosphorylation de l'ADP. Elle admet pour biocatalyseur l'ATP synthétase.

Les réactions d'hydrolyse et de synthèse de l'ATP peuvent être qualifiées de couplées car un transfert d'énergie se produit d'une molécule à une autre.



– Rôle de l'ATP.



Un blocage de l'hydrolyse de l'ATP par une substance chimique spécifique entraîne l'arrêt immédiat de toute activité cellulaire.

C'est donc bien à partir de l'hydrolyse de l'ATP que la cellule puise l'énergie nécessaire à son fonctionnement. **L'ATP est en quelque sorte la « monnaie unique » des transferts d'énergie dans la cellule** c'est-à-dire le maillon incontournable des transferts d'énergie dans la cellule.

Remarque : L'ATP est un nucléotide énergétique : Adénine + sucre → adénosine (nucléoside) et Adénosine + 3 phosphoryles → ATP.

D'autres nucléotides énergétiques du monde vivant comprennent :

UTP (uridine triphosphate) : uracile + sucre + 3 groupements phosphates ;

GTP (guanosine triphosphate) : guanine + sucre + 3 phosphoryles.

CTP (cytidine triphosphate) : cytosine + sucre + 3 phosphoryles ;

TTP (thymidine triphosphate): thymine + sucre + 3 phosphoryles.

– Le problème de reconstitution de l'ATP.

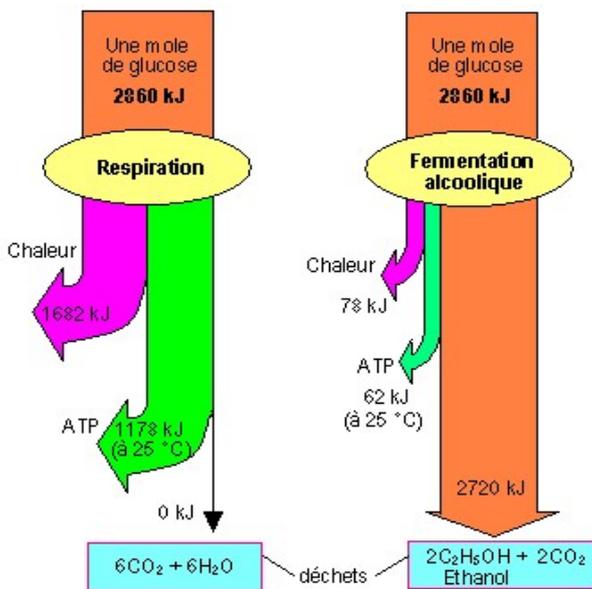
Dans une cellule, les réserves d'ATP sont très faibles. Une bactérie par exemple n'en possède qu'une quantité lui permettant de vivre pendant une seconde. Or dans une cellule, l'ATP est consommée en permanence ; il faut donc admettre que la cellule peut reconstituer ou recycler l'ATP.

Des études expérimentales chez l'homme au repos montrent qu'environ 40 g d'ATP sont reconstitués puis réutilisés chaque jour. Pour reconstituer ces molécules d'ATP, la cellule utilise l'énergie libérée lors de l'oxydation des nutriments organiques ou métabolites.

Par quels mécanismes ces molécules (nutriments), riches en énergie chimique potentielle, cèdent-elles de l'énergie à l'ADP pour reconstituer l'ATP ?

– *TRANSFERT PARTIEL DE L'ENERGIE DES METABOLITES AUX MOLECULES D'ATP ET LA CONVERSION DU RESTE EN CHALEUR.*

Respiration et fermentation représentent deux voies différentes pour renouveler l'ATP par libération de l'énergie des métabolites.



Si on prend pour métabolite énergétique le glucose :

- la respiration permet une **libération totale** de l'énergie chimique du métabolite puisque les déchets (dioxyde de carbone et eau) ont une énergie chimique nulle ;
- la fermentation ne permet qu'une **libération partielle** de l'énergie chimique du métabolite puisque l'éthanol est un déchet organique riche en énergie.

Dans les deux cas, une partie de l'énergie des métabolites est transférée aux **molécules d'ATP** qui représentent la source fondamentale d'énergie directement utilisable par les cellules ; le reste est converti en **chaleur**, forme d'énergie non utilisable pour l'activité cellulaire.

TRAVAIL DEMANDE : Calculer le rendement énergétique de chaque voie métabolique. Comparer et tirer une conclusion.

– *RENDEMENT ENERGETIQUE DE LA RESPIRATION ET DE LA FERMENTATION.*

Le rendement énergétique est le rapport entre l'énergie qui est effectivement récupérée sous forme d'ATP et l'énergie totale fournie.

– Cas de la respiration.

Prenons pour métabolite une mole de glucose qui représente une énergie chimique potentielle de 2860 kJ.

D'après le schéma précédent, le rendement énergétique de la respiration est de

$$1178/2860 \times 100 = 41.18 \%$$

TRAVAIL DEMANDE : *Emettre une explication justifiant ce rendement inférieur à 100% malgré la libération totale de l'énergie chimique du glucose.*

– Cas de la fermentation.

Soit une molécule de glucose dégradée par fermentation alcoolique. D'après le schéma de la page 11, on peut évaluer le rendement énergétique de la fermentation :

$$62 / 2860 \times 100 = 2.16 \%$$

– Conclusion.

Respiration et fermentation sont deux processus libérateurs d'énergie dont le rendement énergétique est très différent : il est relativement bas dans le cas de la fermentation.

Cette différence s'explique par le fait que la libération de l'énergie chimique du métabolite est complète dans le cas de la respiration et partielle dans le cas de la fermentation.

NB : la chaleur rayonnée (dissipée) n'est pas inutile. Chez les animaux homéothermes (à sang chaud), cette chaleur sert au maintien de l'homéothermie.

Quelle est la base structurale des différences entre la respiration et la fermentation ?

– *CATALYSE COMPLETE DANS LA RESPIRATION.*

4.5.1 - Observations.

L'observation microscopique des cellules de levure montre l'existence des mitochondries dont le degré de développement diffère selon que la cellule se trouve en aérobiose ou en anaérobiose. En effet, ces organites se raréfient et s'atrophient, devenant difficilement visibles en anaérobiose.

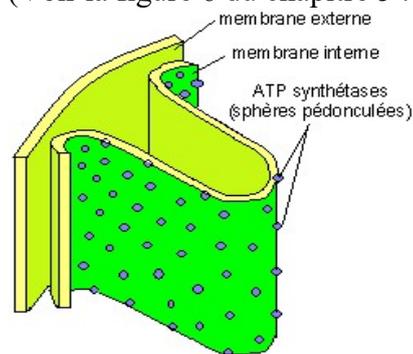
On peut donc penser que les mitochondries interviennent dans la respiration.

Les mitochondries sont présentes dans toutes les cellules (à l'exception des cellules procaryotes comme les bactéries). Leur structure et leur fonction sont toujours les mêmes quelle que soit la cellule considérée.

4.5.2 – Structure et rôle des mitochondries.

La présence des mitochondries est mise en évidence au très fort grossissement de la cellule eucaryote après coloration au vert Janus.

(Voir la figure 6 du chapitre 5 : ultrastructure de la mitochondrie)



	Particularités de la composition chimique	Équipement enzymatique
Membrane externe	40 – 50 % lipides 50 – 60 % protéines	Comparable à celui de la membrane plasmique
Membrane interne	20 % lipides 80 % protéines	Nombreuses enzymes dont l'ATP synthétase
Matrice	* pas de glucose * présence d'acide pyruvique et d'ATP	Déshydrogénases et décarboxylases.
Hyaloplasme	Présence de glucose et d'acide pyruvique	Déshydrogénases.

L'analyse biochimique et les observations détaillées des différentes parties de la mitochondrie permettent de dresser le tableau et la figure de la page 12.

La composition chimique et l'équipement enzymatique des mitochondries confirment que ces organites sont spécialisés dans la synthèse de l'ATP : ce sont les « centrales énergétiques » de la cellule eucaryote vivante.

4.5.3 – Conclusion.

La catalyse complète des nutriments (glucose) au cours de la respiration se fait en deux phases : une 1^{ère} phase qui aboutit à la formation de l'acide pyruvique par déshydrogénations successives du glucose : c'est la glycolyse. Elle a lieu dans le hyaloplasme.

Une 2^{ème} phase qui consiste en des réactions de déshydrogénation et de décarboxylation permettant l'oxydation complète de l'acide pyruvique : c'est le cycle de Krebs ou cycle de l'acide citrique. Il a pour siège la matrice mitochondriale.

– *CATALYSE INCOMPLETE DANS LA FERMENTATION.*

Les levures cultivées en anaérobiose présentent des mitochondries atrophiées et en nombre très réduit.

Les réactions de fermentation ne se produisent pas dans les mitochondries. La catalyse incomplète des nutriments (glucose) au cours de la fermentation se fait en deux phases :

la glycolyse (suite de réactions qui dégradent une molécule de glucose (6 atomes de carbone) en deux molécules d'acide pyruvique (3 atomes de carbone)) ; elle se déroule dans le hyaloplasme.

Une 2^{ème} phase qui se déroule toujours dans le hyaloplasme permet de produire un résidu organique riche en énergie chimique à partir de chaque molécule d'acide pyruvique.

– LES GRANDES ETAPES DE LA SYNTHÈSE DE L'ATP.

– *LA GLYCOLYSE.*

Qu'il s'agisse de la respiration ou de la fermentation, la dégradation du glucose débute toujours dans le hyaloplasme de la cellule par une glycolyse.

Le déroulement de la glycolyse est un processus complexe. On peut cependant retenir :

qu'il ne consomme pas de dioxygène ;

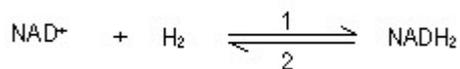
qu'il existe dans la respiration et la fermentation ;

qu'il comprend dix réactions catalysées chacune par une enzyme spécifique et produisant une série de métabolites intermédiaires entre le produit initial (glucose) et le produit final (acide pyruvique) ;

que le bilan énergétique de la glycolyse se traduit par la synthèse de 2 moles d'ATP par mole de glucose oxydé ;

que la réaction fondamentale est une déshydrogénation, catalysée par une déshydrogénase, correspondant à une réaction d'oxydoréduction qui nécessite la présence d'un accepteur ou transporteur universel d'hydrogène oxydé (T^+). Il s'agit dans ce cas spécifique de la nicotinamide adénine dinucléotide oxydé (NAD^+) ;

NB : Le transporteur d'hydrogène oxydé accepte deux atomes d'hydrogène (ou deux électrons) et passe sous la forme réduite (TH_2). Si on a la NAD^+ , la réaction s'écrit :



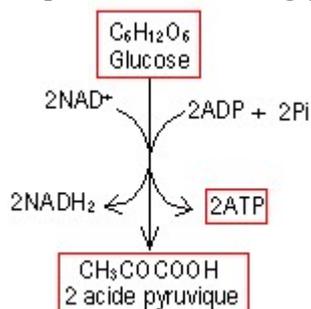
La réaction inverse (2) permet de recycler les accepteurs d'hydrogène ; assurant ainsi la poursuite de la glycolyse.

Respiration et fermentation correspondent finalement à deux voies différentes de dégradation de l'acide pyruvique :

dégradation totale dans le cas de la respiration ;

dégradation partielle dans le cas de la fermentation.

L'équation bilan de la glycolyse peut s'écrire ainsi qu'il suit :



– RESPIRATION : LE CYCLE DE KREBS.

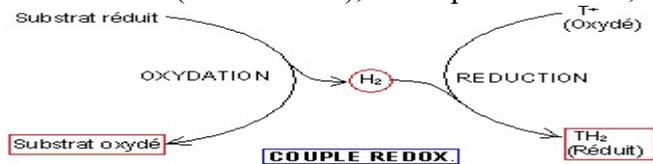
Le cycle de Krebs est une série de décarboxylations oxydatives, de déshydrogénations, associées à des réductions des transporteurs et à des hydratations qui dégradent progressivement le radical acétyle fixé par le coenzyme A sur l'acide oxaloacétique. Cet acide est régénéré à la fin du cycle, alimentant ainsi le cycle.

Le cycle de Krebs se déroule dans la matrice de la mitochondrie. Il permet la libération de dioxyde de carbone, la production d'une quantité réduite d'ATP et conduit à la formation d'un grand nombre de transporteurs réduits (TH₂) qui sont ré oxydés dans la chaîne respiratoire (chaîne d'oxydoréduction) située dans la membrane interne de la mitochondrie, ce qui permet ensuite la synthèse d'une grande partie des molécules d'ATP, grâce aux sphères pédonculées.

DEFINITIONS

Décarboxylation oxydative : élimination d'un groupement CO₂ d'une molécule sous l'action d'une enzyme, la décarboxylase), qui catalyse l'oxydation de la molécule en présence de coenzyme.

Déshydrogénation : élimination de deux atomes d'hydrogène d'une molécule par une déshydrogénase lors d'une oxydation en l'absence d'O₂. Ces atomes sont récupérés par un transporteur oxydé (T⁺ ou Tox) qui devient réduit (TH₂ ou Tred), alors que le substrat, de réduit devient oxydé.



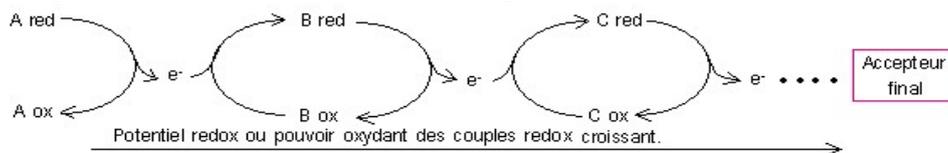
Coenzyme A : molécule organique dérivant d'une vitamine (groupe B). Le coenzyme A transporte un groupe acétyle (CH₃-CO) provenant de la dégradation des glucides, lipides et acides aminés dans le hyaloplasme vers la matrice de la mitochondrie où se poursuit la dégradation du radical par le cycle de Krebs.

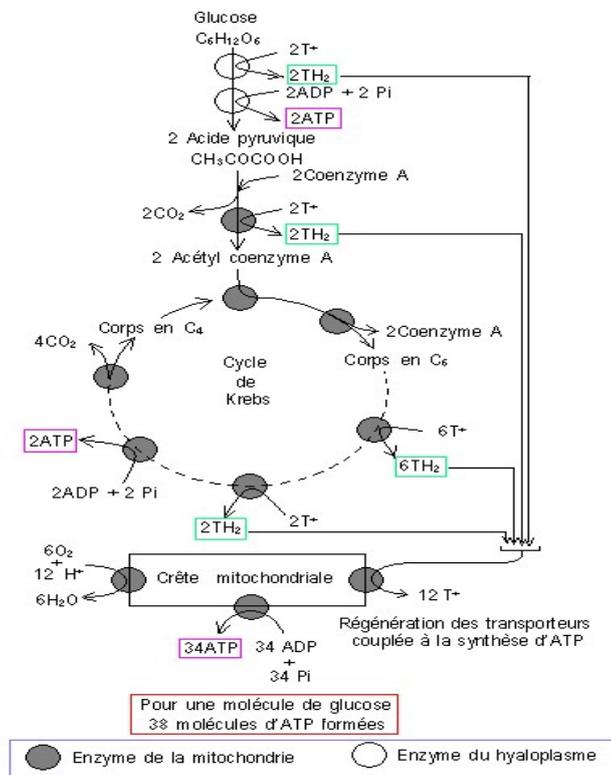
Acide oxaloacétique (HOOC-CH₂-CO-COOH) : acide carboxylique à 4 atomes de carbone qui fixe le groupement acétyle apporté l'acétyl-CoA et donne un acide carboxylique à 6 atomes de carbone, l'acide citrique.

Transporteur d'hydrogène : molécule oxydée de type coenzyme capable de fixer et de transporter deux protons et deux électrons. Le transporteur est alors réduit.

Chaîne respiratoire : chaîne d'oxydoréduction contenue dans la membrane interne de la mitochondrie. Il s'agit d'un ensemble de transporteurs d'hydrogène classés suivant leur potentiel redox* croissant. Les électrons parcourant cette chaîne engendrent un champ électrique responsable du pompage, contre un gradient de pH, des protons H⁺ qui s'accumulent dans l'espace inter membranaire des mitochondries.

Le dioxygène est l'accepteur final de cette chaîne de transporteurs. En fixant les protons H⁺, il est lui-même réduit, permettant la formation de molécules d'eau.





Remarque : le **potentiel redox** est la force de rétention des électrons par une molécule et/ou d'attraction des électrons par une autre molécule. Les électrons peuvent ainsi passer d'une molécule à une autre.

NB : Le recyclage des transporteurs est couplé à la synthèse d'ATP grâce aux ATP synthétases fixées dans la membrane interne de la mitochondrie. Ainsi, l'activité mitochondriale forme 18 ATP par molécule d'acide pyruvique dégradée.

Si l'on tient compte de la glycolyse, la respiration cellulaire produit au total **38 ATP par mole de glucose oxydé**. Le reste de l'énergie est dissipé sous forme de chaleur.

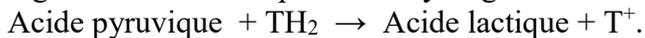
Figure : Respiration aérobie.

– **FERMENTATION : LA GLYCOLYSE.**

La fermentation assure un recyclage direct des transporteurs d'hydrogène.

– Cas de la fermentation lactique.

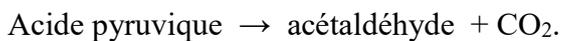
L'acide pyruvique issu de la glycolyse est réduit en acide lactique. Cette réaction est couplée avec la régénération du transporteur d'hydrogène.



– Cas de la fermentation alcoolique.

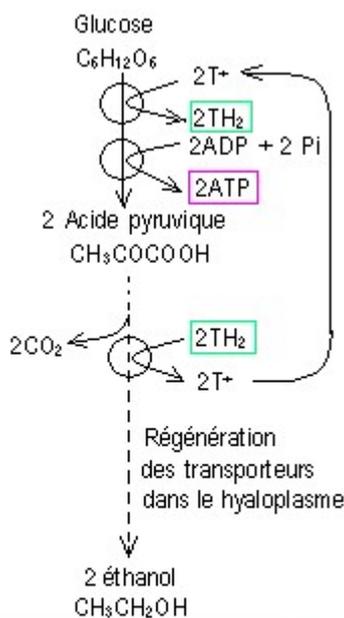
L'acide pyruvique est d'abord décarboxylé. Le métabolite qui en résulte (l'acétaldéhyde) est ensuite réduit en éthanol avec régénération du transporteur d'hydrogène.

Les deux réactions successives sont donc :



NB : Ces réactions d'oxydoréduction ne libèrent pas une quantité suffisante d'énergie pour permettre la synthèse d'ATP : l'énergie est alors libérée sous forme de chaleur.

Les fermentations produisent l'ATP seulement au cours des réactions de la glycolyse.



Pour une molécule de glucose
2 molécules d'ATP formées

○ Enzyme du hyaloplasme

Figure : Fermentation alcoolique.

Critères	Respiration	Fermentation
Rendement énergétique	Important (40%)	Faible (2%)
Dégradation	complète	Incomplète
Condition	aérobie	Anaérobie à l'exception de la fermentation acétique
Produits finaux	Substances minérales	Résidus organiques + minéraux
Localisation	Cytosol + mitochondrie	Cytosol

Exemples de situations 4 : La régulation du métabolisme du glucose par le foie

Catégorie d'action 5 : Interprétation des analyses de laboratoires et de l'évolution de certains paramètres physiologiques au cours de l'exercice musculaire.

Action 1 : Former /éduquer sur la fonction régulatrice du foie dans le métabolisme du glucose

Famille de situations : Problème liés à l'utilisation d'énergie dans les écosystèmes

Exemple de situation 6 : Conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique

Situation de vie

ANITA voulant améliorer sa production végétale place ses plants de tomates dans un milieu éclairé pendant une durée de 4 mois d'une part et les plants de gombo dans un milieu où l'éclairage est suivi de l'obscurité et ce pendant 4 mois également. Au bout du temps fixé, elle constate que les plants de

tomates n'ont pratiquement rien produit alors qu'elle a obtenue une très bonne production de gombo. Elle conclut donc que l'obscurité améliore la production végétale. Pour ce fait elle planta de la tomate dans un milieu dépourvu de lumière ; à la fin elle n'obtint aucune tomate.

- 1- Expliquez ces différences de productions végétales
- 2- Expliquer les phénomènes chimiques qui se déroulent dans le végétale pendant la lumière d'une part et pendant l'obscurité d'autre part.

Catégorie d'action 6 : Sensibilisation sur le rôle joué par les végétaux verts à travers la photosynthèse au sein de l'environnement.

Actions 1&2

- Réaliser la mise en évidence de l'émission des radiations par la lumière blanche
- Réaliser la mise en évidence de l'absorption des radiations lumineuses par la chlorophylle

EQUENCE VI : LA CONVERSION DE L'ENERGIE LUMINEUSE EN ENERGIE CHIMIQUE.

INTRODUCTION ET OBJECTIFS.

Les végétaux chlorophylliens synthétisent les substances organiques (glucides, protides, lipides) en utilisant l'énergie lumineuse captée par la chlorophylle logée dans les chloroplastes : c'est la photosynthèse. La source de carbone indispensable aux synthèses est le dioxyde de carbone que la plante chlorophyllienne éclairée puise dans le milieu. Ces synthèses s'accompagnent d'un dégagement de dioxygène dont la mesure permet d'évaluer l'importance de la photosynthèse.

- *Comment l'énergie lumineuse est-elle convertie en énergie chimique par les végétaux chlorophylliens ?*
- *Comment est assurée l'assimilation du dioxyde de carbone c'est-à-dire son incorporation dans les molécules organiques produites par la photosynthèse ?*

SEANCE 1 : LE CAPTAGE DE L'ENERGIE LUMINEUSE PAR LES VGETAU VERTS

Objectifs :

- déterminer la composition de la chlorophylle
- Relever que les plantes vertes captent l'énergie lumineuse
- réaliser le spectre d'action et le spectre d'absorption de la chlorophylle

1-La chlorophylle

Activité fig 6.1

La chlorophylle est un pigment vert localisé dans les chloroplastes, organites cellulaires abondants dans les cellules des parties vertes de la plante (feuilles, certaines tiges) et absentes dans les parties non chlorophylliennes telles que les racines, les pétales des fleurs.

b) Extraction de la chlorophylle :

Pour extraire la chlorophylle brute, on broie les feuilles vertes(feuille de manioc par exemple) dans un mortier contenant un peu de sable (facilite le broyage et la libération des pigments), ensuite on y ajoute un peu d'alcool à 90°(pour dissoudre les pigments). On obtient après filtration un liquide vert qui est une solution alcoolique de chlorophylle brute.

c)Séparation des différents pigments de la chlorophylle brute

on peut séparer les différents pigments de la chlorophylle brute par solubilité différentielle (*Phase benzénique verte(chlorophylle a et b) et la Phase alcoolique (carotèneet xanthophylle)*)ou par chromatographie à l'aide du papier whatman(4 pigments : *chlorophylle a(vert) ; chlle b(vert- clair); xanthophylle(jaune) et caroténoïdes (orange)*)

2- L'absorption de la lumière par la chlorophylle.

2-1 SPECTRE D'EMISSION DE LA LUMIERE BLANCHE.

Figure 6.2

La lumière blanche (soleil ou lampe) décomposée par un prisme laisse apparaître sept radiations aux couleurs de l'arc-en-ciel (violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange, rouge). Ces sept radiations constituent le spectre d'émission de la lumière blanche.

2-2 SPECTRE D'ABSORPTION DE LA CHLOROPHYLLE BRUTE.

Figure 6.3

Si on interpose entre la source de lumière blanche et le prisme une solution alcoolique de chlorophylle brute, on observe sur l'écran un nouveau spectre qui représente le spectre d'absorption de la chlorophylle brute, spectre dans lequel les bandes sombres correspondent aux radiations lumineuses absorbées par la chlorophylle.

2-3 SPECTRE D'ACTION DE LA CHLOROPHYLLE.

– Expérience d'Engelmann

Les *bacterium thermo* (bactéries) sont aérobies obligatoires.

Engelmann éclaire une suspension de bactéries cultivées dans un milieu contenant des algues vertes (spirogyres).

La répartition des bactéries dans le milieu de culture et le spectre d'absorption de la chlorophylle sont donnés par la figure suivante :

Figure 6.4

– Interprétation.

Les spirogyres absorbent différentes radiations lumineuses pour réaliser la photosynthèse. Cette synthèse se caractérise par un dégagement de dioxygène qui détermine la répartition des bactéries : elles sont plus attirées par les zones (radiations) où le dégagement de dioxygène est important.

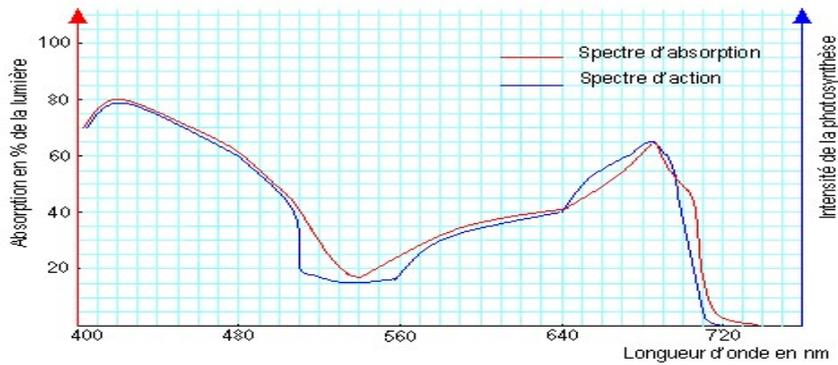
TRAVAIL DEMANDE : Citer les radiations où le dégagement d'O₂ est important. Citer les radiations les plus absorbées par les bactéries. Comparer les deux listes et tirer une conclusion.

