

[www.ipn.mr](http://www.ipn.mr)

[www.ipn.mr](http://www.ipn.mr)

**Projet de Manuel de l'élève**  
**Sciences Naturelles**  
**6<sup>ème</sup> Année Secondaire**

**Les auteurs**

**Mohamedou Ould Abderrahmane**  
Inspecteur de l'Enseignement Secondaire

**Mohamed Ould Mohamed Aly**  
Inspecteur de l'Enseignement Secondaire

**Souleymane NDiaye**  
Inspecteur de l'Enseignement Secondaire

**2015**

[www.ipn.mr](http://www.ipn.mr)

## **AVANT-PROPOS**

*Nous avons le plaisir de présenter à la famille scolaire un nouveau projet de manuel de l'élève pour la 6<sup>ème</sup> année du secondaire conformément aux nouveaux programmes de la réforme de 1999. Ce document a été revu et amélioré dans des conditions nettement meilleures par rapport à celles où a été élaborée la précédente édition mais toujours insuffisantes pour parvenir à une édition définitive.*

*C'est donc à base d'une auto-évaluation et avec la collaboration d'un collègue de terrain, en l'occurrence Mr Mohamed Ould Ahmed Ishaq, que de profonds changements ont été opérés par rapport à la précédente édition.*

*Cependant, une expérimentation de l'ouvrage reste nécessaire.*

*Il a été procédé à l'adoption d'une méthodologie particulière mettant l'accent sur les points essentiels dans les programmes.*

*Ainsi ce document comprendra deux parties dont la première (la plus longue) est subdivisée en six chapitres. Les chapitres comprennent chacun toutes les notions nécessaires et un bilan contenant l'essentiel à retenir.*

*Chaque chapitre est désormais sanctionné par un recueil d'exercices touchant les différents aspects évoqués mais qui peut être enrichi dans de prochaines éditions. Pour des contraintes de temps le lexique n'est pas apparu dans cette édition mais il pourra l'être dans les prochaines.*

*Nous souhaitons que les utilisateurs de ce projet de manuel nous fassent parvenir leurs remarques et suggestions constructives pour que nous puissions en tenir compte dans l'édition définitive.*

### **Les auteurs :**

**Mohamedou Ould Abderranmane**  
Inspecteur de l'Enseignement Secondaire  
**Mohamed Ould Mohamed Aly**  
Inspecteur de l'Enseignement Secondaire  
**Souleymane N'Diaye.**  
Inspecteur de l'Enseignement Secondaire

# PREMIÈRE PARTIE : BIOLOGIE – PHYSIOLOGIE

## Chapitre I : Constituants de la matière vivante.

### I- Substances minérales :

#### A. Constituants fondamentaux

##### Expérience 1 :

Chauffons à sec un fragment de muscle, ou tout autre organe animal ou végétal, dans un tube à essais (figure ci-contre). Des gouttelettes d'eau se déposent sur la paroi du tube.

La matière vivante contient de l'eau.

##### Expérience 2 :

Si l'on continue à chauffer, le fragment d'organe devient noir. Ce résidu noir, brûlé en présence d'oxygène, donne du dioxyde de carbone,  $\text{CO}_2$ , que l'on met en évidence par le précipité de carbonate de calcium qu'il provoque dans l'eau de chaux.

La matière vivante contient du carbone.

##### Expérience 3 :

Après un séjour prolongé dans une étuve à  $50^\circ\text{C}$ , la dessiccation d'un fragment d'organe est totale. Broyons à sec cet organe avec de la poudre