– Conclusion.

Engelmann conclut que les radiations les plus absorbées sont celles qui sont les plus efficaces pour la photosynthèse c'est-à-dire celles pour lesquelles l'intensité photosynthétique est importante. Ce sont les radiations bleue, violette et rouge essentiellement. L'IP est faible dans le jaune et nulle dans le vert.

Spectres d'action et d'absorption de la chlorophylle peuvent donc se superposer.

NB : Le spectre d'action est l'ensemble des radiations lumineuses efficaces pour la photosynthèse.



– *CONCLUSION PARTIELLE.*

Les végétaux verts captent de l'énergie lumineuse et l'utilisent pour la synthèse de leurs matières organiques.

quelles sont les structures anatomiques qui réalisent ces fonctions ?

quelle est la destinée de l'énergie lumineuse captée ?

SEANCE 2 : LE MECANISME DE LA PHOTOSYNTHESE.

Objectif : Expliquer le mécanisme de la photosynthèse

1- ULTRASTRUCTURE DU CHLOROPLASTE.

Activité fig 1.11

Au microscope électronique, un chloroplaste apparaît entouré de deux membranes (une interne et une externe). La membrane interne limite le stroma d'aspect granuleux dans lequel baignent les thylakoïdes (sacs clos et aplatis disposés parallèlement les uns par rapport aux autres). C'est à leur niveau que sont localisés les pigments photosynthétiques.

(Voir ultra structure du chloroplaste : figure 8 du chapitre 5).

L'analyse de la composition chimique des différents compartiments du chloroplaste permet de dresser le tableau suivant :

Structure ou compartiment	Constituants essentiels
Enveloppe : membrane interne et membrane externe	- lipides - caroténoïdes - protéines : * de structure ; * de transport.
Stroma	gel riche en protéines : nombreuses protéines dont Rudi-P-carboxylase* ou carboxylase (Rubisco) ARN et ADN ; Amidon ; Lipides ;
Membrane des thylakoïdes	- Pigments : * chlorophylle * caroténoïdes - Protéines : * transporteurs d'électrons ; * ATP synthétases.

* La carboxylase fixe une molécule de CO_2 sur un sucre C_5 (ribulose diphosphate ou Rudi-P) en présence de l'ATP et des transporteurs d'hydrogène réduits (TH_2). (Cycle de Calvin – Benson).

2- LES PHASES DE LA PHOTOSYNTHESE.

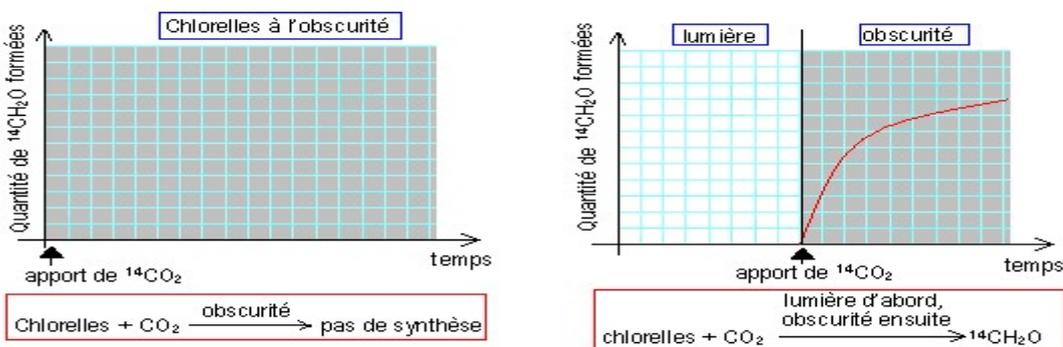
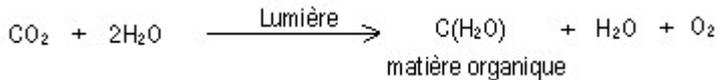
fig6.5

– Les expériences de pré illumination.

Expérience et résultats.

Les chlorelles sont les algues chlorophylliennes unicellulaires contenant un gros chloroplaste en forme de cloche. Le dosage des matières organiques formées par ces algues dans différentes conditions donne les graphes suivants.

On admet que dans le chloroplaste,



TRAVAIL DEMANDE: Pourquoi utilise-t-on du dioxyde de carbone radioactif ?

b- Conclusion.

L'incorporation du dioxyde de carbone dans les matières organiques ne dépend pas directement de la lumière mais plutôt de certains facteurs dont la lumière induirait la synthèse.

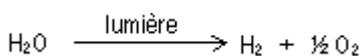
– Expérience de Ruben et Kamen (1940).

Expérience.

Une suspension d'algues fortement éclairée est placée dans une eau marquée par l'isotope radioactif ^{18}O (H_2^{18}O). Le dioxygène qui est dégagé à la lumière seulement contient uniquement des atomes d'oxygène radioactifs.

Conclusion.

En présence de la lumière, on assiste à la photodissociation de l'eau (ou photolyse de l'eau) :



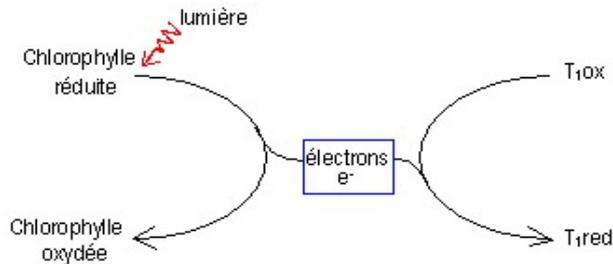
A partir de tous ces résultats expérimentaux, on a pu démontrer que la photosynthèse se réalise en deux étapes successives :

- phase de conversion de l'énergie lumineuse (phase lumineuse ou claire ou photochimique) au cours de laquelle l'énergie lumineuse est captée par la chlorophylle et convertie en énergie chimique ;

phase de synthèse glucidique (ou phase sombre ou d'assimilation ou chimique) au cours de laquelle le dioxyde de carbone est incorporé dans les molécules organiques. Les réactions chimiques de cette seconde phase utilisent les substances produites au cours de la phase lumineuse.

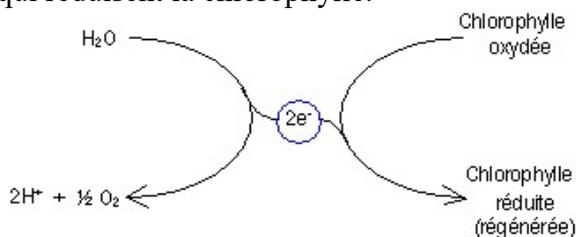
– La phase lumineuse (dans les thylakoïdes).

La chlorophylle excitée par la lumière cède des électrons à une chaîne des transporteurs d'électrons juxtaposée dans la membrane des thylakoïdes. L'accepteur final T de cette chaîne d'oxydoréduction photosynthétique est localisé dans le stroma. L'absence de ce transporteur final bloque la chaîne photosynthétique.



Comment reconstituer la chlorophylle ?

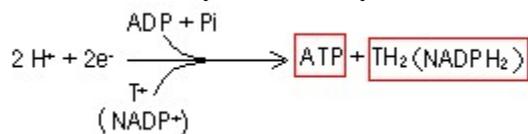
La photolyse de l'eau régénère la chlorophylle : la réduction de la chlorophylle oxydée est assurée par une réaction d'oxydoréduction avec l'eau. En effet, la molécule d'eau par photolyse fournit les électrons qui réduisent la chlorophylle.



Parallèlement, cette photolyse produit :

le dioxygène qui est rejeté ;

des protons H^+ qui sont pris en charge par des molécules assurant leur transport dans le chloroplaste et qui activent des enzymes ATP synthétases ; ces dernières catalysent la synthèse de l'ATP.



NADP = Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate.

Le bilan de cette phase préparatoire de la photosynthèse est :

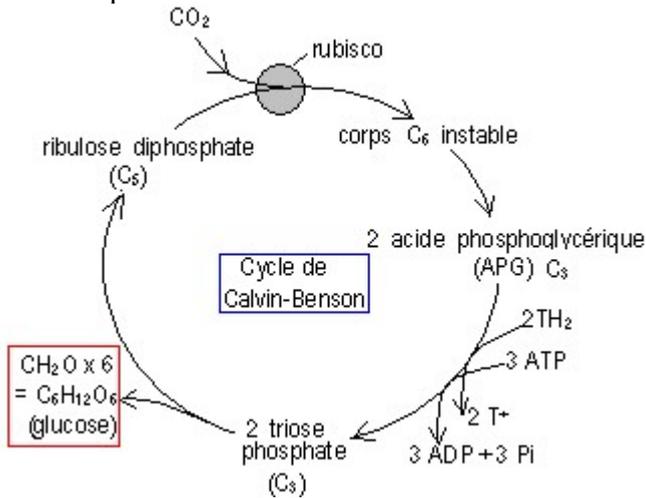
de l'énergie chimique sous forme d'ATP ;

de l'hydrogène associé à des transporteurs.

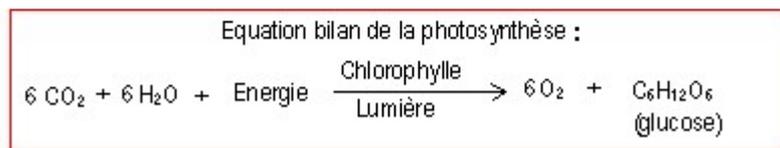
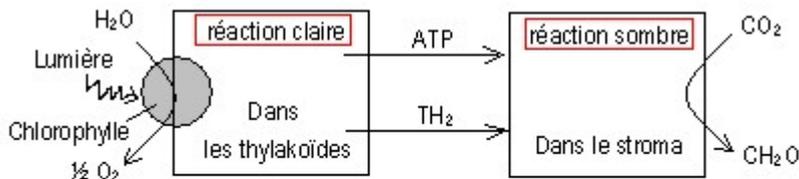
– La phase de synthèse glucidique (dans le stroma).

Cette phase ne nécessite ni la lumière, ni les pigments photosynthétiques. On assiste au cours de cette étape à la fixation d'une molécule de CO_2 sur le ribulose diphosphate, réaction catalysée la ribulose diphosphate carboxylase (rubisco). L'assimilation d'une molécule de CO_2 nécessite 3 molécules d'ATP et 2 TH_2 ; elle a lieu au cours du cycle de Calvin-Benson. Il faut en tout 6 tours de cycle de Calvin pour avoir un gain d'une molécule de glucose.

Le glucose est d'abord stocké sous forme d'amidon insoluble, puis déstockée sous forme de saccharose soluble qui est véhiculé dans la sève élaborée.



En général, on peut résumer l'ensemble du mécanisme de la photosynthèse ainsi qu'il suit :



3- LES FACTEURS DE VARIATION DE LA PHOTOSYNTHESE.

L'intensité photosynthétique varie en fonction des facteurs internes et externes :

– *LES FACTEURS INTERNES.*

L'IP varie selon :

l'espèce végétale : génétiquement, toutes les espèces végétales n'ont pas la même capacité photosynthétique (les champignons par exemple ne font pas de photosynthèse car ils n'ont pas de chlorophylle). La synthèse des enzymes spécifiques de la photosynthèse est programmée par les gènes du végétal ;

le nombre et le degré d'ouverture des stomates qui sont des structures par où diffuse le CO₂ atmosphérique ;

l'âge de la feuille.

– *LES FACTEURS EXTERNES.*

Il s'agit de :

la teneur du milieu en dioxyde de carbone : pour une espèce végétale donnée, placée dans les conditions de température et d'éclairement données et maintenues constantes, l'IP varie dans le même sens que la concentration du milieu en CO₂ pour des valeurs inférieures à 0.1 %. Au-delà de cette concentration, l'IP est maximale ;

l'intensité de l'éclairement : pour une espèce végétale donnée, placée dans les conditions de température et de concentration en CO₂ données et maintenues constantes, l'IP varie dans le même sens que l'éclairement. Il existe une valeur de l'éclairement pour laquelle les échanges gazeux respiratoires et photosynthétiques s'équilibrent : c'est le point de compensation (IP = IR) ;

la température : pour une concentration en CO₂ donnée et un éclairement maintenu constant, l'IP croît avec la température. Elle passe par un maximum (30 °C) suivie d'une chute brusque pour des températures élevées (supérieures à 45 – 50 °C) ; preuve que les réactions photosynthétiques sont catalysées par des protéines enzymes.

CONCLUSION.

La photosynthèse est une conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique par les chloroplastes des cellules chlorophylliennes ; en incorporant le dioxyde de carbone dans les molécules organiques (assimilation chlorophyllienne). C'est une véritable réaction d'oxydoréduction entre l'eau et le dioxyde de carbone : la cellule est pour cela considérée comme une véritable usine de réduction du carbone.

SEANCE 3 : IMPORTANCE DE LA PHOTOSYNTHESE

Leçon 3- Importance de la photosynthèse

Objectif : dégager l'importance de la photosynthèse

- Le dioxygène libéré permet la purification de l'air et la respiration des êtres vivants aérobies
- les végétaux chlorophylliens fabriquent la matière organique grâce à la photosynthèse et cette matière organique sert de nourriture aux hétérotrophes ; constituent la matière &ère des industries de bois, de pâtes à papier et textile.
- le pétrole et les charbons résultent de l'activité photosynthétique

SEANCE 4 : LES REACTIONS DE LA PHOTOSYNTHESE ET LE PROGRAMME GENETIQUE

Activité

Objectif : Déterminer relation entre le programme génétique et les mécanismes de la photosynthèse

L'information génétique d'un être vivant est l'ensemble des gènes portés par ses chromosomes et dirigeant le fonctionnement de ses cellules. Les réactions de la photosynthèse se déroulent à l'intérieur des chloroplastes, dans les conditions compatibles avec la vie et nécessitent des enzymes. Or les enzymes sont des protéines synthétisées sous codage de l'information génétique. *Ainsi, le type d'enzyme varie selon le type de plante. C'est ainsi que la nature de la substance élaborées par une plante dépend de son stock enzymatique. Exemple : un manguiier ne peut donner que des mangues ; un avocatier que des avocats.* En définitive, les réactions de la photosynthèse dépendent du programme génétique.

NB : une modification des gènes des plantes aboutit à la création d'une nouvelle espèce. Cette technique est utilisée par les agronomes pour améliorer la productivité et la qualité du produit

Famille de situations : Problèmes liés à l'utilisation de l'énergie dans les écosystèmes

Exemple de situations : Transfert de l'énergie dans les écosystèmes

Catégorie d'actions : Réduction des conséquences néfastes des activités humaines sur les ressources naturelles

SEQUENCE VII: LE FLUX D'ENERGIE ET LE CYCLE DU CARBONE ET DE L'AZOTE DANS LES ECOSYSTEMES.

Actions 1&2

- Construire ou analyser les pyramides énergétiques.
- Construire des cycles biogéochimiques.

RAPPELS.

Un écosystème est un ensemble formé par deux éléments en interaction permanentes : le biotope et la biocoenose. Le biotope est un environnement de nature physico-chimique, abiotique (sans vie) et bien délimité dans le temps et dans l'espace. La biocoenose est l'ensemble des êtres vivants qui habitent un biotope.

L'écosystème est l'élément fonctionnel de base de la biosphère ; il se maintient par l'intermédiaire d'un flux d'énergie et donc de matière entre ses différentes composantes en interaction permanente.

Une chaîne alimentaire ou chaîne trophique est un ensemble de relations unissant d'un point de vue alimentaire, les différents niveaux trophiques d'un écosystème.

Un réseau trophique est un ensemble de relations unissant d'un point de vue alimentaire les différents êtres vivants d'une biocoenose. Il est formé de plusieurs chaînes alimentaires ayant des maillons communs.

Un niveau trophique est une étape de la circulation de la matière dans un écosystème. On définit alors :

le niveau des producteurs primaires, noté P, qui fabriquent leurs matières organiques à partir des matières minérales et de l'énergie solaire : ce sont les autotrophes ;

le niveau des producteurs secondaires, hétérotrophes, qui prennent la matière organique chez les producteurs primaires : ce sont les consommateurs de premier ordre (C_1) ;

le niveau des producteurs tertiaires formé par les carnivores qui consomment les végétariens : ce sont les consommateurs de deuxième ordre (C_2) ;

...

NB : Même dans les écosystèmes les plus complexes, on a rarement plus de 5 à 6 niveaux trophiques ; ceci à cause de la diminution progressive de la biomasse (masse totale des organismes présents dans un niveau trophique) depuis les producteurs jusqu'aux consommateurs situés au bout des chaînes.

SEANCE 1 : DISSIPATION DE L'ENERGIE DANS LES ECOSYSTEMES.

Objectifs : -Expliquer pourquoi l'énergie initiale entrant dans l'écosystème est-elle dissipée progressivement d'un maillon à l'autre maillon de la chaîne alimentaire ;

- Etablir la relation entre le flux d'énergie et le cycle de la matière

1.1- DEFINITIONS.

La productivité primaire s'évalue par l'accroissement de la biomasse végétale exprimée par unité de temps (jours ou années) et par unité de surface ou de volume (m^2 , hectares ou m^3).

Elle s'exprime généralement par l'accroissement de la masse de la matière sèche en raison des variations importantes de la teneur en eau des végétaux.

NB : Biomasse et productivité peuvent aussi s'exprimer par leurs équivalents énergétiques. Pour cela on admet que :

1 g de matière sèche végétale correspond à 20 KJ ;

1 g de matière sèche animale correspond à 23.5 KJ.

La productivité secondaire correspond à la production des matières organiques par l'ensemble des consommateurs exprimée en poids frais ou sec par unité de temps et de surface ou de volume.

1.2- LES PERTES A CHAQUE NIVEAU TROPHIQUE.

Activité fig7.1

Une partie seulement de l'énergie absorbée par un organisme est finalement stockée dans les molécules organiques qu'il produit et se trouve donc disponible pour les consommateurs du niveau trophique suivant.

1.2.1- Les pertes au niveau des producteurs primaires.

Les végétaux chlorophylliens utilisent l'énergie solaire pour faire la synthèse des constituants organiques : ce sont donc des producteurs primaires de l'écosystème. Comme les animaux, ils dégradent une grande partie (90 %) des composés organiques produits par respiration afin de se procurer de l'énergie dont ils ont besoin. Ils sont donc consommateurs d'une partie de la matière organique qu'ils ont eux-mêmes produite.

Pour tenir compte de la respiration des végétaux, il faut donc distinguer :

la production primaire brute pour désigner l'ensemble des matières organiques produites par photosynthèse ;
le rendement photosynthétique brut évalue le pourcentage de l'énergie lumineuse stockée par le chloroplaste dans la matière organique produite ;

la production primaire nette pour désigner la quantité de matières réellement disponible pour les consommateurs de premier ordre.

$$PN = PB - RP \quad \text{avec}$$

PN : production primaire nette.
PB : production primaire brute.
RP : respiration des producteurs.

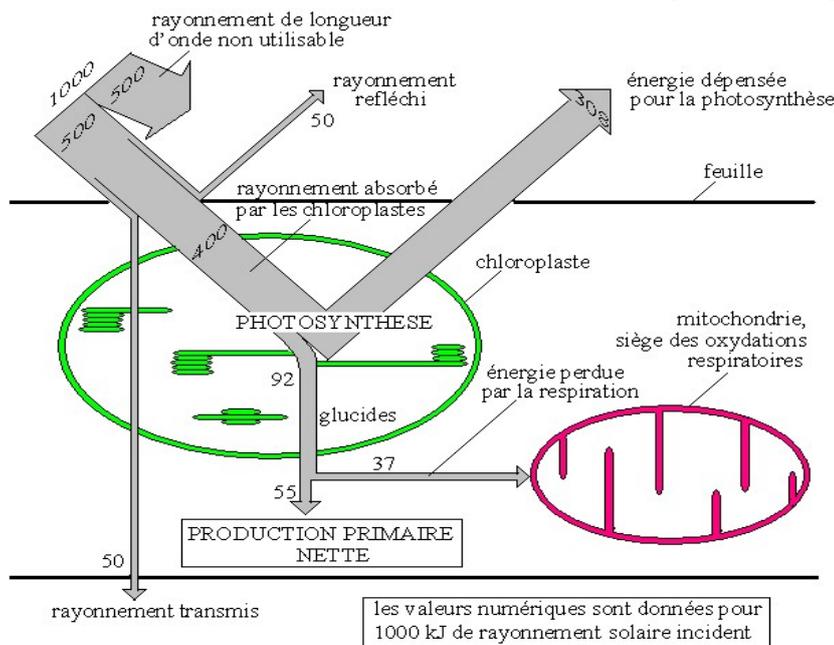


Figure : le bilan énergétique d'une plante verte cultivée (d'après Hall, 1979).

1.2.2- Les pertes au niveau des consommateurs.

Une partie des aliments ingérés (I) par les consommateurs est rejetée sans être assimilée (NA : matière non assimilée). Parmi les aliments effectivement assimilés (A : matière assimilée), une partie est dégradée par la respiration ou fermentation (R) et fournit ainsi l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'organisme du consommateur. L'autre partie est stockée dans la biomasse et mise à la disposition du niveau trophique suivant.

Pour chaque catégorie de consommateur, on peut apprécier l'efficacité de l'utilisation des aliments en mesurant les rendements écologiques suivants :

Rendement d'assimilation (RA) qui traduit l'efficacité avec laquelle les aliments sont digérés et absorbés par un organisme :

$$RA = \frac{A}{I} \times 100$$

Rendement de production (RP) qui montre quelle part des aliments absorbés est effectivement intégrée dans la matière vivante :

$$RP = \frac{P}{A} \times 100 \quad \text{avec } P = \text{quantité de matières organiques produites.}$$

- Rendement écologique de croissance (REC) qui correspond au rapport entre ce que les consommateurs d'un niveau trophique donné mettent à la disposition du niveau trophique suivant et ce qu'ils prélèvent dans la production du niveau trophique précédent

$$REC = \frac{P}{I} \times 100 \quad \text{avec } P = \text{quantité de matières organiques produites.}$$

1.2.3- Conclusion : relation entre le cycle de la matière et le flux d'énergie.

Les molécules organiques contiennent de l'énergie chimique potentielle, ce qui explique que les transferts de matière dans les réseaux trophiques d'un niveau trophique à l'autre correspondent à un flux d'énergie.

Au cours de ces transferts de matière d'un niveau à l'autre, il existe de très nombreuses pertes responsables de la diminution de la quantité d'énergie transmise :

matière non absorbée ;

matière non assimilée se retrouvant dans les excréments ;

pertes dues à la respiration ou à la fermentation, dissipées sous forme de chaleur, forme d'énergie non exploitable par les êtres vivants.

Seule une faible partie (environ 10 %) est convertie en production secondaire nette.

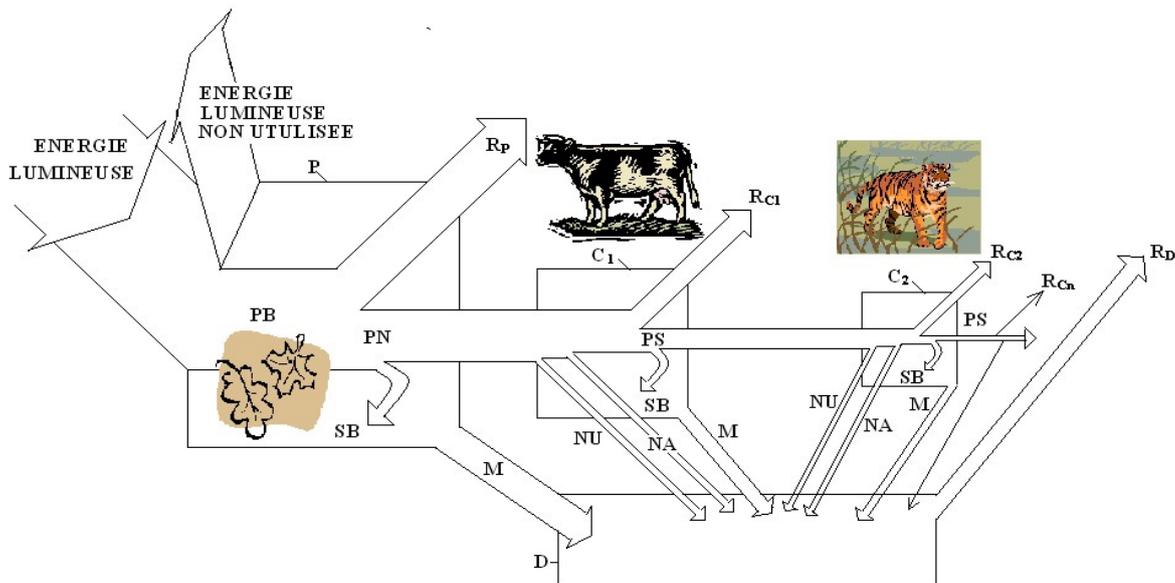


Figure : Transfert de la matière et flux d'énergie dans un écosystème.

P : Producteurs

C₁, C₂, ... C_n : Consommateurs

PN : Production nette

PS : Production secondaire

R_C : Respiration des consommateurs

NU : Non utilisée

SB : Stockée dans la biomasse

D : Décomposeurs

PB : Production brute

R_P : Respiration des producteurs

R_D : Respiration des décomposeurs

NA : Non assimilée

M : Matière organique morte

2.3- LES PYRAMIDES ECOLOGIQUES.

Les pyramides écologiques sont des formes de représentation graphiques indiquant les rapports quantitatifs entre les différents niveaux trophiques. Chaque niveau est alors représenté par un rectangle dont l'aire est proportionnelle à sa biomasse ou à son équivalent énergétique.

Il existe trois types de pyramides écologiques :

- les pyramides des biomasses ;
- les pyramides des productivités ;
- les pyramides des énergies.

1.3.1- Les pyramides des biomasses.

La pyramide des biomasses représente la masse en matière sèche des êtres vivants occupant chaque niveau trophique à un moment donné.

Son intérêt est d'indiquer la quantité de matières organiques présente à chaque niveau trophique et disponible pour le niveau suivant.

Son inconvénient est le fait que ce type de représentation ne tient pas compte de la vitesse de renouvellement de la matière organique : les biomasses mesurées pouvant être produites en quelques jours (cas du phytoplancton) ou en quelques dizaines d'années (cas d'une forêt).

1.3.2- Les pyramides des productivités.

La pyramide des productivités traduit la biomasse sèche produite à chaque niveau trophique par unité de surface et par unité de temps.

Elle donne une meilleure idée du fonctionnement de l'écosystème.

Elle ne tient pas cependant compte du fait que les tissus végétaux et animaux ont des compositions chimiques moyennes différentes et donc des valeurs énergétiques différentes.

1.3.3- Les pyramides des énergies.

La pyramide des énergies estime pour chaque niveau trophique la quantité d'énergie qui correspond à la biomasse par unité d'aire ou de volume et par unité de temps.

C'est le mode de représentation le plus satisfaisant mais le plus délicat à construire car les données sont souvent incomplètes.

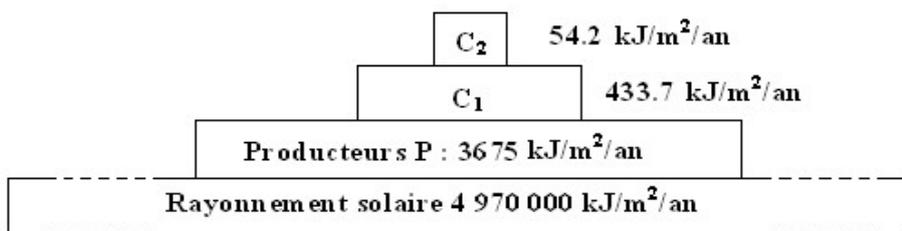


Figure : Exemple de pyramide des énergies dans un lac nord américain.

1.3.4- Conclusion.

La forme de représentation en pyramide est constante puisque chaque niveau trophique tire sa matière et donc son énergie du niveau inférieur avec un rendement faible : ceci prouve une fois de plus que l'écosystème est un système thermo dissipatif.

1.4- LES CYCLES BIOGEOCHIMIQUES.

Un cycle biogéochimique correspond au transfert et à la réutilisation d'un élément naturel biogène (élément d'origine animale ou végétale) entre les différents compartiments de la biosphère (hydrosphère, atmosphère et couches supérieures de la lithosphère).

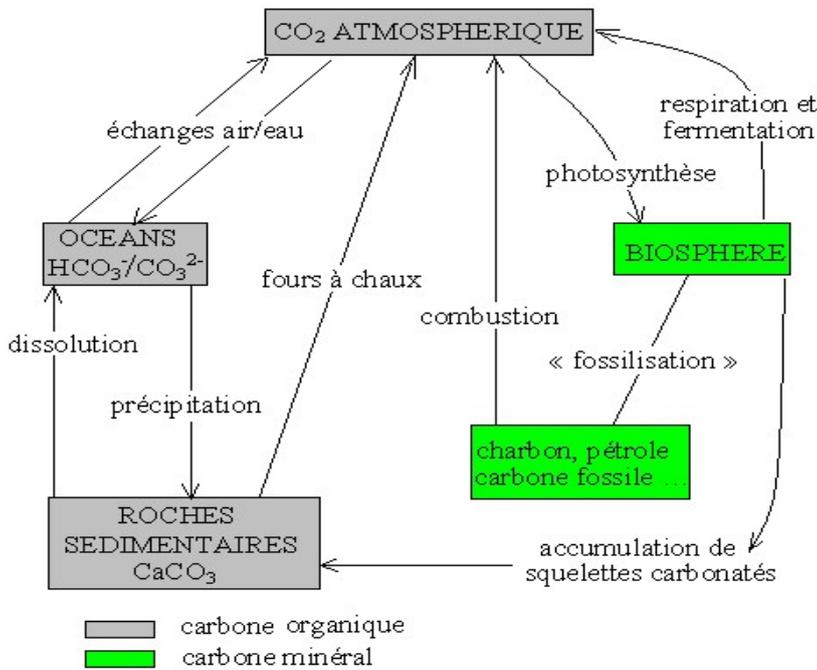
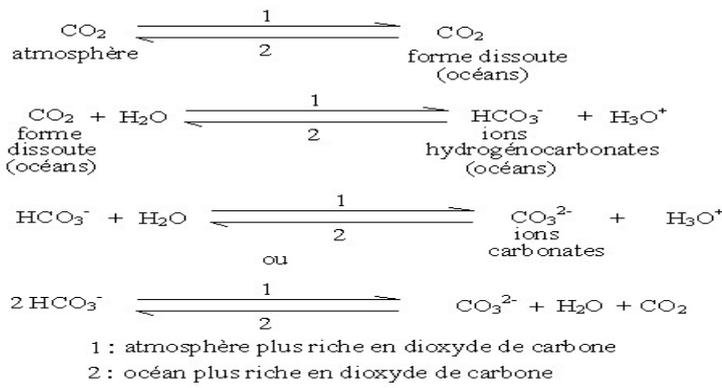


Figure : cycle (simplifié) biogéochimique du carbone.

1.4.2- Cycle biogéochimique de l'azote.

C'est le cycle au cours duquel l'élément azote passe entre les différents compartiments de la biosphère.

Les principaux réservoirs.

L'azote existe dans la nature sous deux formes :

l'azote minéral, oxydé, qui se trouve dans :

l'atmosphère sous forme d'azote libre (79 % du volume d'air) ;

la lithosphère sous forme d'azote lié aux ions ammonium ou aux ions nitrates.

l'azote organique, réduit, qui se trouve dans :

les acides aminés et les protéines des êtres vivants ;

l'humus du sol.

Passage de l'azote organique à l'azote minéral.

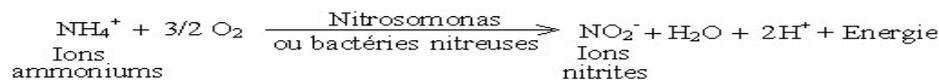
Il est l'œuvre des microorganismes essentiellement et se fait en trois étapes :

l'humification (formation de l'humus) ou putréfaction : sous l'action de certaines bactéries, des animaux détritvovores ou des champignons, la matière organique de la litière est transformée en humus avec libération du dioxyde de carbone. L'humus est un mélange de différents composés organiques provenant de la minéralisation progressive de la matière organique de la litière par les microorganismes.

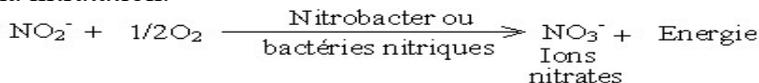
L'ammonisation ou ammonification : c'est la transformation des matières organiques azotées de l'humus en ammoniacque par les bactéries ammonifiantes.

La nitrification : c'est l'oxydation de l'ammoniacque en nitrites (NO_2^-), puis en nitrates par les bactéries du sol. La réaction se fait donc en deux étapes :

la nitritation ;



la nitratation.



L'énergie libérée au cours de ces réactions sert à la chimiosynthèse des bactéries concernées.

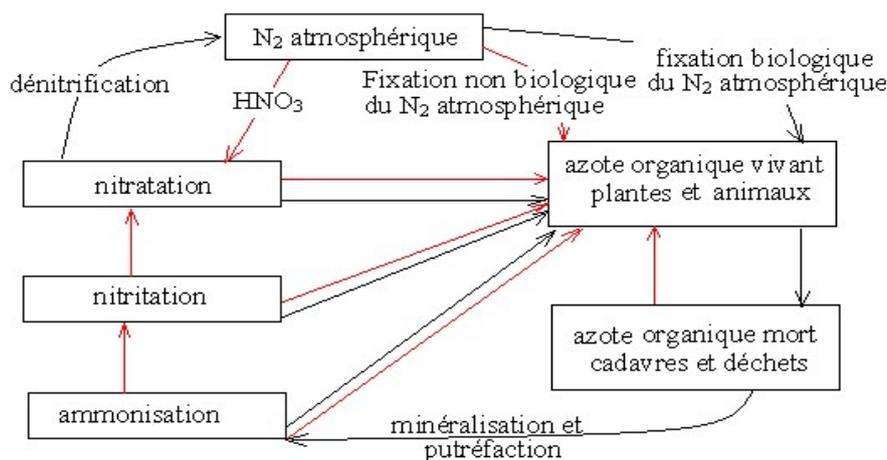
Passage de l'azote minéral à l'azote organique.

Il est réalisé par les végétaux chlorophylliens qui absorbent les nitrates du sol et par les bactéries fixatrices de l'azote atmosphérique. L'azote minéral est incorporé dans les molécules azotées organiques.

REMARQUES :

La dénitrification est le passage direct de l'azote des nitrates à l'azote libre de l'air. Ce processus anaérobie est la caractéristique des sols mal aérés et humides.

L'azote libre de l'air peut se combiner directement à l'oxygène et à l'eau pour donner l'acide nitrique qui tombe sur le sol. Le catalyseur de cette réaction est la décharge électrique des orages.



— transformation réalisée par les microorganismes essentiellement
 — transformation réalisée uniquement par les plantes

Figure : cycle (simplifié) biogéochimique de l'azote.

CONCLUSION

Au sein d'un écosystème, le flux d'énergie entretient les cycles de la matière et en particulier celui du carbone et celui de l'azote.

Si l'on considère uniquement le cycle du carbone, toute biomasse perdue à chaque niveau trophique est recyclée sous forme de dioxyde de carbone. En revanche, la chaleur libérée par les réactions d'oxydation de cette biomasse est perdue pour l'écosystème car elle n'est pas récupérable. Le recyclage du carbone nécessite donc une entrée permanente d'énergie dans l'écosystème : c'est l'énergie lumineuse piégée par les végétaux chlorophylliens ou bien l'énergie provenant de l'oxydation de certaines molécules par les bactéries.

Le même raisonnement s'applique à l'élément azote.

L'énergie solaire est finalement le moteur du cycle du carbone et du cycle de l'azote.

Action- Sensibiliser sur les conséquences de l'effet de serre et les perturbations du cycle de carbone par les activités humaines.

SEANCE 2 : L'EFFET DE SERRE.

Objectif : -Définir l'effet de serre et son importance pour l'apparition et le maintien de la vie
 -expliquer les modifications du réservoir atmosphériques du carbone et de l'azote
 -mettre en évidence l'influence du flux d'énergie sur le cycle de carbone ou sur celui de l'azote

1- La notion d'effet de serre

L'**effet de serre** est le processus par lequel les gaz des couches les plus basses de l'atmosphère absorbent le rayonnement infrarouge produit par la Terre et le renvoient vers la surface du sol, provoquant ainsi le réchauffement de la planète Terre. Ces gaz sont : le **dioxyde de carbone** (CO_2), le **protoxyde d'azote** (N_2O), le **méthane** (CH_4), l'**ozone** (O_3), la **vapeur d'eau** (H_2O), l'**oxyde nitreux** (NO), les **chlorofluorocarbones** (CFC)...

*La température de l'air est alors supérieure à ce qu'elle devrait être si les basses couches de l'atmosphère ne contenaient pas de gaz tel que le **dioxyde de carbone** (CO_2), le **protoxyde d'azote** (N_2O), le **méthane** (CH_4), l'**ozone** (O_3), la **vapeur d'eau** (H_2O), l'**oxyde nitreux** (NO), les **chlorofluorocarbones** (CFC)... Ces gaz sont dits **à effet de serre** car ils se comportent de la même manière que les vitres d'une serre qui empêchent une partie de l'énergie accumulée derrière elle durant le jour, de s'échapper durant la nuit.*

2- L'importance et les conséquences de l'augmentation des gaz à effet de serre**a) l'importance de l'augmentation des gaz à effet de serre**

Les gaz à effet de serre ont contribué à augmenter la température à la surface de la Terre et à maintenir la vie sur Terre.

C'est grâce à l'effet de serre qu'on a l'eau sous trois états : solide, liquide et gazeux.

En l'absence de l'effet de serre, la température à la surface de la Terre serait d'environ -20°C , ce qui rendrait la vie impossible.

b) les conséquences de l'augmentation des gaz à effet de serre

-Fonte des calottes glaciaires polaires, ce qui entraînerait l'élévation du niveau de la mer et la disparition des certaines zones littorales.

- Réchauffement climatique, qui augmente l'évaporation des océans, entraînant davantage la production de vapeur d'eau, qui est lui-même un gaz à effet de serre.

-diminution du pouvoir réfléchissant de la surface de la Terre due à la fonte des neiges

- Apparition des déserts, des maladies, déstabilisation des écosystèmes

3- Les modifications du réservoir atmosphérique de carbone

A travers les activités industrielles et domestiques, l'Homme modifie la composition chimique de l'atmosphère. Les combustions de carbone fossiles utilisés pour le transport, le chauffage, l'électricité, produisent de grandes quantité de CO_2 . Ces rejets perturbent le cycle du carbone et on observe une augmentation de la teneur en CO_2 de l'atmosphère.

4- Influence du flux d'énergie sur le cycle de carbone ou sur celui de l'azote

Au sein d'un écosystème, le flux d'énergie entretient les cycles de la matière et en particulier celui du carbone et celui de l'azote.

Si l'on considère uniquement le cycle du carbone, toute biomasse perdue à chaque niveau trophique est recyclée sous forme de dioxyde de carbone. En revanche, la chaleur libérée par les réactions d'oxydation de cette biomasse est perdue pour l'écosystème car elle n'est pas récupérable. Le recyclage du carbone

nécessite donc une entrée permanente d'énergie dans l'écosystème : c'est l'énergie lumineuse piégée par les végétaux chlorophylliens ou bien l'énergie provenant de l'oxydation de certaines molécules par les bactéries.

Le même raisonnement s'applique à l'élément azote.

L'énergie solaire est finalement le moteur du cycle du carbone et du cycle de l'azote.

MODULE II : L'EDUCATION A LA SANTE

Famille de situations 1 :Réurrence des problèmes de santé liés aux perturbations du système immunitaire, à la santé reproductive et à la mauvaise alimentation

Exemple de situations 1 : Prévalence du VIH /sida

Situation problème contextualité d'entrée de module

- 1-Relevez le problème soulevé dans le texte
- 2-Dégager ces causes
- 3-Donner les conséquences de ce problème
- 4-Quelles sont les solutions à ces problèmes

Catégorie d'actions 1 :Lutte contre le VIH/sida

Action 1 : Informer et/ou éduquer sur Les mécanismes de l'immunité

SEQUENCE I : LE SOI ET LE NON SOI.

GENERALITES

L'existence des vaccinations obligatoires, des problèmes liés aux dons d'organes et au choix des donneurs, et, plus récemment, l'expansion du SIDA sont des sujets qui concernent l'immunologie. L'immunologie est la science qui étudie le système de défense de l'organisme ou système immunitaire.

Les réactions immunitaires sont dirigées contre tout corps étranger à l'organisme, qu'il soit pathogène ou non. L'existence de ces réactions, très variées et parfois forts complexes, pose deux séries de questions :

comment l'organisme distingue-t-il ses propres molécules des molécules étrangères ? Autrement dit, comment l'organisme distingue-t-il le soi du non soi ?

comment se déroule la réponse immunitaire ? Est-elle identique dans tous les cas, ou adaptée au type d' « agresseur » ? Comment sont coordonnées les différentes réactions ?

La réponse immunitaire est une série de réactions qui assurent la défense de l'organisme contre tout élément étranger.

La réponse immunitaire intervient donc dans le cadre de l'homéostasie. L'homéostasie est l'ensemble des mécanismes physiologiques et physicochimiques assurant la constance du milieu intérieur.

Le système immunitaire peut distinguer le soi du non soi.

SEANCE 1 : LE SOI.

OBJECTIFS.

Identifier les déterminants moléculaires du soi ;

Définir le soi ;

1- LES DETERMINANTS MOLECULAIRES DU SOI.

a- Le Complexe majeur d'Histocompatibilité (CMH) et le rejet de greffe.

Expériences de greffe de la peau chez le lapin.

Une greffe de la peau est réalisée entre un lapin donneur A et un lapin receveur B. Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques du donneur et du receveur ainsi que les résultats observés pendant les 12 premiers jours suivant la greffe

Caractéristiques du donneur A et du receveur B.	Résultats. $J^1, J^2, J^3, \dots, J^n = \text{nombre de jours après greffe.}$
A et B sont le même individu : on parle d'une autogreffe ou greffe autologue.	J^1 : greffon pâle ; J^3 : greffon d'aspect rosé ; $J^4 - J^6$: vascularisation développée à partir des tissus environnants ; J^{10} : greffon confondu avec les tissus environnants.
A et B sont des individus de même espèce : on parle d'une allogreffe ou homogreffe ou greffe homologue.	J^2 : greffon pâle ; J^3 : greffon rosé avec début de revascularisation ; J^6 : greffon brunâtre ; J^8 : œdème local et réaction inflammatoire ; J^{12} : greffon desséché et peu à peu éliminé.
A et B sont des individus d'une même lignée (jumeaux vrais ou frères) : on parle d'une isogreffe.	Même évolution qu'une autogreffe
A et B sont des individus appartenant à des espèces différentes : on parle de xénogreffe ou hétérogreffe ou greffe hétérologue.	Rejet du greffon plus rapide que pour une allogreffe.

TAF : interpréter les résultats obtenus et conclure.

Résolution :

La réussite de l'autogreffe peut s'expliquer par le fait que les tissus du donneur et du receveur sont compatibles : ils ont les mêmes marqueurs de l'identité biologique ;

Le rejet observé dans le cas de l'allogreffe s'explique par le fait qu'il n'y a pas histocompatibilité. L'organisme du receveur reconnaît les tissus du donneur comme étrangers et développe une réaction immunitaire visant sa destruction.

La réussite de l'isogreffe par le fait que le donneur et le receveur ont la même identité biologique : il y a histocompatibilité.

Le rejet plus rapide de la xélogreffe est dû au fait que les marqueurs tissulaires du donneur et du receveur sont très différents : la non compatibilité des tissus est donc plus importante.

Conclusion :

La réussite de la greffe dépend des caractéristiques du donneur et du receveur : s'ils ont les mêmes caractéristiques, le greffon est accepté ; dans le cas contraire, il est rejeté.

L'acceptation de ce qui appartient à l'organisme et le rejet de ce qui ne lui appartient pas suggère l'existence au niveau de la surface membranaire des molécules marquant l'identité de chaque individu : ce sont les antigènes du CMH (HLA chez l'homme). Il s'agit des glycoprotéines membranaires assimilables à une véritable carte d'identité cellulaire.

Ces glycoprotéines sont à l'origine des mécanismes du rejet précoce d'une première greffe, ce qui justifie leur dénomination d'antigènes. Il faut entendre ici le terme d'antigène comme définissant des molécules étrangères pour un receveur d'organes capables de déclencher une réaction de défense.

b- Nature du CMH.

Le CMH est un groupe de gènes liés localisés sur la paire de chromosomes n° 6 et codant pour les glycoprotéines membranaires.

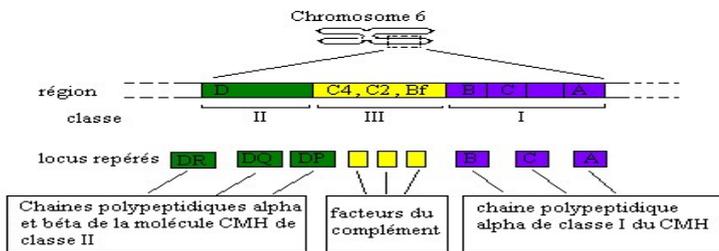
Chaque gène est très polymorphe : A (24 allèles), B (52 allèles), C (11 allèles), DP (6 allèles), DQ (9 allèles) et DR (46 allèles).

La plupart des individus sont hétérozygotes pour tous ces gènes. Les allèles de chaque gène sont codominants. Les antigènes du CMH résultent de l'expression de tous les allèles du CMH.

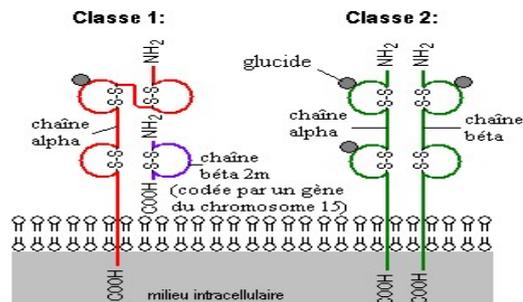
On regroupe les antigènes du CMH en deux classes :

les antigènes HLA de classe 1 (A, B et C) : se trouvent à la surface de toutes les cellules de l'organisme qui possèdent un noyau ;

les antigènes HLA de classe 2 (DP, DQ et DR) : localisés principalement sur certains leucocytes.



Le complexe majeur d'histocompatibilité



Organisation spatiale des molécules HLA de classes I et II

c- Un déterminant mineur du soi : les groupes sanguins.

Détermination des groupes sanguins.

Actuellement au laboratoire, on détermine un groupe sanguin en mettant trois gouttes de sang en présence de trois sérums tests différents. Les différents résultats possibles sont résumés dans le tableau suivant :

Individus	Sérums tests			Interprétation et conclusion
	Anti-A	Anti-B	Anti-A et B	
individu n° 1				
individu n° 2				
individu n° 3				
individu n° 4				

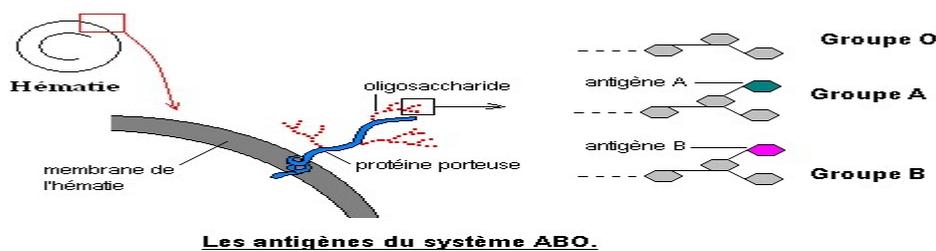
hémagglutination pas d'hémagglutination.

TAF : Interpréter les résultats obtenus et tirer des conclusions.

La réaction d'héماغglutination s'explique si on admet qu'à la surface des hématies, il existe des molécules qui peuvent être reconnues comme étrangères par les anticorps du receveur de sang : ce sont des antigènes.

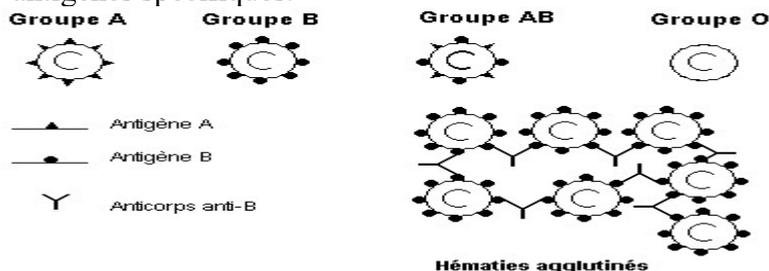
Nature chimique des antigènes ou marqueurs des groupes sanguins du système ABO.

Ce sont des glycoprotéines implantées dans la membrane plasmique des hématies. Chaque molécule est formée d'une protéine (glycophorine) portant des chaînes glucidiques (oligosaccharides). La partie terminale des chaînes glucidiques diffère d'un groupe sanguin à l'autre et constitue le marqueur spécifique de ce groupe sanguin. Seuls les glycoprotéines portant les marqueurs A et B déclenchent une réaction d'agglutination : on leur donne les noms d'antigène A et d'antigène B.



Les mécanismes moléculaires de l'agglutination.

Les agglutinines anti-A et anti-B du sérum qui sont à l'origine de l'agglutination reconnaissent de façon spécifique les antigènes A (ou B) portés par les membranes des hématies. Les agglutinines sont des anticorps présents dans l'organisme avant même toute introduction d'hématies étrangères porteuses d'antigènes spécifiques.



Exercice

Expérience 1 : On prélève le sérum d'une souris A que l'on met au contact des globules rouges de mouton (GRM). On n'observe pas une agglutination des GRM

Expérience 2 : On injecte des GRM à une souris B. 7 jours après, on prélève son sérum que l'on met au contact des GRM. On note une agglutination des GRM. Le sérum prélevé le même jour que l'injection des GRM ne provoque pas l'agglutination des GRM

Expérience 3 : On pratique une irradiation d'une souris C, on lui injecte des GRM ensuite et on prélève son sérum 7 jours plus tard que l'on met au contact des GRM. On ne note pas une agglutination des GRM.

NB : l'irradiation a pour effet de détruire les cellules à multiplication rapide notamment celles de la moelle rouge osseuse.

Déterminer l'objectif, interpréter et conclure.

Comparer l'héماغglutination directe observée entre deux sangs humains non compatibles et celle obtenue à l'expérience 2.

d- Un autre déterminant mineur du soi : le facteur rhésus.

Le facteur rhésus est un antigène trouvé sur la surface des hématies de singe rhésus (macaque) et dans 85% de la population humaine. Ce facteur est déterminé par un allèle dominant noté Rh⁺ porté par le chromosome 1. Ainsi les personnes Rh⁺ ont à la surface de leurs hématies, à côté des marqueurs du groupe

sanguin, l'antigène rhésus. Les personnes Rh- ne portent pas d'antigènes rhésus ; elles n'ont par conséquent pas d'anticorps rhésus dans leur plasma.

Il existe des risques de choc anaphylactique si on injecte plusieurs fois à une personne Rh- des hématies Rh+. L'antigène rhésus, reconnu par les lymphocytes du receveur, va déclencher la production des anticorps anti-rhésus. La première fois, la production est faible, mais la deuxième fois, elle est plus importante et entraîne l'agglutination des hématies du donneur.

C'est la raison pour laquelle la deuxième grossesse pose parfois des problèmes dans les couples où l'homme est Rh+ et la mère Rh-.

2- DEFINITION DU SOI

Le soi d'un individu s'exprime par l'ensemble des molécules propres à cet individu et résultant de l'expression de son génome. La plupart des molécules du soi ne sont pas des acteurs de la réponse immunitaire (sauf cas de maladie auto-immune).

Ces molécules sont :

intracellulaires : (*exemple* : les enzymes du cytosol, ...) ;

extracellulaires (*exemple* : hormones et protéines plasmatiques, ...) ;

membranaires (*exemple* : marqueurs mineurs tels que les marqueurs des groupes sanguins ABO, rhésus, ... et les marqueurs majeurs tels que les marqueurs des groupes tissulaires c'est-à-dire les antigènes du CMH).

SEANCE 2 : LE NON SOI

Objectifs

Identifier les déterminants moléculaires du non-soi ;

Définir le non-soi ;

Expliquer la différence entre le soi et le non-soi.

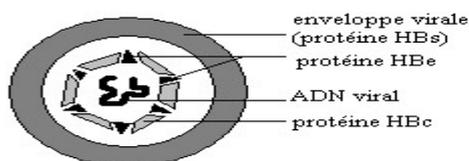
1- LES DETERMINANTS DU NON SOI.

1.1- Des molécules étrangères.

Les microbes qui pénètrent dans l'organisme lors d'une blessure sont capables de déclencher une réponse immunitaire locale non spécifique : l'inflammation. De nombreux globules blancs (leucocytes) s'accumulent alors dans la zone infectée. Les microbes peuvent être considérés comme les déterminants du non soi.

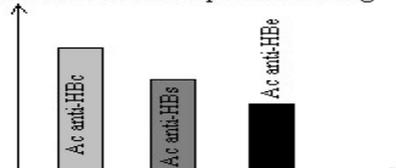
Certains constituants des agents infectieux déclenchent des réactions immunitaires spécifiques (propres à eux). C'est le cas des protéines virales.

Exemple : cas du virus de l'hépatite B.



Virus de l'hépatite B

Concentration en anticorps dans le sang



Anticorps retrouvés dans le sang d'un sujet environ 1 an après hépatite aiguë

TAF : Analyser, interpréter et conclure.

D'une manière générale, on appelle antigène une molécule susceptible d'être reconnue comme étrangère par le système immunitaire d'un individu et de déclencher une réponse de défense spécifique contre elle (production d'anticorps spécifiques).

Les molécules antigéniques sont principalement les protéines et les glycoprotéines. On distingue :
 les antigènes particuliers qui sont les constituants des cellules étrangères (bactéries, champignons parasites, particules virales,...) et les allergènes ;
 les antigènes solubles qui sont les molécules libres (toxines microbiennes, protéines sériques, ...)

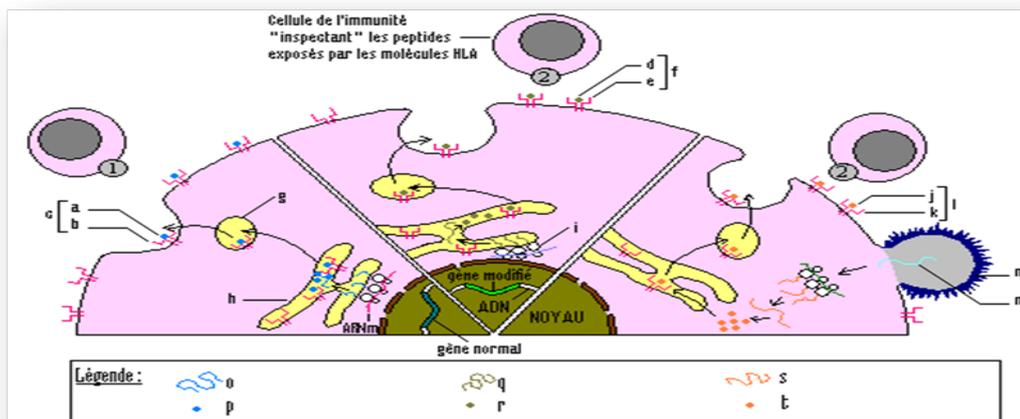
Une étude approfondie de la molécule d'antigène montre que seules certaines parties de la molécule peuvent déclencher une réaction immunitaire : ce sont des déterminants antigéniques ou épitopes ou sites antigéniques ou motifs antigéniques. L'épitope est la plus petite partie d'un antigène pouvant déclencher la sécrétion d'anticorps dirigés spécifiquement contre lui. Ainsi dans les antigènes A et B des groupes sanguins, seule l'extrémité des chaînes glucidiques est reconnue par les agglutinines anti-A et anti-B.

1.2- Le soi modifié ou non soi immunologique.

Dans toute cellule, des enzymes découpent en fragments (peptides) une partie des protéines présentes dans le cytoplasme. Chaque peptide se fixe à une molécule HLA, formant un complexe peptide-HLA appelé soi immunologique qui migre et se positionne à la surface de la cellule. La cellule assure ainsi en permanence une exposition d'un échantillonnage de son contenu peptidique, ce qui permet une « véritable surveillance immunitaire ». Deux cas sont alors possibles :

Si les peptides exposés proviennent des protéines normales de la cellule, les complexes peptide-HLA ne déclenchent aucune réponse immunitaire : le soi immunologique est toléré.

Les peptides exposés peuvent aussi provenir des protéines étrangères ou des protéines anormales du soi. Dans ces différents cas, les complexes HLA-peptides du non soi appelés soi modifié sont identifiés par les cellules immunitaires et une réaction de défense est alors déclenchée.



2- DEFINITION DU NON SOI.

Le non soi correspond à toutes les molécules différentes du soi c'est-à-dire à toutes les molécules ne résultant pas de l'expression du génome d'un individu. Le système immunitaire développe contre le non soi des réactions ayant pour objectifs son élimination. L'homéostasie est ainsi assurée.

Leçon 3- Les principales cellules immunitaires

Objectif : identifier et nommer les différents types de cellules immunitaires

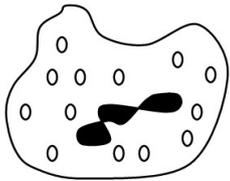
Activité fig 8.1

La défense de l'organisme contre les agents étrangers nécessite l'intervention des cellules spécialisées (cellules immunitaires). La capacité de ces cellules à reconnaître le non-soi et à induire une réponse visant à l'éliminer s'appelle l'**immunocompétence**.

Les cellules qui assurent la défense de l'organisme contre les agents étrangers sont appelées leucocytes ou globules blancs.

En fonction du rôle joué dans l'organisme et de leur aspect microscopique, on distingue :

1 - Les granulocytes ou polynucléaires



Ils possèdent un noyau polylobé et un cytoplasme abondant et riche en granulation. On en distingue trois types :

- **les éosinophiles ou acidophiles** : ils sont colorés par des colorants acides tels que l'éosine. Ils jouent un rôle dans la réaction antiparasitaire.
 - **les basophiles** : ils sont colorés par des colorants basiques. Ils jouent un rôle dans les réactions allergiques et inflammatoires.
 - **les neutrophiles** : ils fixent les colorants neutres. Leur rôle est de phagocyter les corps étrangers.
- NB** : Lors de l'infection d'une plaie, certains polylobés sont capables de traverser la paroi des capillaires pour rejoindre le lieu d'infection et détruire l'antigène : ce mouvement s'appelle la **diapédèse**.

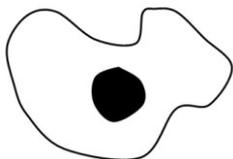
2 - Les lymphocytes



Ils ont un noyau volumineux, arrondi et un cytoplasme réduit. On distingue :

- Les **lymphocytes T** : ils comprennent les **lymphocytes T4** (T auxiliaires ou T helper) et les **lymphocytes T8** (T cytotoxique, T tueuse ou cellules)
- Les **lymphocytes B** : ils se transforment en **plasmocytes** sécréteurs d'anticorps, après activation antigénique

3 - Les monocytes



Ils ont un noyau arrondi (ou réniforme) et un cytoplasme abondant sans granulation. Ils prennent le nom de **macrophage** dans les tissus. Ils ont un rôle de phagocytose des antigènes.

NB : L'ensemble des monocytes sanguins et de macrophages tissulaires constituent le système de phagocytes mononucléaires (SPM).

Action 2 : Sensibiliser dans le cadre de la lutte contre les perturbations du système immunitaire.

SEQUENCE II : ETUDE D'UNE IMMUNODEFICIENCE ACQUISE : LE VIH/SIDA.

Leçon 1- Le virus et son mode d'action

Objectif : décrire le VIH et donner son mode d'action

1- Le virus: Activité fig 9.1

a- Caractéristiques du VIH.

Le virus du SIDA est le VIH (virus de l'immunodéficience humaine). On connaît actuellement 3 types : VIH0, VIH1 et VIH2 ; le type 1 étant le plus virulent. Le VIH est relativement fragile : détruit par la chaleur à 60 °C et par les antiseptiques usuels (alcool, eau de javel, eau oxygénée, ...). Le VIH est un petit objet biologique de 1.10^{-4} à $1,2.10^{-4}$ μm limité par une bicouche phospholipidique. Son matériel génétique est constitué d'ARN monocaténaire. C'est un rétrovirus (virus dont le matériel génétique est l'ARN), ayant une enzyme, la **retro-transcriptase** ou **transcriptase inverse** qui permet de copier l'information génétique du virus sous forme d'ADN dès qu'il a pénétré une cellule cible. Il a été identifié deux souches de VIH qui diffèrent par leur génome : le VIH 1 (isolé en 1983) et le VIH 2 (isolé en 1986).

b- Mode de transmission du virus.

Les modes de transmission du VIH d'une personne à une autre sont : la transmission lors des rapports sexuels : c'est la plus fréquente (80 % des cas dans le monde) ; la contamination par le sang : transfusion de sang contaminé, utilisation des seringues, des aiguilles, des rasoirs non stérilisés ; la transmission de la femme enceinte à son enfant au cours de la grossesse, au cours de l'accouchement ou par l'allaitement (30% des cas en Afrique).

2-Mode d'action Activité fig 9.2

Le VIH a pour cible les LT4, les macrophages et certaines cellules nerveuses et intestinales.

Le VIH infecte les LT4 sécrétant d'interleukine. C'est un rétrovirus dont le matériel génétique est constitué d'ARN et d'une enzyme appelée transcriptase inverse capable de synthétiser l'ADN proviral pouvant s'intégrer à l'ADN de la cellule hôte. Le système immunitaire lutte contre le VIH par la formation d'anticorps anti-VIH qui apparaissent tardivement. Une personne qui présente ces anticorps est dite séropositive.

Le virus se reproduit dans les cellules infectées qu'il finit par détruire : l'individu présente alors un déficit immunitaire et devient sensible à toutes sortes de maladies dites maladies opportunistes (maladies qui se développent quand un individu présente une immunodéficience).

Il infecte essentiellement les LT4, cellules possédant une protéine membranaire appelée CD4, qui est reconnue par la gp120 (glycoprotéine 120) située sur la membrane du VIH. Le cycle du VIH est le suivant :

- la liaison entre le VIH et sa cellule cible : cette liaison se fait par reconnaissance entre la gp120 et le CD4
- libération du matériel génétique du VIH dans la cellule cible
- retro-transcription de l'ARN viral en ADN double brin qui va incorporer l'ADN de la cellule cible.
- transcription de l'ADN viral en ARN, puis synthèse des protéines virales
- assemblage de la particule virale qui ressort de la cellule

Séance 2- La multiplication du virus dans l'organisme et ses conséquences.

Objectif : expliquer comment se fait la multiplication du VIH dans l'organisme et dégager les conséquences

Activité Fig 9.3

Le SIDA est une maladie mortelle qui évolue pendant plusieurs années. Malgré les variations importantes d'un individu à l'autre, on peut distinguer plusieurs phases : primo-infection ; phase silencieuse ou asymptomatique et la phase majeur ou Sida

1) la Primo-infection

Après l'infection, une première **phase aigüe** est caractérisée par une prolifération du virus et un abaissement significatif de la population de LT4 ; elle se traduit par des signes analogues à celles d'une maladie virale bénigne comme la grippe, la fièvre gonflement des ganglions lymphatiques (car ils sont le siège de la

multiplication des leucocytes et l'initiation de la réponse immunitaire), éruption cutanée ; douleurs musculaires et céphalées. Elle peut aussi passer inaperçue. La réaction du système immunitaire se matérialise dans les premières semaines par la production des anticorps anti-VIH et l'augmentation du taux de LT8, ce qui contribue à diminuer la charge virale vers la fin de cette phase. Toutefois, le virus n'est pas totalement éliminé car les cellules infectées notamment les macrophages constituent des véritables réservoirs à virus. Les premiers signes décelables du démarrage d'une réponse immunitaire est la séroconversion : présence des anticorps anti-vih dans le sang, le sujet infecté devient séropositif.

2) La phase silencieuse ou asymptomatique

Elle est essentiellement **asymptomatique**. Pendant toute cette période pouvant durer de quelques à plusieurs années, le sujet ne présentant peu ou pas de symptômes, est apparemment en bonne santé. L'organisme fabrique en masse les cellules (lymphocytes spécifiques du vih, LT8) et des molécules (anticorps anti-vih) immunitaires qui visent à limiter la prolifération du virus et à empêcher l'élévation de la charge virale qui reste stable quelques années. En effet, un équilibre s'établit entre les mécanismes de production et d'élimination des virus d'une part, entre la destruction et le renouvellement des LT4 d'autre part.

Les LT cytotoxiques dirigés spécifiquement contre les cellules infectées par le vih et tuent ces cellules qui sont surtout les LT4. Ces LT4 sont peu à peu détruits et leur concentration baisse inéluctablement.

3) La phase majeur ou SIDA déclaré

Cette phase est la conséquence de l'affaiblissement considérable des défenses immunitaires de l'organisme d'où le terme SIDA. En absence de traitement médical, la baisse de l'effectif des lymphocytes T4 s'accroît au fil des années et entraîne un affaiblissement de plus en plus marqué du système immunitaire se traduisant par les symptômes suivants : fièvre persistante, diarrhée, perte de poids, fatigue, zona, herpès...

Le taux de LT4 passe en dessous de 200 cellules par mm³ de sang. On observe parallèlement une élévation de la charge virale. Des **maladies opportunistes** se déclarent, profitant de l'effondrement des défenses immunitaires. La maladie entre dans sa **phase symptomatique**. Cela signifie que des symptômes variés se manifestent, l'ensemble constituant un **syndrome**. Ce sont la tuberculose, les salmonelloses, le sarcome de Kaposi, l'herpès, les candidoses...Ce sont ces maladies qui finissent par entraîner le décès du malade.

Leçon 3 : Moyens de lutte contre le VIH /sida

Objectif : dégager les moyens de prévention et de traitement du SIDA

1) La prévention du sida

La lutte contre le VIH/SIDA passe par la prévention. Ces moyens de prévention sont :

- L'abstinence périodique ;
- La fidélité à un seul partenaire ;
- L'usage du préservatif ;
- L'utilisation des seringues à usage unique et stériles ;
- Le contrôle du sang avant toute transfusion sanguine ;
- La désinfection et la stérilisation systématique du matériel médical après chaque utilisation ;
- Le développement du matériel à usage unique ;
- L'adoption des comportements responsables visant à éviter la contamination ;
- La sensibilisation et l'éducation des populations ;
- La pratique du dépistage volontaire.

2) Le traitement du SIDA

Pour limiter la progression de la pandémie et d'améliorer nettement l'espérance et la qualité de la vie des malades. On procède :

- Aux traitements antirétroviraux (carleur);
- La trithérapie.

Les traitements visent à :

- *empêcher les virus de pénétrer dans les lymphocytes T4 en injectant des anticorps spécifiques de la partie de la protéine du virus qui reconnaît la molécule de CD4
- *bloquer la rétrotranscription par l'AZT (azidothymidine) qui bloque le fonctionnement de la transcriptase inverse
- *empêcher l'intégration du provirus dans l'ADN de la cellule cible
- *empêcher la formation des virus par une anti-protéase : elle bloque la maturation des protéines virales d'où la formation des virus défectueux.
- *détruire ou inhiber les ARN viraux par les interférons.

NB : l'emploi de ces molécules est parfois difficile en raison de leur toxicité

Exemple de situation 2 : Récurrence des problèmes liés à la santé reproductive des adolescent(e)s en milieu scolaire

Catégories d'action 2 : Lutte contre les problèmes liés à la santé reproductive des adolescent(e)s

Action 3 : -Sensibiliser dans le cadre de la lutte contre les problèmes liés à la santé reproductive des adolescent(e)s.

SEQUENCE III : QUELQUES PROBLEMES LIES A LA SANTE REPRODUCTIVE DES ADOLESCENT(E)S

Leçon 1-La sexualité précoce et ses conséquences

Objectif :

INTRODUCTION

Alors que les amitiés sont principalement formées entre pairs de même sexe au cours de l'enfance, l'adolescence est caractérisée par une augmentation de l'intérêt et des contacts avec les pairs de l'autre sexe. L'éveil sexuel propre à la puberté vient ajouter une dimension amoureuse et sexuelle à certaines de ces relations et marque le début des relations «allosexuelles ». Ainsi, entre le début de l'adolescence et l'âge adulte, une majorité de jeunes expérimenteront leur première relation sexuelle complète. Cependant, l'âge de la première relation sexuelle varie grandement d'une personne à l'autre. L'âge des débuts sexuels s'avère une dimension cruciale à étudier étant donné que plus les jeunes deviennent actifs sexuellement tôt, plus ils auront d'années et d'opportunités pour avoir des relations sexuelles, et plus ils risquent d'avoir de nombreux partenaires sexuels. De plus, les adolescents ne possèdent pas toujours les connaissances nécessaires concernant la sexualité et la contraception, ni la préparation et la confiance requises pour exiger le port du condom. Ils ont également tendance à s'engager plus rapidement dans des échanges sexuels une fois actifs et à avoir davantage de relations sexuelles non-protégées. Il est aussi permis de croire que les plus jeunes auront plus de difficultés à se procurer des méthodes contraceptives, étant donné que l'occurrence précoce des relations sexuelles est considérée par plusieurs adultes comme une dérogation aux normes. Enfin, ceux qui ont des relations sexuelles précocement sont plus à risque de contracter une infection transmissible sexuellement ou de concevoir un enfant de façon imprévue.

1- **La grossesse non désirée**
Seize millions de filles adolescentes de 15 à 19 ans donnent naissance chaque année. Cela représente environ 11% de toutes les naissances dans le monde entier. Presque toutes les naissances des adolescents (95%) se produisent dans les pays en développement. **La grossesse est la principale cause de décès chez les jeunes femmes dans les pays en développement**, et on estime que 90% surviennent chez les adolescentes mariées. Le risque de mortalité 15 maternelle est d'environ de 28% plus élevé pour les femmes de moins de 18 ans que pour les femmes de plus de 18 ans. Une grossesse non désirée ou qui survient au mauvais moment crée des risques physiques, psychologiques et sociaux pour de nombreuses adolescentes. Une fille célibataire qui devient enceinte abandonne souvent les études, ce qui limite sa capacité à être indépendante. Les grossesses répétées se produisent fréquemment chez les jeunes mères;

1-1-Les causes des grossesses précoces

Une grossesse précoce est une grossesse qui survient avant l'âge de 19 ans, qui est l'âge de la limite de l'adolescence fixé par l'OMS. Plusieurs facteurs contribuent au phénomène de grossesses chez les adolescents.

- L'absence du dialogue sur la sexualité dans la famille ;
- L'absence d'éducation sexuelle ;
- L'ignorance et la naïveté ;
- L'insouciance et le viol ;
- L'effet d'entraînement de groupe.

1-2-Les conséquences des grossesses précoces**a) Chez l'adolescente**

- Les complications de la grossesse et de l'accouchement causant de décès ;
- Avortement provoqués susceptible d'entraîner de graves risque pour la santé (stérilité, lésions handicapantes, décès) ;
- Déscolarisation pouvant compromettre l'avenir de l'adolescente ;
- Responsabilité précoce ;
- Rejet par la famille, mariage forcé ou union libre, prostitution ;

b) Chez le garçon

- L'interruption des études pendant toute la durée de la grossesse ;
- Responsabilité précoce ;
- Condamnation pénale

c) Chez l'enfant

- La mortalité à la naissance ;
- L'abandon des bébés ;
- Manque d'affection et d'encadrement pouvant conduire tard à la délinquance ;
- L'instabilité et la quête perpétuelle de l'identité.

2- Les maladies sexuellement transmissibles

Plus d'un tiers des nouvelles IST surviennent chez les jeunes. Les infections sexuellement transmissibles entraînent d'autres problèmes de santé, notamment l'infertilité et le VIH. Plus de 10 millions de jeunes âgés de 15 à 24 ans vivent avec le VIH. Près de la moitié de toutes les nouvelles infections se produisent chez les jeunes chaque année. Dans les zones à forte prévalence du VIH et à accès limité à la thérapie antirétrovirale (ART), le sida est une cause importante de décès chez les jeunes.

3- VIH / SIDA

Les adolescentes sont particulièrement vulnérables à l'infection par le VIH; les femmes représentent plus de 60% des jeunes vivant avec le VIH. Dans certains contextes, les jeunes filles mariées (15 à 19 ans) ont montré des taux plus élevés d'infection à VIH que les jeunes célibataires sexuellement actives du même âge. Les adolescentes mariées ont peu ou pas de pouvoir de décision lié à l'utilisation du préservatif ou l'activité sexuelle.

CONCLUSION

Dans les pays en développement, 80% des rapports sexuels non protégés chez les adolescentes se produit dans le mariage. Les comportements sexuels à risque tels que l'initiation précoce à l'activité sexuelle, les multiples partenaires sexuels, les relations sexuelles intergénérationnelles et l'utilisation incohérente ou incorrecte des préservatifs et des contraceptifs augmentent le risque des IST, du VIH chez les jeunes et des grossesses précoces ou non désirées. Des informations appropriées en matière de santé sexuelle et reproductive, une formation en matière d'expérience de la vie et les services de santé peuvent aider les jeunes à faire des choix sains. Les personnes qui fournissent ces services devraient tenir compte de nombreux facteurs, y compris l'âge des jeunes, le sexe, l'état matrimonial, le statut parental, le niveau d'éducation, le lieu où ils vivent, et le statut socio-économique global. Les parents, les conjoints, les beaux-

parents, les membres de la communauté et les décideurs sont également importants dans l'établissement de milieux favorables à la prise de décisions saines.

Leçon 2- Les mutilations génitales

Objectif :

Les mutilations sexuelles féminines désignent toutes les interventions aboutissant à une ablation partielle ou totale des organes génitaux externes de la femme ou toute autre mutilation de ces organes pratiquée pour des raisons culturelles ou autres et non à des fins thérapeutiques (OMS 1997). Les mutilations génitales féminines : ce sont des suppressions de tout ou d'une partie des organes génitaux de la femme, il s'agit principalement de l'excision et de l'infibulation (suppression des organes génitaux, puis couture des grandes lèvres) ;

1. Typologie des Mutilations sexuelles

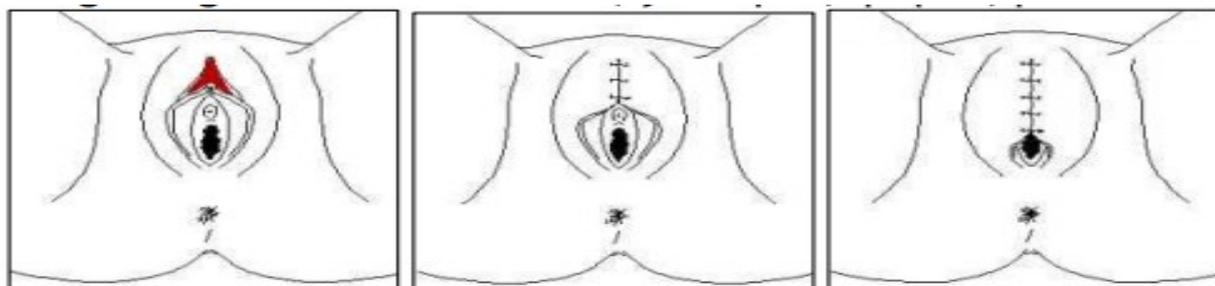
L'O.M.S. a établi une typologie des différentes mutilations génitales féminines en 4 quatre catégories, décrites ci-dessous (Classification du Dr Robin Cook, 1995) :

Type I : circoncision avec excision du prépuce clitoridien sans excision du clitoris

Type II : excision du clitoris avec excision partielle ou totale des petites lèvres (80 % des mutilations)

Type III : infibulation avec fermeture quasi-complète de l'orifice vulvaire (15 % des mutilations)

Type IV : autres procédés de mutilation : Toute autre opération sur les organes génitaux de la femme, y compris, piqûre, percement,



Type I
Excision du prépuce
et du clitoris

Type II
Excision du clitoris
et des petites lèvres

Type III
Infibulation

Les familles, les communautés et les cultures dans lesquelles se pratiquent les MGF ont chacune des raisons différentes d'adopter cette pratique. Un des principaux motifs avancés pour la justifier est qu'elle est censée garantir la conformité de la jeune fille aux normes sociales essentielles, telles que celles liées à la retenue sexuelle, la féminité, la respectabilité et la maturité. Cette pratique ancestrale persiste dans nombre de cultures et de pays. Elle est appliquée surtout en Afrique de l'Ouest (Excision) et dans l'Afrique de l'Est (infibulation) mais également au Moyen Orient et en Asie.

2- les raisons

Les mutilations génitales féminines/l'excision sont pratiquées pour un certain nombre de raisons :

- psychosexuelles : pour atténuer le désir sexuel chez la femme, préserver la chasteté et la virginité avant le mariage ainsi que la fidélité pendant le mariage, et accroître le plaisir sexuel de l'homme ;
- sociologiques : par respect des traditions culturelles, pour l'initiation des filles au statut de femme adulte, l'intégration sociale et le maintien de la cohésion sociale ;
- hygiéniques et esthétiques : dans certaines sociétés, les organes génitaux externes de la fille et de la femme sont jugés sales et laids, et sont donc enlevés à des fins hygiéniques et esthétiques ;
- religieuses : les mutilations génitales féminines/l'excision sont pratiquées dans un certain nombre de communautés, où l'on a croit à tort que certaines religions l'exigent.

· autres : pour augmenter la fécondité de la femme et renforcer les chances de survie de l'enfant.

L'âge auquel sont pratiquées les mutilations sexuelles varie en fonction des régions et donc des communautés : dès la naissance, vers 3-6ans, entre 10 et 12 ans, juste avant d'être mariées (15/16 ans) et, parfois, plus tard, avant le mariage, au cours de la grossesse ou encore à la suite du premier accouchement. Suivant les pays, les MSF sont pratiquées par des exciseuses voire par des professionnels du secteur de la santé. La mutilation est réalisée sans la moindre anesthésie avec un couteau, une lame de rasoir, puis un pansement à base de plantes et de cendres est mis sur la plaie. Les jambes de la fillette sont le plus souvent attachées pendant une dizaine de jours pour diminuer le risque de réouverture de la plaie.



3. Conséquence médicales

Les conséquences des mutilations génitales féminines varient selon le type et la gravité de l'acte pratiqué. Il existe des conséquences immédiates et d'autres tardives. Les conséquences immédiates sont le décès par choc et hémorragie, la douleur aiguë, les infections locales avec par fois un risque de transmission du virus de l'immunodéficience humaine (VIH), des lésions traumatiques des organes de voisinage (vessie, anus), la rétention d'urine liée à la douleur, les plaies, ...

Les complications tardives sont fréquentes et surtout en cas d'infibulation avec une gêne pour uriner, pour les rapports sexuels et même parfois pour les règles et les complications obstétricales avec dystocie à l'origine de souffrance fœtale, de fistules vésico-vaginales, d'hémorragie de la délivrance et de césarienne. Des complications sur la sexualité surviennent fréquemment avec angoisse au moment du démarrage de l'activité sexuelle, dyspareunie et frigidité. Les complications psychologiques sont d'autant plus importantes que les mutilations sont pratiquées tardivement avec troubles du comportement, anxiété, dépression, irritabilité chronique ou frigidité.

Leçon 3- La prise des stupéfiants et ses conséquences sur la santé reproductive

Objectif :

INTRODUCTION

L'usage de substances psychoactives- SPA (Substance légale ou illégale qui entraîne des changements dans les perceptions, l'humeur, la conscience, le comportement et diverses fonctions physiques ainsi que psychologiques. Son usage expose à des risques et à des dangers pour la santé et peut entraîner des conséquences sociales. Elle peut, en outre, conduire à la dépendance) peut engendrer de nombreuses conséquences négatives pour les personnes consommatrices. Dans les services de santé et des services sociaux, les centres d'aide pour les consommateurs de SPA ainsi que dans les programmes de formations en dépendance beaucoup d'informations sont transmises en abordant les influences des SPA sur la santé

physique, la santé mentale et la santé publique. Par contre, la santé sexuelle semble très peu abordée par ces milieux. Pourtant, au cours des dernières années, la sexualité a fait l'objet d'une large médiatisation via internet, les médias sociaux et le star-système. Ce manque d'informations peut occasionner diverses conséquences pour la santé physique et psychologique des personnes consommatrices

1. Alcool

De façon générale, la consommation d'alcool permet de réduire les inhibitions sociales et d'augmenter les sensations, le désir, l'excitation ainsi que le plaisir sexuel. Toutefois, à fortes doses, les fonctions sexuelles peuvent être altérées puis la satisfaction sexuelle affaiblit. La présence de dysfonctions sexuelles chez l'homme et chez la femme peut favoriser le développement d'un usage chronique d'alcool et augmenter le risque de rechute aux SPA. La chronicité de la prise d'alcool peut provoquer une perte d'attrait sexuel et des impacts négatifs sur les relations interpersonnelles pour les deux sexes.

a) chez l'homme

Chez l'homme, la consommation d'alcool est parfois utilisée pour pallier à des dysfonctions sexuelles, dont l'éjaculation précoce, en raison des effets sur la diminution des capacités érectiles et éjaculatoires. Lorsque la dose augmente, l'excitation, l'érection et l'éjaculation peuvent être sévèrement affectées. De plus, la consommation chronique d'alcool peut endommager les tissus des testicules, causer une impuissance pouvant être permanente, une réduction du niveau de testostérone et une réduction de l'érection nocturne de même que l'altération des fonctions reproductives, de l'érection et de l'éjaculation.

a) Chez la femme

Chez la femme, en fonction de la quantité d'alcool consommée, la désinhibition, le désir, le plaisir et l'excitation à engager l'activité sexuelle seraient augmentés avec la consommation de cette substance, mais la lubrification vaginale serait diminué). Lorsque la dose augmente, il peut y avoir un affaiblissement du désir, de la satisfaction sexuelle et de l'orgasme de même qu'une absence d'excitation sexuelle. Elle pourrait entraîner également une augmentation du temps avant l'atteinte de l'orgasme, l'anorgasmie, le vaginisme (resserrement du muscle du vagin qui occasionne les douleurs) certains cas, l'alcool occasionnerait une diminution de la libido, des irrégularités du cycle menstruel pouvant aller jusqu'à l'absence de menstruation et à de la douleur lors des rapports sexuels. Ces effets négatifs pourraient conduire certaines femmes à maintenir leur consommation d'alcool. À fortes doses, l'excitation génitale serait atténuée.

1. Le tabac

Le tabagisme est l'abus excessive du tabac et conduit aux avortements, infertilité, trouble du cycle menstruel ;

3. Opiacés

À petites doses, les opiacés accroissent le désir, les fantasmes érotiques, la sensibilité corporelle, la réponse sexuelle tout en améliorant les performances sexuelles. Chez l'homme, la consommation chronique d'opiacés entraînerait une diminution de la libido, des dysfonctions érectiles, une éjaculation retardée de même que des difficultés à atteindre l'orgasme. Par contre, lors du sevrage, l'homme aurait une érection spontanée, une éjaculation précoce et une hypersexualité. Chez la femme, la consommation d'opiacés augmenterait la libido et engendrerait une irrégularité du cycle menstruel. Toutefois, lors d'un usage chronique, une baisse de la libido et de l'activité sexuelle ainsi que des dysfonctions

4. Cocaïne

L'état de consommation chronique de cocaïne pourrait entraîner des dysfonctions sexuelles, des difficultés érectiles et éjaculatoires, une baisse du désir et une incapacité à atteindre l'orgasme. La satisfaction liée à l'activité sexuelle diminuerait en fonction de l'augmentation de la durée de la trajectoire de consommation et du mode d'administration comme l'injectio.

5. Amphétamines et méthamphétamines

La consommation chronique peut entraîner chez l'homme des dysfonctions érectiles, une éjaculation

retardée, des troubles reliés à l'orgasme et une cessation de l'activité sexuelle. Chez la femme, la consommation de méthamphétamines entraînerait une désinhibition amplifiant le sentiment d'être séduisante, désirable et confiante. En conséquence, elle se sentirait davantage capable de satisfaire ses besoins sexuels intimes et chercherait à accroître les rencontres sexuelles et les expériences d'exploration, ce qui lui donnerait une impression de liberté, de pouvoir sur sa sexualité et d'accès à des pratiques perçues comme non conventionnelles. De plus, la consommation créerait un intense désir pour la sexualité, augmenterait les pulsions sexuelles, le plaisir sexuel et la satisfaction

6. Cannabis

La consommation de cannabis influence surtout des éléments subjectifs, comme la satisfaction sexuelle et moins les fonctions physiologiques sexuelles, dont l'érection et la lubrification (Lévy et Garnier, 2006). Mais, chez certains, une douleur lors des rapports sexuels et une inhibition de l'orgasme sont. Chez les hommes, l'usage de cannabis engendrerait une intense excitation sexuelle. L'intoxication au cannabis aurait pour effet de réduire temporairement la production de testostérone, qui augmenterait à nouveau dès l'arrêt de la consommation. La consommation chronique de cannabis engendrerait des dysfonctions érectiles, diminuerait la production de testostérone ainsi que d'autres hormones reproductives et réduirait la production puis la mobilité des spermatozoïdes.,

Exemple de situation3 : Réurrence des maladies nutritionnelles

Catégories d'action 3 : Lutte contre la mauvaise alimentation et l'inactivité physique

Action 4 : Sensibiliser dans le cadre de l'éducation nutritionnelle

Séquence 11- Education nutritionnelle

Leçon 1- L'alimentation équilibrée

Objectif :

Les choix alimentaires d'une personne sont déterminés d'une part, par son état physiologique, ses préférences liées aux habitudes personnelles et culturelles, et d'autre part, par la composition chimique des aliments courants. Toutefois, les mauvaises habitudes alimentaires relatives à la vie moderne augmentent les risques d'atteinte de plusieurs maladies (diabète, bérubéri, maladies cardiovasculaires, rachitisme,...). Une consommation quotidienne équilibrée de certains aliments en quantité et en qualité permet de prévenir plusieurs troubles de la santé. **Une alimentation équilibrée** est une alimentation permettant de fournir les éléments nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme. Elle doit être adaptée à chaque individu du point de vue qualitatif et quantitatif.

1. Différents types de rations alimentaires.

On distingue donc plusieurs types de rations alimentaires.

- **la ration de croissance des enfants et adolescents** : ont davantage besoin des aliments constructeurs (protéines), des sels minéraux et des vitamines ;
- **la ration des femmes enceintes et allaitantes** : ont davantage besoin des aliments constructeurs (protéines), des sels minéraux et des vitamines ;
- **la ration de travail** : a besoin des aliments énergétiques (glucides surtout) ;
- **la ration des personnes âgées** : nécessitent plus de vitamines et de calcium pour éviter la décalcification des os.

2- Les besoins alimentaires de l'organisme

Leçon 2- Les conséquences de la mauvaise alimentation et de l'inactivité physique

Objectif :

MODULE III : L'EDUCATION A L'ENVIRONNEMENT ET AU DEVELOPPEMENT DURABLE

Familles des situations 1: Les problèmes liés à l'inégale répartition de l'énergie à la surface de la Terre

Situation problème contextualité d'entrée de module

- 1-Relevez le problème soulevé dans le texte
 - 2-Dégager ces causes
 - 3-Donner les conséquences de ce problème
 - 4-Quelles sont les solutions à ces problèmes
- Exemples de situations 1 :** Réchauffement climatique

Catégories d'action 1 : Lutte contre l'effet de serre

Action 1 : - Emettre des hypothèses sur l'origine de l'énergie solaire et son devenir à la surface de la Terre.

SEQUENCE I- LE RAYONNEMENT SOLAIRE ET SES INFLUENCES A LA SURFACE DE LA TERRE

GENERALITES : fig 1.1 et 1.2

Notre galaxie, la Voie lactée, est formée d'environ 200 milliards d'étoiles. Le Soleil est l'une de ces étoiles. Le système solaire, constitué du Soleil et de ses huit planètes est apparu il y a environ 4,6 milliards d'années. Dans le système solaire, la Terre présente un certain nombre de particularités :

- Elle continue à être le siège d'une activité interne
- Sa grande masse développe une gravité suffisante pour retenir une enveloppe riche en oxygène
- Sa distance au soleil (150 millions de Km) et les propriétés des gaz atmosphériques à effet de serre font qu'il existe à la surface de la Terre une température compatible à la vie
- Elle est la seule planète possédant une biosphère

Le Soleil est une étoile constituée essentiellement du dihydrogène (H₂) et d'hélium (He). Il représente à lui tout seul 99,99 % de la masse du système solaire. Sa surface, ponctuée d'éruptions d'amplitudes phénoménale, témoigne de la fantastique quantité d'énergie qu'il libère à chaque instant dans toutes les directions de l'espace. La planète Terre en reçoit une infime partie de cette énergie, mais suffisante pour entretenir son géodynamisme externe.

SEANCE 1 : L'origine de l'énergie reçue par la planète Terre

Objectif pédagogique : Déterminer l'origine du rayonnement que reçoit la planète Terre

1 - L'énergie du Soleil :

fig12.1 et 12.2

Notre étoile, le Soleil, est une immense boule de feu ayant un diamètre de 1,4 millions de Km. C'est la source lumineuse de tout le système solaire. La lumière solaire transporte l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétiques (radiations électromagnétiques) caractérisés par leurs longueurs d'ondes, allant de 10⁻⁷ à 2.10¹⁰ μm. Ces longueurs d'ondes sont : les rayons γ, les rayons X, les rayons ultraviolets, la lumière visible, les rayons infrarouges et les ondes radio. NB : Seuls les rayons infrarouges sont des

rayonnements calorifiques ; les autres produisent un effet thermique s'ils sont absorbés par les corps qui réémettent de l'infrarouge.

2 - Mise en évidence de la production de chaleur par le Soleil : fig12.3

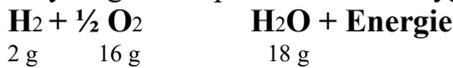
Au moyen d'une loupe ou d'un miroir concave, il est possible de brûler (calciner) un objet en y dirigeant des rayons solaires. On conclut alors que le rayonnement émis par le soleil est un flux de chaleur (énergie)

3 - Quelle est l'origine de l'énergie solaire ?

Des analyses chimiques ont montré que le soleil est essentiellement constitué à 92 % du dihydrogène et à 7,8 % de l'hélium (en nombre d'atomes). Pour expliquer l'origine de l'énergie solaire, les astrophysiciens ont proposés deux théories (hypothèses) : l'hypothèse de la **réaction chimique** et l'hypothèse de la **fusion thermonucléaire**.

a) L'énergie solaire a-t-elle une origine chimique ?

Selon cette hypothèse, on considère que l'énergie solaire provient de la **combustion** du dihydrogène en présence du dioxygène.



2 g 16 g 18 g

Selon cette équation, la masse du Soleil estimée à $2 \cdot 10^{30}$ kg ne varie pas, car 2 g de H_2 + 16 g de O_2 donne 18 g de H_2O . En considérant que le Soleil était constitué à l'origine uniquement de dihydrogène et de dioxygène, le dihydrogène représente alors les $2/18^{\text{ème}}$ de la masse totale du Soleil. On peut déduire la masse du combustible à $2 \cdot 10^{30} \times 2 / 18$ kg.

La durée de vie (T) d'une combustion peut être évaluée, connaissant la masse du combustible et la quantité d'énergie libérée (E = m. Q) lors de la combustion par unité de temps. La formule permettant cette mesure est

$$: \mathbf{T} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{L}} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{T} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{Q}}{\mathbf{L}}$$

Q = énergie libérée par la combustion de 1 kg de dihydrogène = $14,31 \cdot 10^7$ J.kg⁻¹

m = masse du combustible (H_2) = $2 \cdot 10^{30} \times 2 / 18$ kg

L = luminosité solaire (puissance rayonnée) = $4 \cdot 10^{26}$ watt (J.S⁻¹)

AN : T = $14,31 \cdot 10^7 \times 2 \cdot 10^{30} \times 2 / 18 \times 4 \cdot 10^{26} \approx 8, 1537 \cdot 10^{10}$ s ≈ 2581 ans

≈ 2600 ans

Ce résultat est surprenant et ne correspond pas avec la réalité, car la Terre est déjà vieille de 4,6 milliards d'années et elle s'est formée peu de temps après le Soleil. La durée de vie (espérance de vie) du Soleil ne peut par conséquent pas être seulement 2600 ans. L'énergie solaire aurait une autre origine.

b) L'énergie solaire a-t-elle une origine thermonucléaire ?

Activité(fig12.4)

Selon cette théorie, on pense que les noyaux d'hydrogène peuvent fusionner pour former des noyaux d'hélium dans les conditions extrêmes de température et de pression : c'est la **fusion thermonucléaire**. Cette fusion libère une quantité d'énergie incommensurable et se déroule dans le cœur

du Soleil (fig 1.3) selon l'équation bilan : $4 \text{ } ^1_1\text{H} \rightarrow \text{ } ^4_2\text{He} + 2 \text{ positrons} + 2 \text{ neutrinos} + 2 \text{ photons } \gamma$.

Au cours de cette réaction, il y a perte de masse nucléaire de l'ordre de $7/1000$ ($7 \cdot 10^{-3}$), qui sera convertie en énergie selon la formule d'Einstein : $\mathbf{E} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{C}^2$

C = célérité (vitesse de la lumière dans le vide) = $3 \cdot 10^8$ m.s⁻²

m = perte de masse en kg

Le temps qui sépare l'apparition du Soleil de son extinction, dans l'hypothèse d'un rayonnement

$$\mathbf{T} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{L}} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{C}^2}{\mathbf{L}}$$

constant est : Or $\mathbf{E} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{C}^2$.

- Calcul de m (perte de masse)

Sachant que $7 \cdot 10^{-3}$ de la masse de la masse du Soleil est convertie en énergie et que le soleil s'éteindra quand le $1/10^{\text{ème}}$ de sa masse actuelle aura subi une réaction de fusion thermonucléaire, la masse de matière combustible est de : Cette valeur de 10 milliards d'années environ correspond à la

réalité. La durée de vie du Soleil n'est pas infinie. Il s'éteindra donc au bout de 10 milliards d'années environ depuis sa naissance. Cette extinction du soleil arrivera quand les réactions thermonucléaires cesseront.

Conclusion : L'énergie solaire provient des réactions de fusion thermonucléaires qui se déroulent au cœur (centre) du Soleil. La durée de vie du Soleil dépend de sa réserve en combustible (H₂). Dès sa naissance, le Soleil avait une espérance de vie de 10 milliards d'années environ ; il a déjà vécu près de cinq milliards d'années, ce qui signifie qu'il a encore les réserves pour briller pendant cinq milliards d'années.

SEANCE II - Le devenir du rayonnement solaire que reçoit la planète Terre

Objectifs : Déterminer le devenir du rayonnement solaire que reçoit la planète Terre

Définir les notions d'albédo et de bilan radiatif

1 - La Terre ne reçoit qu'une partie de l'énergie émise par le Soleil : **Activité fig12.5**

Toute interface entre deux milieux réfléchit une partie du rayonnement incident. Le rayonnement absorbé par une matière est transformé en chaleur (infrarouge).

Lors de sa traversée dans l'atmosphère, le rayonnement solaire subit plusieurs modifications :

- Dans la haute atmosphère (stratosphère), une grande partie des rayons ultraviolets (UV) du Soleil est **absorbée** par la couche d'ozone (O₃) qui va la transformer en rayons infrarouges (IR).
- Le rayonnement solaire est **réfléchi** au niveau : de la troposphère, du sol, des océans et des végétaux.
- Les radiations non réfléchies sont transmises par l'atmosphère et rencontrent généralement les petites particules qui les réémettent dans toutes les directions : c'est le phénomène de **diffusion** dont l'importance est inversement proportionnelle à la longueur d'onde.
- Enfin, le flux solaire incident subit une **absorption**, faible au niveau de l'atmosphère, forte au niveau de l'océan des végétaux et des continents qui s'échauffent.

2 - La notion d'albédo : **fig12.5 (calcul de l'albédo)**

L'albédo est le rapport entre la quantité d'énergie réfléchiée par une surface et la quantité d'énergie

reçue (incidente) par cette même surface.

$$\text{Albédo} = \frac{\text{énergie réfléchiée}}{\text{énergie reçue}}$$

Sa valeur varie selon la nature de la surface réfléchissante. **Exemples** : pour la neige, l'albédo est 0,8 ; pour l'océan, sa valeur est de 0,1.

L'albédo global de la Terre est de 0,3 (30%) ; cela signifie que 70% du rayonnement solaire reçue par la Terre sont retenues (absorbées).

Application : Dans une région, l'énergie incidente moyenne est de 160 W/m². L'énergie réfléchiée dans la même région sur différente surface est :

Surface	Sol sableux	Savane herbeuse	Eau de mer
Energie réfléchiée	56 W/m ²	35,2 W/m ²	74,4 W/m ²

1 - calculer l'albédo dans les trois milieux

2 - quel est le milieu qui absorbe le plus d'énergie ?

Solution :

1 - albédo = ER/EI

- sol sableux : albédo = $\frac{56}{160} = 0,35 = 35\%$

- savane herbeuse : albédo = $\frac{35,2}{160} = 0,22 = 22\%$

- eau de mer : albédo = $\frac{74,4}{160} = 0,46 = 46\%$

2 - plus l'albédo est petit, plus le milieu absorbe de l'énergie \implies La savane herbeuse absorbe plus d'énergie.

3 - Notion de constance solaire ou flux solaire :

Activité : fig 12.6

La quantité d'énergie émise par le Soleil est constante. La mesure de cette énergie solaire atteignant la terre se fait par des **satellites** munis de **radiomètre**, situés dans l'atmosphère terrestre. La **constance solaire** est la puissance du rayonnement solaire reçue en moyenne par m² à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. Sa **valeur théorique (flux solaire théorique)** est d'environ 1400 W/m² pour un rayonnement solaire arrivant perpendiculairement sur une surface plane (Surface = πr_2^2). Or la Terre a une forme sphérique de surface quatre fois supérieure à la surface plane (Surface = $4 \pi r_2^2$) ; on en déduit que la **constance solaire réelle** est quatre fois plus petite que la constance solaire apparente $\frac{1400}{4} = 350 \text{ W.m}^{-2}$.

4 - La Terre réémet un rayonnement infrarouge

Un **corps noir** est un corps qui émet autant d'énergie qu'il en reçoit. La terre est considérée comme étant un corps noir, car elle reçoit du Soleil environ 342 W.m⁻² et réémet vers l'espace environ 342 W.m⁻² (à démontrer à partir de l'exercice 4, page 8 ou l'exercice 8, page 9).

Lorsque la Terre reçoit de l'énergie solaire, elle s'échauffe, puis réémet cette énergie sous forme de chaleur (IR). Une grande partie de ce rayonnement infrarouge réémit par la Terre est retenu par les gaz atmosphérique à effet de serre et renvoyé vers le sol pour son réchauffement : c'est l'**effet de serre** (réchauffement de la Terre par son propre rayonnement infrarouge).

En utilisant le flux solaire qui arrive sur la Terre, on peut estimer la température théorique de la Terre à - 18 °C ; or la température moyenne réelle sur la Terre est de 15 °C. Cette élévation de la température terrestre par rapport à la température théorique est l'œuvre de l'effet de serre. En effet, la température moyenne de la Terre égale à 15 °C correspond à une énergie émise de 390 W/m² alors qu'en dehors de l'atmosphère, on enregistre une énergie globale émise par la Terre de 240 W/m². La différence entre les deux valeurs (390 - 240) est la conséquence de l'effet de serre.

Certains gaz de l'atmosphère sont capables de retenir le rayonnement infrarouge réémis par la Terre et d'assurer ainsi son réchauffement : ce sont les **gaz à effet de serre**. On peut citer : le CO₂, la vapeur d'eau, le méthane, le CFC (chlorofluorocarbone).

NB : L'arrivée du rayonnement solaire à la surface de la Terre a deux conséquences :

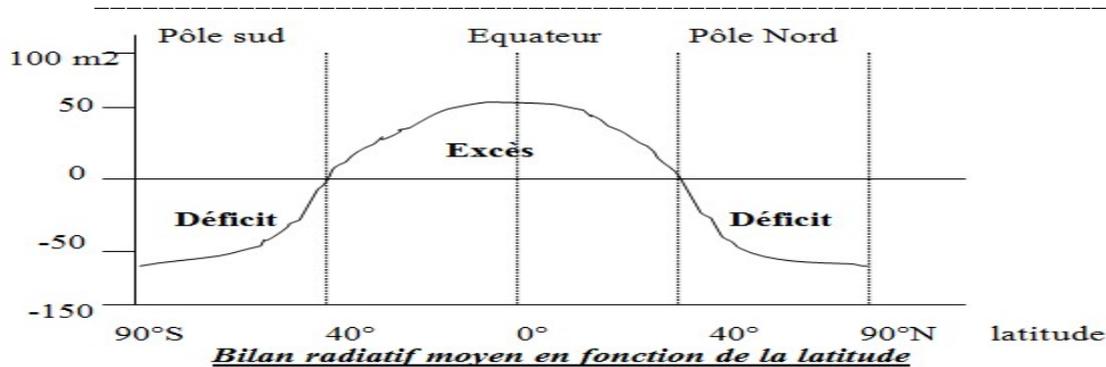
- Elle crée des différences de température importantes entre les régions polaires (froides) et les régions équatoriales (chaudes). Ce qui provoque les grands mouvements atmosphériques et océaniques.
- Elle est le moteur du **cycle de l'eau**.

5 - Le bilan radiatif **Activité Fig : 12.7**

Le **bilan radiatif** est la différence entre le rayonnement solaire incident (flux solaire absorbé par la surface du sol) et le rayonnement infrarouge réémit. Ce bilan est **positif (excédentaire)** dans les zones intertropicales et **négatif (déficitaire)** dans les zones polaires.

La terre reçoit 324W/m², réfléchit 102 W/m² et réémet 240 W/m² sous forme d'infrarouge mesuré au sommet de l'atmosphère. Son bilan radiatif global est équilibré (nul). Elle est considérée comme étant un corps noir, car elle réémet autant d'énergie reçue). (**à démontrer à partir de l'exercice 4, page8 ou l'exercice8, page9**). Toutefois, ce bilan radiatif est variable selon les régions.

Il est **excédentaire (positif)** au niveau de l'équateur (zones intertropicales), car la Terre reçoit plus d'énergie qu'elle n'en réémette sous forme d'infrarouge (on tend vers un échauffement). Au niveau des pôles, le **bilan radiatif est déficitaire (négatif)** car la surface du sol reçoit moins d'énergie qu'elle n'en réémette sous forme de chaleur (on tend vers un refroidissement).



Action 2-Sensibiliser sur l'effet de serre et ses conséquences

Séance 3 : L'effet de serre

Objectif : Définir l'effet de serre, donner l'importance et ses conséquences

1- La notion d'effet de serre

L'effet de serre est le processus par lequel les gaz des couches les plus basses de l'atmosphère absorbent le rayonnement infrarouge produit par la Terre et le renvoient vers la surface du sol, provoquant ainsi le réchauffement de la planète Terre. Ces gaz sont : le **dioxyde de carbone** (CO_2), le **protoxyde d'azote** (N_2O), le **méthane** (CH_4), l'**ozone** (O_3), la **vapeur d'eau** (H_2O), l'**oxyde nitreux** (NO), les **chlorofluorocarbones** (CFC)...

*La température de l'air est alors supérieure à ce qu'elle devrait être si les basses couches de l'atmosphère ne contenaient pas de gaz tel que le **dioxyde de carbone** (CO_2), le **protoxyde d'azote** (N_2O), le **méthane** (CH_4), l'**ozone** (O_3), la **vapeur d'eau** (H_2O), l'**oxyde nitreux** (NO), les **chlorofluorocarbones** (CFC)... Ces gaz sont dits à **effet de serre** car ils se comportent de la même manière que les vitres d'une serre qui empêchent une partie de l'énergie accumulée derrière elle durant le jour, de s'échapper durant la nuit.*

2- L'importance et les conséquences de l'augmentation des gaz à effet de serre

a) l'importance de l'augmentation des gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre ont contribué à augmenter la température à la surface de la Terre et à maintenir la vie sur Terre.

C'est grâce à l'effet de serre qu'on a l'eau sous trois états : solide, liquide et gazeux.

En l'absence de l'effet de serre, la température à la surface de la Terre serait d'environ -20°C , ce qui rendrait la vie impossible.

b) les conséquences de l'augmentation des gaz à effet de serre

-Fonte des calottes glaciaires polaires, ce qui entraînerait l'élévation du niveau de la mer et la disparition des certaines zones littorales.

- Réchauffement climatique, qui augmente l'évaporation des océans, entraînant davantage la production de vapeur d'eau, qui est lui-même un gaz à effet de serre.

-diminution du pouvoir réfléchissant de la surface de la Terre due à la fonte des neiges

- Apparition des déserts, des maladies, déstabilisation des écosystèmes

Exemples de situations 2 : Récurrence des catastrophes liées aux mouvements atmosphériques et océaniques

Catégories d'action : Sensibilisation dans le cadre des catastrophes liées aux mouvements atmosphériques et océaniques

Action 3- Informer et /ou éduquer sur les causes et les conséquences des mouvements atmosphériques et océaniques

SEANCE 4 :- LES MOUVEMENTS ATMOSPHERIQUES ET LES MOUVEMENTS OCEANIQUES

objectifs

A la fin de cette leçon, l'apprenant doit être capable de :

Déterminer l'influence du rayonnement solaire sur les enveloppes externes de la Terre

1- Les causes de l'inégale répartition de l'énergie solaire

L'énergie solaire reçue par la Terre au niveau d'une surface donnée E varie :

- selon la latitude : il y a diminution de l'ensoleillement moyen de l'équateur vers les pôles
- elle est plus grande le jour que la nuit
- elle est plus grande en été (ou en saison sèche) qu'en hivers (ou en saison pluvieuse)

Les causes de cette variation sont nombreuses : rotondité de la Terre ; rotation de la Terre

a - La rotondité de la Terre : fig12.8

La terre étant sphérique, un même rayonnement solaire incident se répartit sur une plus grande surface au niveau des pôles qu'au niveau de l'équateur. En effet, à l'équateur, l'angle d'incidence est de 90° alors qu'aux pôles, les rayons solaires arrivent de manière oblique. Cela explique le fait que la quantité d'énergie reçue par une surface (flux solaire) diminue de l'équateur vers les pôles.

b- La rotation de la Terre

La terre tourne autour d'elle-même selon un axe de rotation qui est incliné de $23,5^\circ$ par rapport à la perpendiculaire au plan de l'écliptique (plan de révolution autour du Soleil). Cette inclinaison de l'axe de rotation de la Terre est à l'origine de l'inégale répartition des jours et des nuits, facteur responsable de l'inégale répartition de l'énergie solaire à la surface de la Terre.

c - Un bilan énergétique inégal selon la latitude

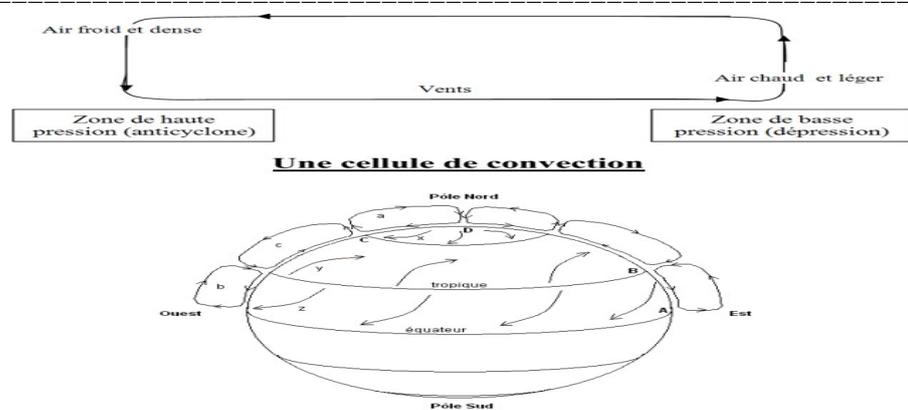
Le bilan énergétique (bilan radiatif) est la différence entre l'énergie solaire absorbée par la Terre et l'énergie qu'elle émet sous forme d'infrarouge.

Le bilan **radiatif est excédentaire** au niveau de l'équateur (zones intertropicales), car la Terre reçoit plus d'énergie qu'elle n'en réémette sous forme d'infrarouge (on tend vers un échauffement). Au niveau des pôles, le **bilan radiatif est déficitaire** car la surface du sol reçoit moins d'énergie qu'elle n'en réémette sous forme de chaleur (on tend vers un refroidissement).

Ce déséquilibre d'énergie sera compensé par des mouvements de l'atmosphère et des océans qui vont transporter l'énergie des régions à bilan radiatif excédentaires vers les régions à bilan radiatif déficitaire.

3-Les mouvements atmosphériques : Activité fig12.9 et 12.10

Les masses d'air sont animées par deux types de mouvements :



Document II : Circulation atmosphérique de l'hémisphère Nord

Travail demandé :

- 1 - Déterminer la pression au sol aux points A, B, C et D.
- 2 - Nommer les cellules a, b et c, ainsi que les vents x, y et z.

On distingue les **cellules de Hadley** (cellules équatoriales) à l'équateur, les **cellules polaires** aux pôles et les **cellules intermédiaires (cellules de Ferrel)** entre les deux. C'est le fonctionnement coordonné des différentes cellules de convection qui aboutit à la circulation de l'atmosphère de l'équateur aux pôles.

La rotation de la Terre sur elle-même engendre une force dite **force de Coriolis** qui dévie le trajet des vents **vers la droite** quand on va vers le Nord et **vers la gauche** quand on va vers le Sud. Aux latitudes moyennes, les vents dominants sont les **vents d'Ouest**. Aux hautes latitudes les vents soufflent de l'**Est** et aux très basses latitudes règnent les **alizés (vents du Nord-Est)**.

NB : La force de Coriolis varie avec la latitude : nulle au niveau de l'équateur, elle est maximale au niveau des pôles. Les masses d'air et les courants océaniques superficiels sont soumis à une force liée à la rotation de la Terre appelée **force de Coriolis**. Cette force a pour effet de dévier la trajectoire horizontale des masses d'air et d'eau vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud.

4 - Les mouvements océaniques : **Activité Fig .12.11**

Il est à noter que :

- Les différences de densité de l'eau de mer et de l'eau douce dépendent de la température et de la salinité. A la même température, l'eau de salée de mer est plus dense que l'eau douce. La densité de l'eau salée augmente lorsque la température diminue alors que la densité de l'eau douce diminue lorsque la température diminue.
- Les mouvements océaniques sont le résultat des actions combinées de la force de Coriolis, de l'énergie solaire, des vents (pour les courants superficiels), de la place des continents, de la différence de salinité et de température de l'eau.

On distingue deux types de mouvements océaniques

a) Les mouvements océaniques superficiels

Ils ont pour moteur les vents et la force de Coriolis. Ils sont moins rapides que les mouvements atmosphériques. On distingue les courants océaniques chauds (Gulf Stream, Kuro Shivo) et des courants océaniques froids (Labrador, Benguela, Humbolt).

b) Les mouvements océaniques profonds

A une profondeur de 100 à 200 m, la température des eaux océanique chute brutalement séparant les eaux superficielles moins denses des eaux profondes plus denses.

Les courants océaniques profonds ont pour moteur la différence de densité liée à la température et à la salinité.

A l'équateur, les eaux s'échauffent, se dilatent, deviennent moins denses et s'écoulent vers les pôles. Au niveau des pôles, les eaux se refroidissent, deviennent plus salées et plus denses (après formation de la glace) et descendent sous les eaux plus chaudes et moins denses pour s'écouler vers l'équateur.

NB : Alors que la circulation des eaux superficielles nécessite quelques dizaines d'années pour aller d'un pôle à l'autre, celle des eaux profondes nécessite 500 à 1000 ans pour faire le même trajet.

Conclusion

L'énergie reçue par la Terre provient des réactions de fusion thermonucléaires qui se déroulent au cœur du Soleil. Cette énergie est inégalement répartie à la surface de la Terre, ce qui entraîne des phénomènes de déplacement des océans et de l'air. Cette énergie est en outre la source de la vie sur la planète Terre et le moteur du cycle de l'eau.

SEQUENCE II-LES PHENOMENES D'ALTERATION DES ROCHES ET SES CONSEQUENCES

INTRODUCTION

Sous l'action des agents atmosphériques, les continents sont soumis à une météorisation c'est-à-dire une désagrégation physique et une altération chimique. Les produits issus de cette action peuvent être transportés par les eaux courantes, les glaciers ou le vent pour participer à la formation des roches sédimentaires. Il convient de connaître les mécanismes de l'érosion, du transport et de la sédimentation et de retrouver certains événements de l'histoire de la Terre à partir de l'étude des roches sédimentaires.

SEANCE : L'altération des roches et agents responsables.

Objectif : Expliquer les mécanismes responsables de la dégradation des roches

1- L'eau.

a- L'effet de l'eau sur le granite.

Activité fig13.1 et 13.2

Le document 2.1 représente les lames minces de deux échantillons de roches granitiques : l'un sain, l'autre altéré.



Document 2.1

Comparer la texture d'un granite sain et celle de l'arène granitique. Expliquer les différences observées entre les deux textures.

Le granite sain est une roche de **texture grenue**, formée :

- des cristaux de quartz gris, translucide et de forme irrégulière ;
- des cristaux de feldspaths (orthose et plagioclase), de teinte claire, blanchâtre ou rose, et présentant des faces planes brillantes lorsqu'ils sont convenablement orientés par rapport à la lumière ;
- des cristaux brillants de mica noir (biotite) ou de mica blanc (muscovite).

Sur un massif granitique, on observe des macrofractures ou diaclases visibles à l'œil nu et des microfractures visibles à l'aide du microscope à l'échelle du minéral. Les macro- et microfractures sont les zones d'infiltration des eaux de pluies.

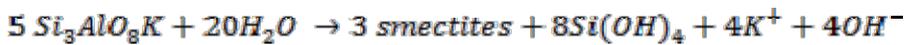
L'eau d'infiltration a une double action sur le massif granitique :

- Une **action mécanique** sous l'effet du gel et du dégel ;
- Une **action chimique** à cause de son enrichissement en dioxyde de carbone :

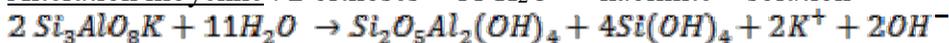


L'acide carbonique est un acide faible qui **hydrolyse** les minéraux sensibles (micas et feldspaths) et les transforme en argile non soluble (smectite et kaolinite par exemple) et en hydroxydes divers solubles (gibbsite).

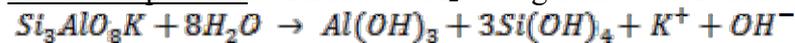
Altération ménagée : $5 \text{ orthoses} + 20 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{ smectites} + \text{solution (eau et ions)}$



Altération moyenne : 2 orthoses + 11 H₂O → kaolinite + solution



Altération poussée : orthose + 8 H₂O → gibbsite + solution



A partir de la formule de l'orthose et des solutions de lessivage, évaluer, en pourcentage de la teneur initiale, les pertes du système en Si, Al, K et ce, pour chaque cas d'altération. Comparer les résultats : que remarquez-vous alors ?

Minéral primaire + eau seule ou solution d'attaque

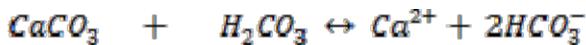


Minéral secondaire + solution de lessivage (anions, cations, silice, ...)

Le quartz mattaquable donne les grains de quartz libres (silice pure). La roche perd de sa cohérence et il se forme un sable grossier appelé **arène granitique** (grains de quartz non altérés, argiles, ...).

b- Effet de l'eau sur les roches carbonatées (calcaires).

L'eau chargée de dioxyde de carbone a une action chimique de **dissolution** sur le calcaire. Elle transforme les carbonates insolubles constitutifs du calcaire en ions hydrogénocarbonates solubles.



Carbonate de calcium + acide carbonique

ion hydrogénocarbonate

Minéral + solution d'attaque → solution de lessivage (ions)

Cette action de dissolution permet la formation des cavités de différentes dimensions dans la roche.

c- Effet de l'eau sur les roches tendres (sables, argiles, ...)

L'eau de pluie sur ces roches a une action mécanique : elle provoque leur **ravinement**.

2- Action des êtres vivants.

- Au niveau du sol, l'activité végétale maintient une teneur élevée de dioxyde de carbone. Les eaux d'infiltration s'enrichissent donc en dioxyde de carbone et leur action chimique augmente.
- Les racines des arbres au cours de leur croissance élargissent les fissures des roches (action mécanique d'altération) et sécrètent aussi des substances acides qui peuvent hydrolyser les minéraux.
- Les lichens et les bactéries décomposent directement la roche pour obtenir les substances minérales nécessaires à leur alimentation.

NB : l'action des êtres vivants est influencée par la température, elle-même liée au climat. En effet, une augmentation de la température de 10 °C double la vitesse des réactions biochimiques, accélérant ainsi l'altération biologique.

3- Action du climat.

i. La température.

L'augmentation de la température accroît l'intensité de l'altération biologique ; c'est pourquoi l'altération biologique est plus intense en région tropicale qu'en région tempérée.

ii. Les écarts thermiques (l'air figé).

L'air figé agit à travers les écarts thermiques. En effet, les grands écarts thermiques entraînent la désagrégation et l'effritement des roches. C'est le cas par exemple dans le désert où les écarts thermiques peuvent atteindre une amplitude de 50 °C.

iii. Les précipitations, le ruissellement, le vent, la foudre.

Ce sont des agents de dégradation mécanique des roches (fragmentation, ravinement, effritement). Ils sont liés au climat.

NB : les impacts des corps cosmiques (chutes de météorites) sont aussi à l'origine de la fragmentation des roches

Conclusion partielle.

L'**altération** est la séparation des éléments d'une roche par l'action des phénomènes mécaniques et/ou chimiques.

Il y a donc **deux** types d'altération :

- L'**altération physique** qui correspond à la fragmentation de la roche sans modification de sa composition chimique.
- L'**altération chimique** qui correspond à la dissolution des roches ou à une hydrolyse partielle ou totale des minéraux des roches.

SEANCE 2 : Devenir des produits d'altération des roches.

Objectif : -expliquer le processus de transport et de dépôt des sédiments

- définir érosion
- expliquer le processus de la diagénèse
- décrire les séries sédimentaires et les cycles sédimentaires

En l'absence d'un agent de transport, les produits de l'altération des roches et le résidu restent sur place et participent à la formation du sol.

En présence l'un agent de transport (eau de ruissellement, vent, gravité), les constituants des roches et une partie plus ou moins importante des produits de leur altération sont entraînés sous forme solide ou dissoute : cette ablation de la roche (perte de substance) correspond à l'érosion.

1 - L'érosion

L'érosion est le processus qui est responsable du déplacement des matériaux résultant de l'altération des roches. C'est un processus essentiellement physique, d'arrachement des matériaux à la roche-mère.

Il correspond à la mobilisation des produits d'altération préparant ainsi leur déplacement pour être déposées dans un milieu. Il succède à l'altération. Les produits sont entraînés sous forme dissoute ou solides. La vigueur de l'érosion dépend de la vitesse de l'agent de transport, du diamètre des particules et de leur degré de cohésion.

On distingue :

- L'érosion éolienne : l'agent de transport est le vent. Elle peut se faire par déflation (enlèvement des fractions les plus fines) ou par corrosion (coulissage des particules)
- L'érosion fluviale et le ruissellement : provoquée par les fleuves ou les cours d'eau
- L'érosion glaciaire : provoquée par l'action du gel et de dégel
- L'érosion marine : provoquée par les courants d'eau de mer

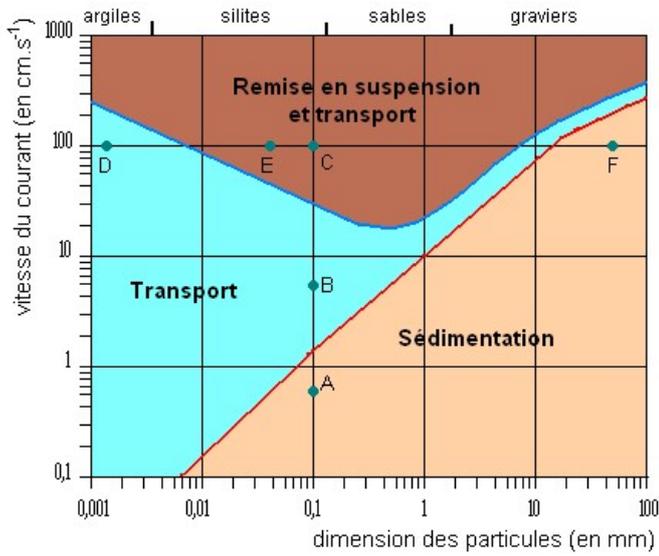
L'**érosion** est l'ensemble des phénomènes externes qui à la surface du sol ôtent tout ou une partie des terrains existant, modifiant ainsi le relief.

2- Le transport des produits d'altération et d'érosion

2.1- Transport des matériaux solides.

Activités.

Pour étudier certaines caractéristiques des paramètres qui régissent l'érosion, le transport ou la sédimentation des particules solides, on peut, en laboratoire dans un chenal d'écoulement, faire varier soit le débit du courant, soit la taille des particules soumises à ce courant. Le document 2.2 permet d'analyser le comportement des particules en fonction de la vitesse du courant et de leur granulométrie.

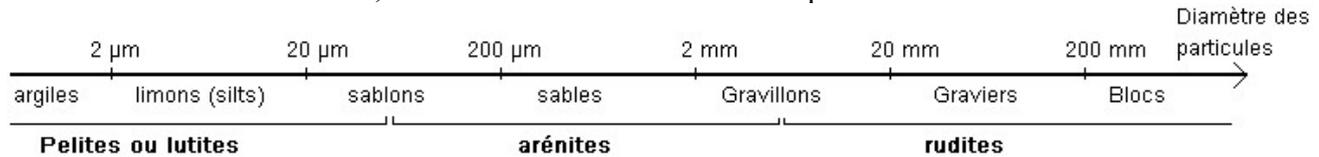


Document 2.2

Preciser quel sera le comportement d'une particule (points A, B et C) soumise à des vitesses de courants variables. Que peut-on dire du comportement des particules de tailles variables (points D, E, F) soumises à un courant de 100 cm.s⁻¹ ?

Selon la vitesse du courant, les particules transportées sont de tailles différentes : **la vitesse de transport d'une particule étant inversement proportionnelle à sa taille** (les grains se déplacent d'autant plus lentement qu'ils sont plus gros). Lorsque la vitesse du courant diminue, les particules se déposent des plus grosses aux plus fines : le transport par l'eau sépare les matières provenant de l'altération des roches, un tri est effectué. Un tel classement visible dans les cônes de déjection des torrents de montagne est appelé **granoclassement**.

En fonction de leur diamètre, les sédiments sont classés ainsi qu'il suit :

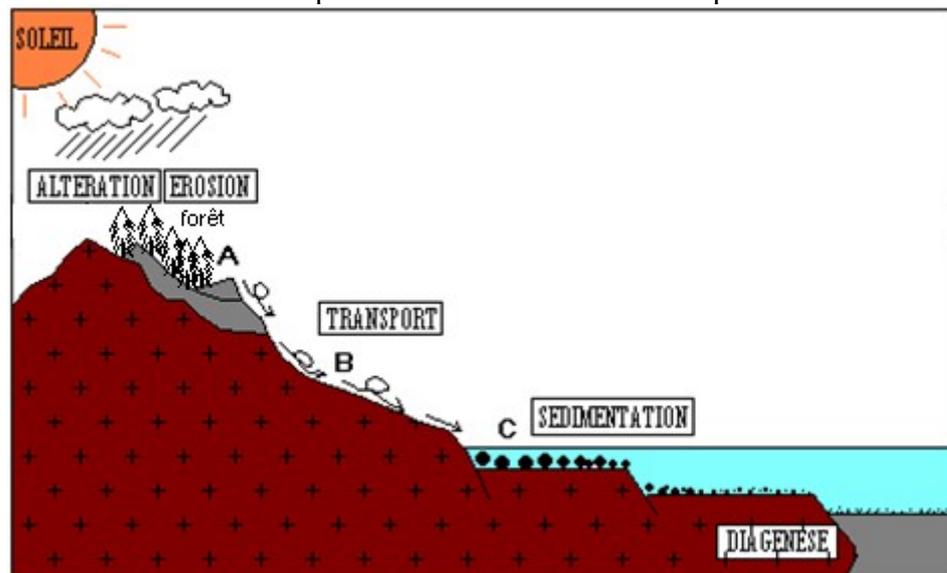


Document 2.3 : Echelle granulométrique de référence.

NB : L'altération se poursuit au cours du transport.

Exercice

Le document 2.4 est un profil réalisé dans une zone tropicale humide.



Document 2.4

Retrouver le ou les agents de l'altération intervient (ent) ici. Expliquer son ou leur mode d'action.

Compléter le schéma pour obtenir le cycle de l'eau. Retrouver le moteur de ce cycle.

Retrouver les agents de transport susceptibles d'intervenir dans ce contexte.

A l'aide d'une colonne de tamisage, on mesure la taille des grains de la fraction sableuse de trois sédiments prélevés d'amont en aval aux points A, B et C. les résultats obtenus fournissent des renseignements sur la distribution des différents grains, sur leur classement et sur leur origine.

Taille (t) (mm)	6,3	5	4	3,1	2,5	2	1,6	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,20	0,16	0,12	0,1	0,08	0,06
$a = 1/\log t$	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A (masse en %)	0,8	2,5	4,5	5,5	5,5	7,4	6,9	6,9	14	12	12	9	6	4	1,6	1	0,5	0,2	0,1	0,1	0
B (masse en %)	0	0	0	0	0	0,5	0,8	1,2	1,1	2,5	2,8	3,5	4,3	7,6	11	14	25	13	6	3,5	1,3
C (masse en %)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,2	0,8	7,1	57	28	6

Construire pour chaque échantillon la courbe de fréquence : en abscisse, la taille des particules ou les cologarithmes ($a = 1/\log$) de ces dimensions et en ordonnées, la masse de sédiment retenue dans chaque tamis.

On appelle mode la taille des grains les plus abondants. Une courbe peut être unimodale ou plurimodale. Une courbe unimodale indique que le sable a une seule origine et une courbe plurimodale indique que le sédiment est un mélange de sables d'origine différente. Un mode mal défini (courbe étalée) montre que le sédiment est déposé après un faible transport et qu'il n'est pas encore trié. Définir le mode de chaque échantillon.

Comparer les différentes courbes de fréquence et préciser alors l'action du transport sur la granulométrie d'un sédiment.

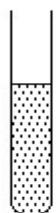
2.2- Transport et précipitation des ions en solution.

Activités.

Activité A



Tube 1
eau distillée



Tube 2
eau distillée +
carbonate de
calcium pulvérisé

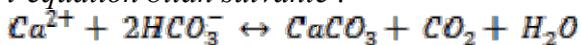


Tube 3
Même contenu que le tube 2
dans lequel on fait barboter l'air
contenu dans les poumons et
soufflé à l'aide d'un tube capillaire

Document 2.5

L'eau du tube 1 reste limpide. Dans le tube 2, on obtient une suspension (bio-précipitation) et dans le tube 3 une dissolution complète du carbonate de calcium.

De la présence d'une suspension dans le tube 2, déduire s'il y a solubilité de CaCO_3 dans l'eau pure. Comment la solubilité évolue-t-elle lorsqu'on ajoute du CO_2 ? Expliquer les résultats obtenus en utilisant l'équation bilan suivante :



Ion hydrogencarbonate carbonate de calcium formant la calcite, constituant essentiel des roches calcaires.

En raisonnant sur l'équation bilan donnée ci-dessus, dire quelles conditions de milieu favorisent la précipitation du calcaire.

Citer des endroits du Lycée ou de la maison où les dépôts de calcaire (le tartre) illustrent bien ce phénomène.

Emettre une hypothèse sur le principal constituant des produits détartrants commercialisés.

Montrer, à l'aide de l'équation bilan, que l'activité de la biosphère permet de rendre compte des dissolutions et recristallisation de la calcite en pays calcaire.

Activité B.

Les eaux de Montclar (1 355 m) et de Gréoux-les-Bains (300 m) sont situées en pays calcaire. Les eaux de Gréoux-les-Bains sont émises à 37 °C.

La source de Volvic (Puy-de-Dôme) est située dans une région volcanique pauvre en calcaire.

La source de Tangui est captée et mise en bouteille à Mbanqa

Le tableau suivant donne les compositions minérales (en mg/l) de ces eaux, des eaux de pluie et de l'eau de mer.

Eaux	ions	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	$2HCO_3^-$
Eaux de pluie (valeurs moyennes)		1,4	0,3	1,9	0,3	3,1	2,1	Traces
Eau de mer		540	1 356	11 200	570	21 090	3 300	156
Eau minérale de Montclar (Alpes-de-Haute-Provence)		41	3	2	0	3	2	134
Eau minérale de Gréoux-les-Bains (Alpes-de-Haute-Provence)		128	30	900	45	1 410	232	273
Eau minérale de Volvic (Puy-de-Dôme)		10,4	6	8	5,4	7,5	6,7	64
Eau minérale de Tangui		32	21	1	10	1	2	217

Relever dans le tableau les arguments qui permettent de penser que les eaux de pluie lessivent les terrains qu'elles traversent.

Proposer une hypothèse pour expliquer la forte minéralisation des eaux de Gréoux-les-Bains.

Expliquer pourquoi la quantité d'ion hydrogénocarbonate est faible en mer. Enoncer les conséquences de ce fait en se référant à l'équation bilan de l'activité A.

Emettre une hypothèse sur la nature des terrains lessivés par les eaux captées à Tangui.

Les éléments dissous sont transportés par les eaux circulantes (eaux de ruissellement et eaux d'infiltration) quelle que soit la vitesse du courant. La composition des eaux en ions dépend de la nature des terrains lessivés surtout. Ainsi, les principaux ions transportés dans les pays calcaires sont Ca^{2+} , HCO_3^- , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , ...

Les ions dissous ne se déposent que lorsqu'ils deviennent insolubles. La **précipitation** (c'est-à-dire le passage à l'état solide des ions dissous) est provoquée par le changement des conditions de solubilité (pH, température, modification des échanges avec l'atmosphère, ...)

La précipitation des carbonates de calcium est provoquée par un appauvrissement du milieu en dioxyde de carbone pouvant être dû à :

- un prélèvement de dioxyde de carbone par les organismes photosynthétiques,
- une baisse du taux atmosphérique de dioxyde de carbone,
- une élévation de la température du milieu, ...

3- Sédimentation et roches sédimentaires. Activité fig13.4

La **sédimentation** est l'ensemble des étapes qui conduisent à la formation des sédiments ; autrement dit, c'est le dépôt des particules solides et solubles transportées par l'eau.

3.1- Les pièges sédimentaires.

Certaines zones sont favorables au dépôt des sédiments : ce sont les **pièges sédimentaires** (mer ou lac).

a- La sédimentation littorale.

Les estuaires et les embouchures des fleuves sont des zones d'accumulation des sédiments.

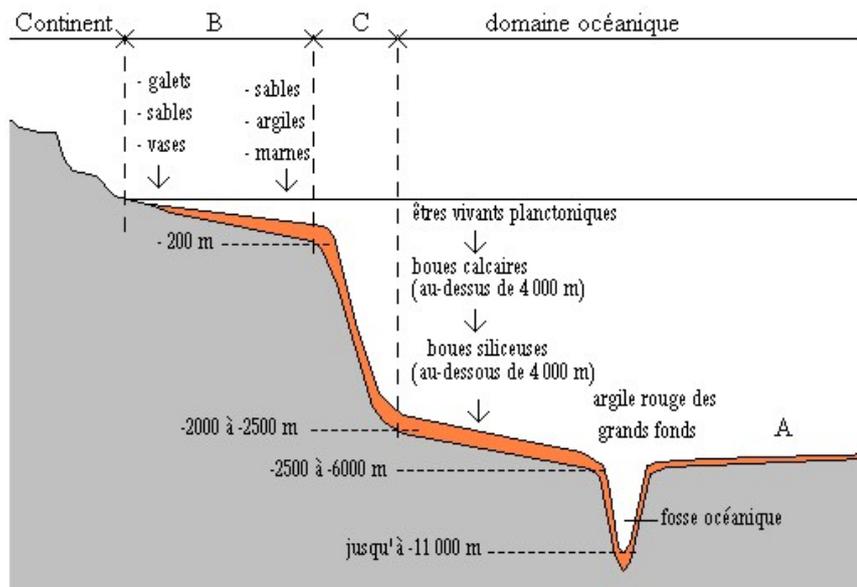
b- La sédimentation de la plate-forme continentale.

L'épaisseur des sédiments y est souvent considérable alors que la profondeur de la mer reste faible. Ce paradoxe s'explique par la subsidence du bassin sédimentaire c'est-à-dire l'enfoncement du fond océanique habituel à la limite océan-continent.

Les sédiments se déposent en couches ou strates.

c- La sédimentation profonde.

Les particules les plus fines (argiles, boues calcaires ou siliceuses) sont emportées et se déposent au large. Cependant, aux grandes profondeurs, les calcaires sont dissous avec l'enrichissement du milieu en dioxyde de carbone.



Document 2.6

Compléter le profil ci-dessus en nommant les zones A, B et C.

Préciser pour chaque zone de sédimentation, l'origine des sédiments (détritique, biologique ou chimique).

A l'aide de vos connaissances sur l'anatomie et le fonctionnement des êtres vivants ou du document 3 (texte) de la page 285 du livre SVT 1èreS (Collection Tavernier), montrer qu'ils peuvent participer directement et indirectement à la production des sédiments.

NB : La sédimentation marine présente cependant quelques particularités :

- une sédimentation plus facile des argiles car ils flocculent au contact de l'eau de mer.
- Un dépôt de matériaux grossiers d'origine continentale dans la plaine abyssale suite aux phénomènes d'effondrement de terrain qui peuvent affecter le talus continental ; l'agent de transport est ici la gravité.
- Une sédimentation au niveau de la dorsale, ceci à cause de l'hydrothermalisme (lessivage de la croûte nouvellement formée par les infiltrations de l'eau de mer).

4-La diagénèse et les roches sédimentaires

4-1- La diagénèse. Activité : fig. 13.5

- La **diagénèse** est la maturation du sédiment en roche sédimentaire. Elle consiste en un ensemble de réactions biologiques, physiques et chimiques. C'est un processus complexe.
- En surface, on enregistre l'activité des microorganismes qui aboutit, selon la composition des sédiments, à la dolomitisation, à la formation des carbonates de phosphates, de la pyrite, du pétrole, du charbon, ... Cette évolution minérale due à l'activité des microorganismes et des réactions chimiques constitue la diagénèse précoce.
- En profondeur, les facteurs qui interviennent sont physiques (la pression et la température). Les sédiments subissent la compaction suivie de la déshydratation et de l'augmentation de leur densité. Avec le phénomène de subsidence, il y a augmentation de la température et de la pression ; ce qui favorise des réactions chimiques à l'origine de la formation de matériaux nouveaux et la cohésion de la roche (cimentation).

- Conclusion partielle.

- On peut résumer le cycle d'évolution d'une roche sédimentaire détritique ainsi qu'il suit :
- Roche d'origine → altération → transport → sédimentation → diagénèse → roche sédimentaire.
- L'eau intervient à toutes les étapes, les êtres vivants contribuent à certaines d'entre elles.
- Le phénomène sédimentaire est un aspect important de la géodynamique externe du globe terrestre.

4.2- Les grands types de roches sédimentaires.

En fonction de l'origine des sédiments constitutifs, on distingue trois grands groupes de roches sédimentaires :

a- *Les roches sédimentaires d'origine détritique.*

Elles proviennent de l'altération et de l'érosion des roches préexistantes. Ce sont les sables, les argiles, les grès, ... On les rencontre dans les estuaires et les embouchures des fleuves.

b- *Les roches sédimentaires d'origine chimique.*

Les sédiments à leur origine proviennent de la précipitation des ions dissous dans l'eau.

Exemples :

- Les sables oolithiques (dépôts carbonatés) qui sont le résultat d'une précipitation de carbonate de calcium ;
 - Les évaporites qui résultent d'une sédimentation physico-chimique ; ce sont des associations de chlorures, sulfates et carbonates (sel gemme, potasse gypse).
- c- *Les roches sédimentaires d'origine biologique.*

Les sédiments à leur origine sont issus de l'accumulation des formations squelettiques d'êtres vivants.

Exemples :

- Les récifs coralliens, produits de l'activité des coraux ;
- Les boues à foraminifères ou les boues contenant les débris d'algues (coccolithes) ;
- Les boues siliceuses, provenant de l'accumulation des tests siliceux d'organismes planctoniques.

NB : toutes les roches sédimentaires se caractérisent par :

- Leur origine externe,
- Leur disposition en strates,
- La présence fréquente des fossiles.

SEANCE 3 : les cycles et séries sédimentaires.

Objectifs

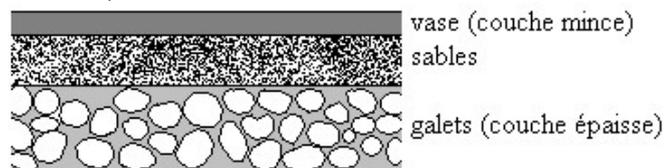
- *décrire les séries sédimentaires et déduire la notion de stratigraphie ;*
- *représenter à l'aide d'un schéma un cycle sédimentaire ;*

1- Notion de série sédimentaire.

Identifier les sédiments dont les caractéristiques indiquent qu'ils se sont formés pendant les périodes

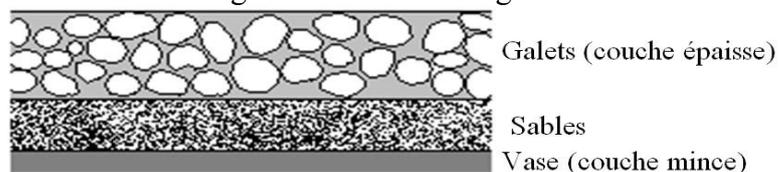
Une **série** ou **colonne sédimentaire** est un ensemble de dépôts transformés en roches par diagenèse. Elle se matérialise généralement par une suite de strates superposées en un même lieu.

On parle de **transgression** lorsque la mer s'avance lentement sur le continent. Les galets se déposent d'abord, ensuite le sable et enfin la vase. Les couches sédimentaires se présentent ainsi qu'il suit :



Document 2.7 : série transgressive.

Par contre, lorsque la mer se retire du continent, il y a **régression** : la vase se dépose d'abord, ensuite le sable et enfin les galets. La série transgressive est remaniée.



La concordance est la disposition parallèle (couches tabulaires) des couches de terrain dans une série sédimentaire. La discordance est le fait pour les couches de terrain de reposer sur des couches qui ne leur sont pas parallèles (les couches transgressives et les couches transgressées présentent la même inclinaison).

2 - Les cycles sédimentaires

Un cycle sédimentaire est l'ensemble des phénomènes sédimentaires se déroulant entre le début d'une transgression et la fin de la régression suivante.

Les causes de la transgression peuvent être :

- La montée du niveau de la mer ;
- l'enfoncement des continents

La régression s'accompagne :

- d'un déplacement de tous les sédiments initialement transportés, seuls ceux qui sont grossiers restent.
- d'un cortège de lagunes qui s'évaporent abandonnant un dépôt d'argiles bariolées, de gypse et de sel.

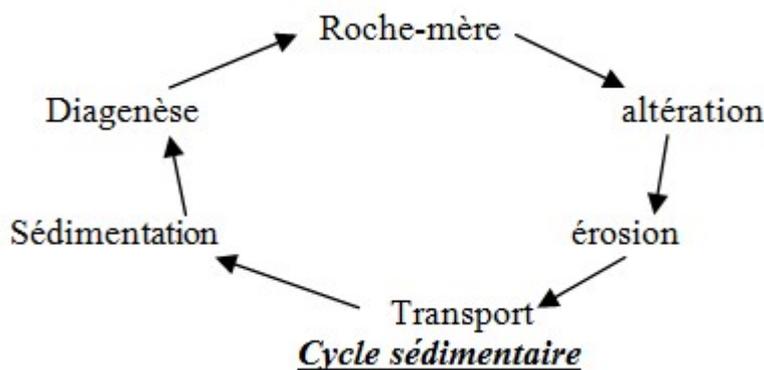
Les causes peuvent être :

- Une baisse du niveau de la mer ;
- un soulèvement général du continent ou même apport important de sédiment

On entend par flysch, l'épais ensemble de sédiments accumulés dans une fosse marine et présentant des alternances de grès et de schistes et parfois de calcaires

Les molasses constituent les grès argileux marins alternent avec les couches lacustres.

On appelle cycle orogénique, une succession des événements qui conduit à la formation d'une chaîne de montagne puis à sa destruction par l'érosion.



SEANCE : La chronologie relative et ses principes

Objectifs : Définir la notion de stratigraphie et donner ses principes

1- Définition

La **stratigraphie** est la branche de la géologie qui étudie la succession des dépôts sédimentaires s'étant transformés en roches et formant les couches géologiques ou strates. Elle permet d'établir une chronologie relative en mettant en pratique les principes stratigraphiques.

La datation relative permet d'ordonner des structures et événements géologiques les uns par rapport aux autres.

Les âges des terrains sont exprimés les uns par rapport aux autres et sans unité de temps. Pour établir une chronologie relative, on fait appel à 5 principes principaux.

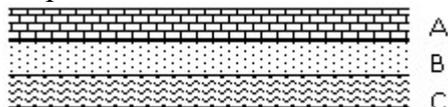
NB : La datation absolue par contre permet de mesurer l'âge des roches, sans qu'on utilise leur disposition les unes par rapport aux autres. La principale méthode de datation (la radiochronologie) est fondée sur la désintégration des éléments radioactifs.

2- Les principes de stratigraphie

a- Le principe de superposition :

« Une couche sédimentaire est plus récente que celle qu'elle recouvre. » Il permet de situer chronologiquement un terrain par rapport à un autre (datation ou chronologie relative).

La seule difficulté d'application de ce principe est qu'il suppose qu'on observe des couches normales, et non renversées (cas fréquent dans les chaînes de montagnes). On peut cependant déceler l'inversion des couches en utilisant le critère de polarité qui permet de repérer le haut et le bas de la couche. Dans le cas des roches sédimentaires détritiques, pour une couche sédimentaire mince, les particules grossières se déposent en bas, les particules fines en haut.



Classer les strates A, B et C de la plus vieille à la plus récente et justifier votre réponse.

a- Le principe de continuité :

« Une couche sédimentaire limitée par un plancher et un toit, définie par un faciès donné, est de même âge en tous ses points. » On appelle faciès l'ensemble des caractéristiques (nature, fossiles contenus) d'une roche.



b- Le principe d'identité paléontologique :

« Deux couches ou séries de couches de même contenu paléontologique contenant les mêmes fossiles ont même âge. »

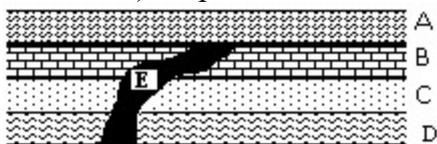
Ce principe ne s'applique qu'aux couches de roches contenant des fossiles (ce qui n'est pas toujours le cas) dont l'extension temporelle n'est pas trop grande (bons fossiles stratigraphiques).

c- Le principe de l'actualisme ou de l'uniformitarisme :

« Les phénomènes géologiques passés obéissent aux mêmes lois physico-chimiques que les phénomènes actuels. » Par exemple on admet que mode de vie et les exigences des organismes fossiles étaient les mêmes que ceux des organismes voisins actuels.

d- Le principe de recoupement.

« Toute structure qui en recoupe une autre est postérieure à cette dernière. » Par exemple, pour la déformation (ou pour l'intrusion de magma), ce principe s'énonce ainsi qu'il suit : « l'événement ayant engendré des changements de géométrie des couches – plis – ou les discontinuités – failles – (ou la limite de l'intrusion) est postérieur à la formation qu'il affecte. »



E= filon de roches volcaniques

3.3- La paléontologie et ses avantages.

La **paléontologie** est l'étude des fossiles afin de reconstituer toutes les caractéristiques morpho-anatomiques, physiologiques, écologiques et éthologiques des espèces disparues.

Un **fossile** est un reste ou une empreinte d'un être vivant conservé dans les couches de terrains anciens. Un fossile qui fournit des informations sur les conditions du milieu existant lors de la formation de la roche encaissante est un **fossile de faciès**. Les animaux et végétaux qui vivent longtemps (évolution lente) dans un milieu bien défini sont de bons fossiles de faciès (longue durée de vie et faible répartition géographique).

Exemples :

- les mammouths indiquent une région polaire ;

- les coraux indiquent une mer peu profonde aux eaux chaudes très agitées.

Un fossile qui fournit des renseignements sur l'âge de la roche encaissante est un **fossile stratigraphique** ou fossile marqueur. Il se caractérise par une grande répartition géographique et une courte durée de vie (évolution rapide).

Exemples :

<i>Fossile</i>	<i>Ere caractéristique</i>
<i>Trilobites, goniatites, fusulines</i>	<i>Primaire</i>
<i>Ammonites</i>	<i>Secondaire</i>
<i>Nummulites</i>	<i>Tertiaire</i>

Comparer un fossile de faciès et un fossile stratigraphique en utilisant les critères suivant : répartition géographique, durée de vie, vitesse d'évolution.

La sédimentation permet la formation et la conservation des fossiles. La paléontologie permet la datation des couches encaissantes et la détermination des conditions climatiques et écologiques du milieu de formation.

Exemples de situations 4 : Reconstitution des milieux anciens de sédimentation

Action 5: Reconstituer la paléogéographie et le paléoclimat où s'est formée la roche

Séance 4 : La reconstitution des milieux sédimentaires

- *définir le terme paléontologie ;*
- *identifier les différents éléments des roches sédimentaires permettant la reconstitution de l'histoire géologique ; expliquer et définir les notions de paléogéographie et de paléoécologie*

1- Reconstitution de l'histoire géologique d'une région.

Pour reconstituer l'histoire géologique d'une région, il faut collecter des informations sur le gisement, la roche et les fossiles.

1.1- Informations fournies par la sédimentation.

L'étude de la colonne stratigraphique permet de déterminer la succession des dépôts, de déceler les diverses variations latérales de faciès lithologique (catégorie de terrain sédimentaire) et les différents événements géologiques anciens ayant marqué une région au cours de son histoire.

En outre, la forme et l'état de la surface des grains de quartz observés à la loupe (morphoscopie) renseignent sur leur mode de transport. Des observations complémentaires au microscope électronique à balayage permettent de connaître les types d'altération (mécanique ou chimique) subies par les grains de quartz.

Aspect des grains de quartz	Mode de transport et d'altération
Grain transparent, non usé aux arêtes tranchantes	Altération mécanique, transport limité (arène, glacier, torrent ou fleuve court)
Grain translucide, rond et mat (sans éclats) aux facettes dépolies	Altération mécanique et transport éolien (par le vent)
Grain transparent, émoussé, luisant et sans arêtes	Transport prolongé dans l'eau (plages, court inférieur des fleuves longs)

1.2- Informations fournies par la paléontologie.

Les fossiles renseignent sur l'âge de la strate. Ils donnent aussi des informations sur le climat et les conditions écologiques du milieu au moment où la strate se formait.

La **paléoécologie** est la reconstitution des environnements passés et les relations existant entre les différentes espèces et leur milieu. Elle fait entre autre appel aux fossiles de faciès, aux conditions de formation des roches sédimentaires, aux formes d'érosion, ...

Exemples :

- les coquilles de gastéropodes indiquent un milieu lacustre ;
- Les couches de lignite (charbon) indiquent un marécage à végétation abondante.

La **paléogéographie** est la reconstitution de la position et des caractéristiques des continents au cours des temps géologiques. Elle étudie la répartition des flores et des faunes fossiles ; elle s'intéresse aussi à l'extension des surfaces marines.

Exercice d'application : reconstitution de l'histoire géologique d'une région.

CONCLUSION

Familles de situation 3 : Difficultés liées à la détermination de la structure et de l'énergie internes du globe terrestre

Exemples de situations 5 : Utilisation des données relatives aux comportements des ondes sismiques et aux météorites

Catégories d'action 6 : Conception d'un modèle simple de la structure interne de la Terre

Action 7: Reconstituer la structure du globe terrestre à partir du comportement des différents types d'ondes sismiques à l'intérieur du globe.

SEQUENCEIII- LA STRUCTURE ET L'ENERGIE INTERNE DE LA TERRE

Objectifs :

- *Enoncer les propriétés liées à la propagation des ondes sismiques ;*
- *Citer et décrire les caractéristiques physiques et chimiques des différentes enveloppes internes du globe ;*
- *Déterminer et expliquer l'origine de l'énergie interne de la Terre et sa dissipation.*

1- ELEMENTS DE SISMOLOGIE

1 1- QUELQUES DEFINITIONS

Un **séisme** ou **tremblement de terre** est une libération soudaine d'énergie provoquant à la surface des secousses. On distingue :

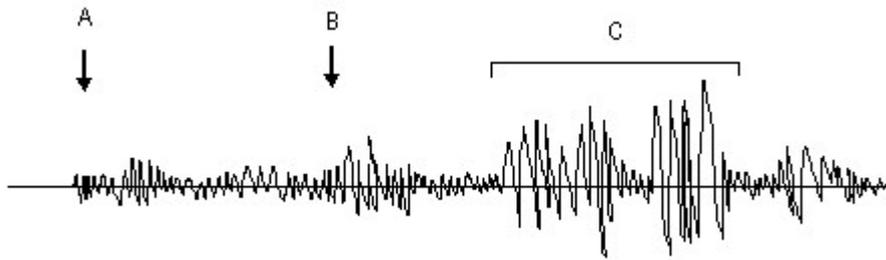
- des **séismes tectoniques** dus au jeu d'une faille ;
- des **séismes volcaniques** provoqués par des montées de magma ;
- des **séismes d'effondrement** résultant de l'écroulement d'une cavité souterraine

L'énergie des séismes est libérée sous forme de **chaleur** essentiellement (70 %) et sous forme d'**ondes** élastiques qui se propagent dans toutes les directions de l'espace et sont responsables des mouvements de la surface terrestre

L'**hypocentre** ou **foyer** est le point de la profondeur où les contraintes tectoniques accumulées dans les roches se libèrent et sont à l'origine d'un séisme. Le point de la surface se trouvant parfois à la verticale du foyer est l'**épïcéntr**e du séisme. Il correspond au point où l'intensité du séisme est maximale.

Le **sismomètre** ou **sismographe** est l'appareil destiné à enregistrer les variations des mouvements du sol lors d'un séisme. Les enregistrements des mouvements du sol obtenus lors d'un séisme sont appelés **sismogrammes**.

1 2 – LES ONDES SISMIQUES ET LEUR PROPAGATION DANS UN MILIEU.



Distance épacentrale (Δ) : 9900 km

Figure : Sismogramme enregistré lors d'un séisme

GUIDE D'EXPLOITATION :

1- Indiquer à quoi correspondent les ondes A, B et C

2- Comment expliquer l'arrivée successive de 3 trains d'ondes alors que toutes ces ondes ont été émises au même instant au foyer ?

L'analyse des sismogrammes permet de définir 3 principaux types d'ondes :

1.2.1- Les ondes primaires ou ondes P

Ce sont des ondes longitudinales de **compression – décompression**, capables de se propager dans les **solides** et les **fluides** y compris l'**atmosphère**. Elles sont les plus rapides et donc les premières à s'inscrire sur le sismogramme. Elles sont responsables du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un séisme. Le déplacement des particules affectées est parallèle à la direction de propagation de l'onde

1.2.2- Les ondes secondaires ou ondes S.

Ce sont des ondes transversales de **cisaillement** par rapport à la direction de propagation des rais sismiques. Elles ne sont transmises que par les **solides** car les fluides n'offrent aucune résistance au cisaillement. Les particules ébranlées se déloquent perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde.

Les ondes P et S se propagent à l'intérieur du globe terrestre : ce sont des **ondes de volume**

1.2.3- Les ondes longues ou ondes L.

Elles ont une **amplitude grande** par rapport aux ondes P et S. Elles déterminent des mouvements complexes de **torsion du sol**. Les ondes L sont les **moins rapides** et proviennent de la réflexion des ondes de volume sur la surface du globe.

Contrairement aux ondes P et S, les ondes L (ondes de Love et de Rayleigh) ne se propagent que dans les **couches superficielles** de la croûte : ce sont des **ondes de surface**.

NB : Les ondes L et S sont les plus destructrices.

2- STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE.

L'exploration directe des zones profondes du globe est impossible : les forages les plus profonds ne dépassent pas 13 km alors que le rayon de la terre est d'environ 6350 km. Seules les méthodes indirectes telles que l'étude de la propagation des ondes sismiques ou des météorites permettent de réaliser une "échographie" du globe. Dans le cas de la reconstitution de la structure de la terre à partir de la propagation des ondes sismiques, on parle d'échographie sismique.

2.1- DES SURFACES DE DISCONTINUITES A L'INTERIEUR DU GLOBE.

2.1.1- Principe de l'échographie sismique.

En première approximation, on peut considérer que les ondes sismiques se propagent dans les roches comme les ondes lumineuses dans les milieux transparents. L'énergie se propage le long des trajectoires (rais sismiques) qui divergent à partir du foyer sismique.

Lorsqu'un rai atteint une discontinuité (interface entre 2 milieux dans laquelle la vitesse de propagation des ondes est différente), il se réfléchit ou se réfracte suivant les lois de Descartes :

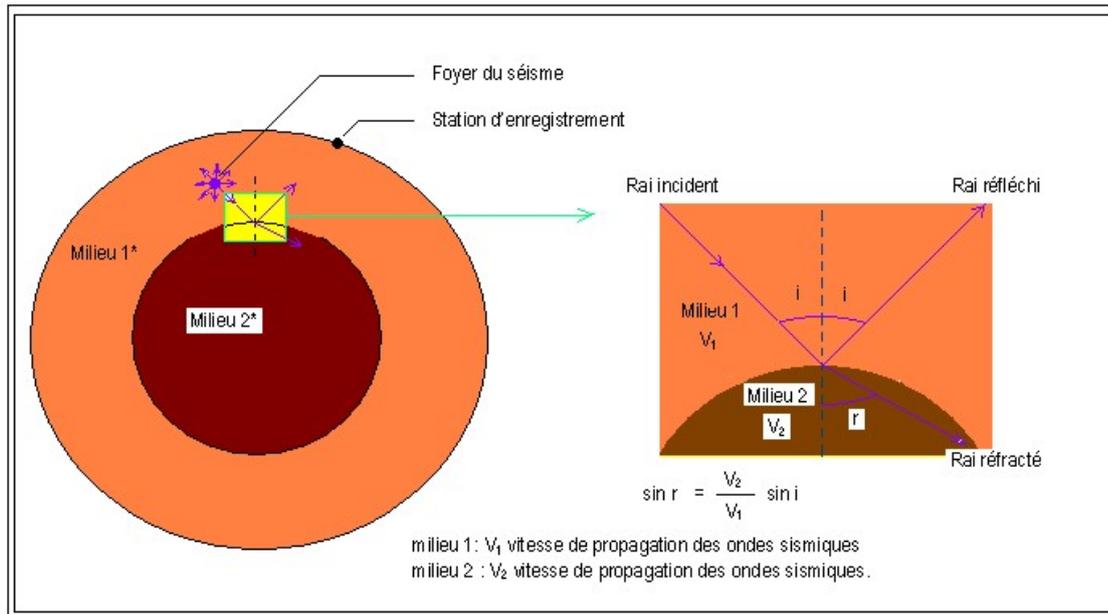


Figure 1: Le principe de l'échographie sismique.

2.1.2 : Informations apportées par l'étude du trajet des ondes sismiques dans le globe.

Les rais sismiques divergent à partir du foyer. Elles atteignent en 1^{er} lieu l'épicentre, puis les vibrations se propagent à l'ensemble du globe.

a- Mise en évidence de la discontinuité de Moho.

On provoque par explosion l'apparition des ondes P dans le sol. On enregistre à des distances croissantes du site d'explosion l'arrivée des ondes P.

NB : les ondes qui arrivent en premier dans les stations 3 et 4 arrivent en second dans les stations 6 et 7.

Station	Distance (en km)	Temps d'arrivée (en s)
1	20	3,6
2	30	5,3
3	40	7,3 et 12,7
4	56	10 et 14,6
5	135	24,1
6	280	42,7 et 50
7	400	57,7 et 71,4

Déterminer la vitesse des ondes P à partir des mesures faites dans les deux premières stations.

Expliquer pourquoi on constate un deuxième train d'ondes à la station 3 en utilisant le schéma du principe de l'échographie sismique.

Construire des courbes rendant compte des variations de vitesse des deux catégories d'ondes P en fonction de l'éloignement du point d'explosion (distances en abscisses et temps en ordonnées).

Expliquer la particularité des résultats obtenus dans la station 5 par rapport aux résultats enregistrés dans les stations 3, 4, 6 et 7.

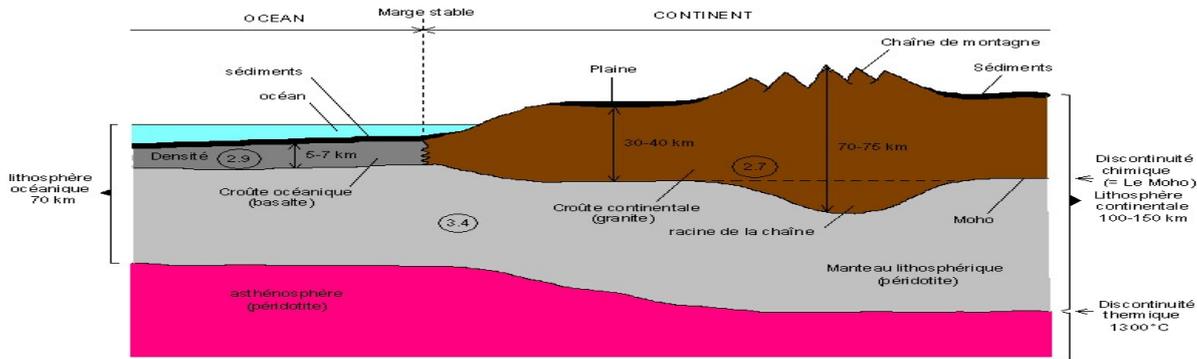
Les stations proches de l'épicentre (quelques centaines de km) reçoivent des **ondes P directes** (**Pg** : g signifie que cette onde se propage dans les granites), mais aussi de nombreux échos rapprochés de ces ondes

(Pg réfléchies et Pn). Ces ondes proviennent de la réflexion des ondes sur une surface de discontinuité appelée **Moho** (diminutif de **Mohorovičić**, auteur de la découverte de cette discontinuité en 1909).

Les ondes Pg sont les premières à arriver à la station jusqu'à une distance d'environ 150 km. Au-delà, ce sont les ondes P réfléchies qui arrivent avant les ondes Pg.

Le Moho marque la limite sismique entre la **croûte terrestre** (océanique ou continentale) et une partie du manteau supérieur (**manteau lithosphérique**). Sa profondeur est variable : **7 à 12 km** sous les océans, **30 à 40 km** sous les continents (**70 km** sous les montagnes).

Remarque : L'onde Pn est une onde P issue d'une onde Pg qui a été réfractée par le Moho, puis accélérée dans le manteau en s'y propageant parallèlement et réémise vers la surface.



NB : Les valeurs numériques encadrées indiquent des densités moyennes.

Figure 2: Lithosphère

b- Mise en évidence de la discontinuité de Gutenberg.

Les stations éloignées de l'épicentre (plusieurs milliers de km) reçoivent des ondes P et S ayant traversé les zones profondes du globe ; zones d'autant plus profondes que les ondes rejoignent la surface loin du foyer sismique.

Or, pour chaque séisme, il existe une large zone du globe où les ondes P et S directes ne sont pas reçues : c'est la **zone d'ombre** qui forme "l'anneau de silence sismique" s'étendant entre 103° et 143° de distance angulaire à l'épicentre. Cette zone d'ombre révèle la présence d'une discontinuité majeure : la **discontinuité de Gutenberg** (2900 km de profondeur). Elle marque la limite entre le **manteau profond** et le **noyau terrestre**.

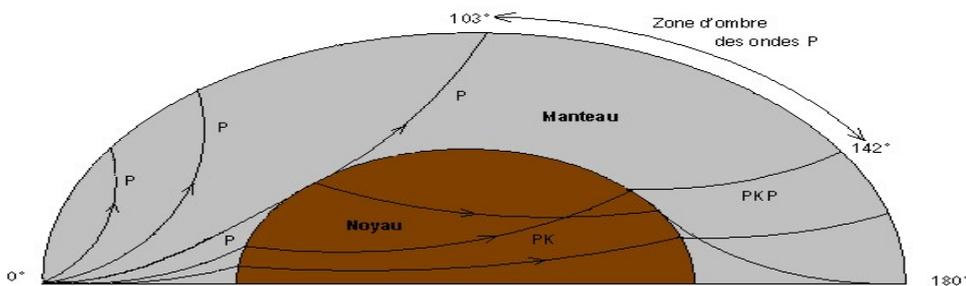


Figure : trajet des ondes à partir d'un foyer sismique superficiel

2.1.3- Informations apportées par l'étude de la vitesse de propagation des ondes sismiques.

En considérant les sismogrammes obtenus dans plusieurs stations de plus en plus éloignées de l'épicentre, on peut tracer des courbes hodochrones c'est-à-dire des courbes représentant, pour une catégorie d'onde sismique, le temps d'arrivée des ondes en fonction de la distance à l'épicentre du séisme.

Station	Distance à l'épicentre (en km)	Durée du trajet (en ordonnés)		
		Ondes S	Ondes P	Ondes L
Station 1	1112	4 min 17 s	2 min 24 s	4 min 52s

Station 2	5049	14 min 49 s	8 min 14 s	22 min 09 s
Station 3	11332	25 min 20 s	13 min 48 s	49 min 42 s

Tracer sur un papier millimétré les courbes hodochrones. Interpréter les graphes obtenus.

Les physiciens montrent aussi que la vitesse des ondes sismiques croît également avec la densité de la roche :

	Granite	Basalte	Gabbro	Péridotite
Vitesse (en km/s)	6.25	6.75	7.25	7.75
Densité de la roche	2.65	2.90	3.00	3.20

Utiliser ces informations et celles découlant des activités précédentes pour expliquer la variation de vitesse des ondes P et S.

L'étude précise de la vitesse de propagation des ondes sismiques montre que les ondes P sont les plus rapides, suivies par les ondes S, puis par les ondes L.

De plus, les ondes L se propagent à une vitesse constante alors que les ondes P et S ont une vitesse moyenne d'autant plus grande que la distance parcourue est importante. Ce constat est relatif au fait que les ondes L se propagent uniquement dans la croûte terrestre alors que les ondes P et S pénètrent d'autant plus profondément dans le globe que leur trajet est long. Ceci revient à dire que plus une onde de volume passe en profondeur, plus sa vitesse moyenne augmente.

Exemple : $V_p = 5.5 \text{ km/s}$ dans la croûte et $8-12 \text{ km/s}$ dans le manteau profond.

a- les ondes L, superficielles sont un peu plus rapides sous les océans que sous les continents. Cela suggère l'existence d'une **différence de densité** et donc de nature entre la croûte continentale et la croûte océanique. En effet, la **croûte continentale**, de **nature granitique** est moins dense (2.7) que la **croûte océanique basaltique** (2.9).

b- les ondes P et S pénètrent à l'intérieur du globe et l'étude des variations de leurs vitesses révèle certaines caractéristiques des milieux traversés. (Figure de la page suivante).

2.2- LES ENVELOPPES INTERNES ET LEUR COMPOSITION.

L'accès aux couches profondes étant impossible, leur nature et leur composition chimique ne seront déterminées que par l'étude des densités et des météorites (méthodes indirectes).

2.2.1- Etude des densités.

On peut calculer la densité moyenne de la terre :

$$d = \rho / \rho_e$$

avec ρ = masse volumique de la terre soit **masse terrestre M / Volume terrestre V**
 et ρ_e = masse volumique de l'eau soit 1000 kg/m^3 .

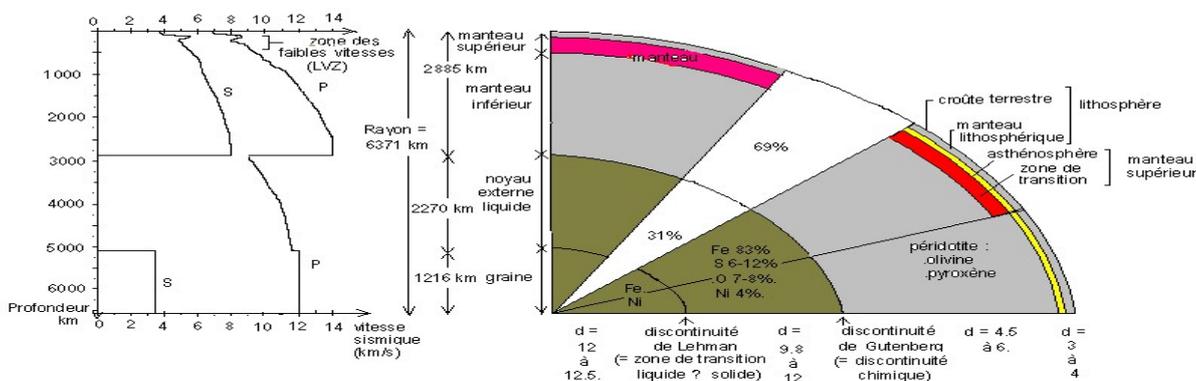


Figure : Vitesse des ondes P et S à l'intérieur du globe en fonction de la profondeur – Structure interne du globe.

*** estimation de la masse de la terre M.**

Considérons un caillou de masse m qui tombe sur le sol. Il est soumis à une force $F = m.g$ selon le principe fondamental de la dynamique ($g = 9.82$).

Par ailleurs, la loi de l'attraction universelle permet aussi d'exprimer cette force :

$$F = k.M.m / D^2 ;$$

Avec :

- k = constante universelle de gravitation de valeur 6.67×10^{-11} ;
- M = masse de la terre ;
- m = masse du caillou ;
- D = distance séparant les centres de gravités de la terre et du caillou ; D représente donc le rayon de la terre soit 6367 km car la hauteur de chute du caillou est négligeable.

En égalant les deux équations, on a :

$$m.g = k.m.M / D^2 \text{ d'où l'on tire aisément}$$

$$M = D^2.g / k.$$

*** estimation du volume de la terre**

On peut assimiler la terre à une sphère. Son volume est donc donné par la formule

$$V = 4.\pi.R^3 / 3.$$

TRAVAIL A FAIRE : calculer la densité moyenne de la terre.

L'estimation de la densité moyenne de la terre donne une valeur d'environ 5.5. Or les matériaux des couches supérieures ont des densités très faibles :

- hydrosphère : 1.04 ;
- croûte continentale : 2.7 ;
- croûte océanique : 2.9.

Il faut donc admettre que les zones profondes du globe terrestre sont plus denses. Le noyau en particulier doit être formé des matériaux de densité 10 (noyau externe) à 14 (noyau interne ou graine).

2.2.2 : Informations apportées par la sismologie.

Une étude expérimentale permet de montrer que la vitesse de propagation des ondes de choc dans divers éléments chimiques croît avec leur densité. Elle montre aussi que ces variations de vitesse sont différentes d'un élément à l'autre.

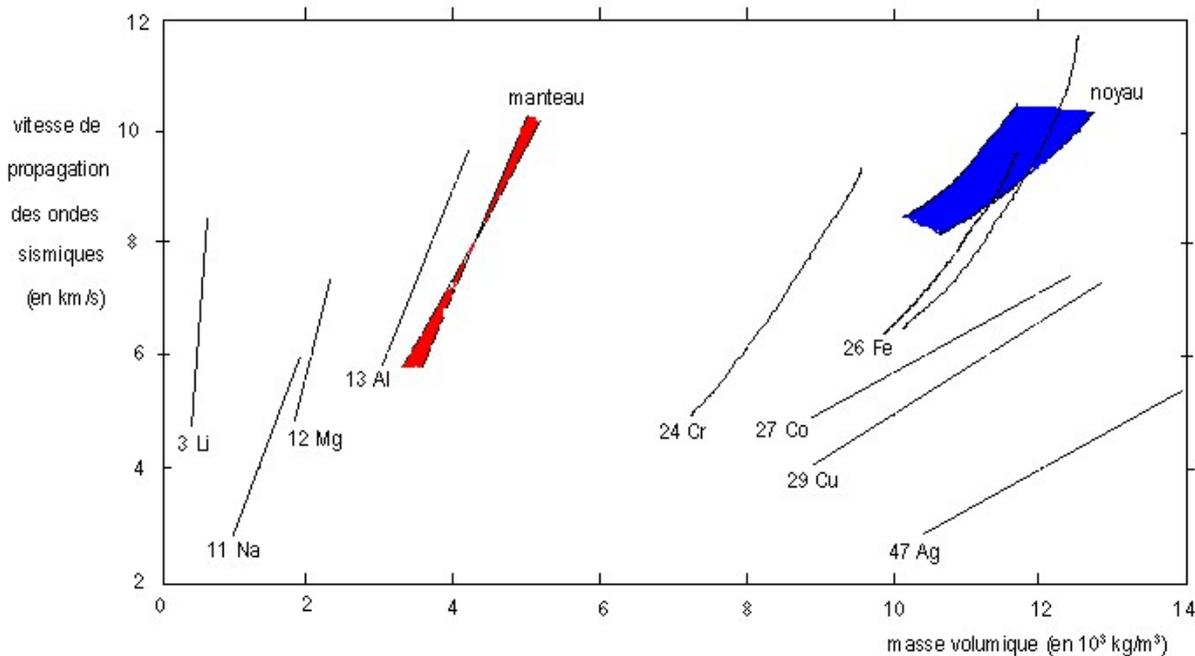


Figure : vitesses de propagation des ondes sismiques dans le noyau et le manteau, comparées à des vitesses des ondes de choc dans certains corps chimiques soumis à des conditions de température et de pression variables.

TRAVAIL A FAIRE : Etablir une relation entre les vitesses des ondes sismiques dans le manteau et le noyau d'une part, et la vitesse d'une onde de choc dans différents matériaux d'autre part.

La comparaison entre ces résultats expérimentaux et les valeurs obtenues par la sismologie permettent de penser que :

- le **manteau** doit être riche en **silicates** ;
- le **noyau** doit être riche en **fer**.

2.2.3 – Les informations apportées par l'étude des météorites.

Les **météorites** sont des fragments de roches extraterrestres très anciens (âge supérieur à 4.5 Ma) qui parviennent à la surface du globe après avoir traversé l'atmosphère sans se consumer complètement.

Il existe trois types de météorites :

- **météorites pierreuses** ou **aérolites** ou **chondrites** formées surtout de **silicates** (90 %) ;
- **météorites ferreuses** ou **sidérites** formées d'**alliage fer nickel** ;
- **météorites ferro-pierreuses** ou **sidérolites** qui sont des hybrides contenant à la fois des **silicates** et des **éléments métalliques**.

La plupart des météorites proviennent d'une fragmentation par collision des **astéroïdes*** dont les orbites se situent entre Mars et Jupiter. Les astronomes pensent que les météorites pierreuses proviennent des **zones superficielles** et que les météorites ferro-pierreuses sont des hybrides issus de la **zone de transition** entre les deux précédentes.

Si on admet que la terre à une structure interne comparable à celle des gros astéroïdes fragmentés, on peut penser que le **noyau terrestre** est de **nature métallique**, formé essentiellement de **fer et nickel**, alors que le **manteau** est constitué des **matériaux silicatés**. Ceci confirme les informations données par l'analyse des sismogrammes.

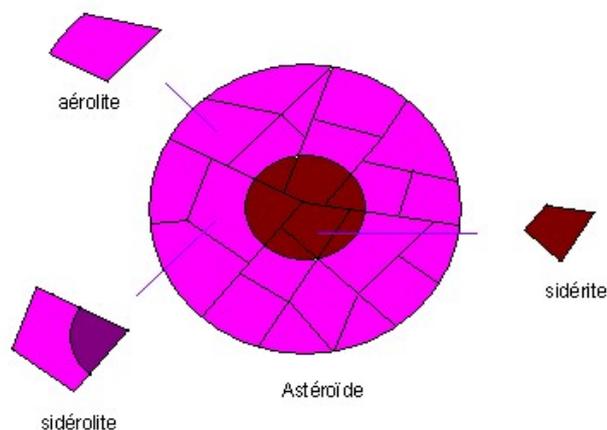


Figure : formation des météorites.

2.3.3 – Conclusion.

Les différentes études montrent que la terre est formée intérieurement de 3 grandes enveloppes concentriques :

- la **croûte** ou **écorce terrestre** riche en silice et aluminium d'où le nom **SiAl** ; elle est subdivisée en **croûte océanique** formée de **roches basaltiques** et des **gabbros** recouverts des **sédiments** et en **croûte continentale** formée de **roches métamorphiques** (gneiss et micaschistes), de **granite** et quelques **roches sédimentaires**.

- le **manteau** riche en silice et magnésium d'où le nom **SiMa** ; elle est formée des roches plutoniques appelées **péridotites** (80 % d'**olivine** et 15 % de **pyroxène**). Le **manteau** est subdivisé en **manteau supérieur** et en **manteau inférieur**.

Le manteau supérieur comporte une zone de faible vitesse des ondes : la **LVZ** (Low Velocity Zone) correspondant à l'**asthénosphère** (70 à 200 km). Cette zone située sous la **lithosphère** est faite de matériaux plastiques.

- le **noyau** ou **cœur** riche en **nickel** et **fer** d'où le nom **NiFe**. On distingue à l'intérieur du noyau une troisième surface de discontinuité dite de **Lehmann** qui sépare le **noyau externe liquide** et le **noyau interne** ou **graine solide**.

(Voir schéma bilan de la page 6)

* On rappelle que les astéroïdes sont des petits corps célestes ayant des dimensions pouvant atteindre quelques centaines de km pour les plus gros et circulant dans le système solaire entre les orbites de Mars et Jupiter. On pense que la ceinture des astéroïdes pourrait être les restes d'une protoplanète ayant explosé.

3- ENERGIE INTERNE DE LA TERRE.

Les **séismes**, le **volcanisme** et l'**existence d'un gradient géothermique** (30°C / km dans la croûte terrestre) sont une preuve de la présence de matériaux à haute température à l'intérieur du globe terrestre.

3.1- ORIGINE DE LA CHALEUR INTERNE DU GLOBE.

La chaleur interne du globe a deux origines :

- La **chaleur initiale** stockée lors de la formation de la terre ;
- La **chaleur libérée par la désintégration des isotopes radioactifs**.

3.1.1- La chaleur initiale.

Une quantité considérable d'énergie a été stockée à l'intérieur de la terre au moment de sa formation. Comme les autres planètes, la terre résulte en effet d'un processus d'**accrétion** c'est-à-dire d'agglomération d'innombrables objets célestes qui s'attirant mutuellement par gravité sont entrés en collision pour former les planètes et astéroïdes actuels.

Si les couches superficielles ont assez rapidement évacué cette chaleur initiale et se sont donc refroidies pour former une croûte, les couches internes recouvertes d'un **manteau "isolant"** se refroidissent assez lentement.

3.1.2- Radioactivité du globe.

La plus grande partie de la chaleur interne du globe provient de la désintégration des isotopes radioactifs de certains éléments (**Uranium, Thorium et Potassium**).

Eléments radioactifs (teneurs en partie par million ou p.p.m.)	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K	Chaleur totale produite (en térawatts) 1TW = 10 ¹² watts
Croûte continentale	1.6	5.8	1.7 à 3	5 à 6
Croûte océanique	0.9	2.7	0.5	Inférieur à 0.06
Manteau supérieur	0.015	0.08	0.02	1.3
Manteau inférieur et noyau	Teneurs mal connues			Environ 11

3.2- LA DISSIPATION DE L'ENERGIE INTERNE.

La planète Terre évacue à sa surface son énergie interne de deux façons :

- de **façon brutale et localisée** lors des **éruptions volcaniques** et des **séismes** ;

- de façon **continue et calme** sous la forme d'un **flux de chaleur** ou **flux géothermique**. Dans ce 2^{ème} cas, la dissipation se fait soit par **conduction thermique** (diffusion de la chaleur des roches les plus chaudes vers les roches les plus froides), soit par **convection des matériaux du manteau** (circulation de chaleur liée au déplacement d'un milieu matériel fondu).

Le **flux géothermique** est la quantité de chaleur qui sort du sol par unité de surface. On le mesure en général en Watt/m^2 . Sa valeur moyenne est de 0.05 w/m^2 . Il est plus élevé dans les zones de dorsales et autres zones volcaniques.

NB : Le **gradient géothermique** mesure l'augmentation de la température des roches du sous-sol avec la profondeur. Il est de 20 à 30°C par km dans la croûte continentale, 0.5°C par km dans le manteau.

A une température d'environ **1350°C**, les roches du manteau supérieur deviennent déformables. En profondeur, cette **isotherme** correspond à la **limite lithosphère – asthénosphère**. Il se situe à une centaine de km sous les continents, il est plus proche de la surface sous le plancher océanique et particulièrement superficiel au niveau des dorsales.

CONCLUSION

L'étude de la propagation des **ondes sismiques** émises lors des tremblements de terre :

- a permis de comprendre la **structure** de la planète : celle-ci est formée des **couches concentriques** séparées par des **surfaces de discontinuités** ;

- a montré que les matériaux du globe se comportent généralement comme des **solides** mêmes aux températures élevées régnant en profondeur. Toutefois, le **noyau externe**, sur une épaisseur de plus de 2000 km, a des propriétés sismiques typiques des liquides.

Des méthodes indirectes (calcul de la densité de la Terre, étude des météorites, ...) ont permis de déterminer la **composition chimique** des couches profondes : le **manteau est formé des matériaux silicatés**, le **noyau est riche en alliage fer – nickel**.

La planète Terre possède une **énergie interne** importante qu'elle dissipe en permanence à sa surface soit de **façon brutale et localisée**, soit de **façon calme et continue**.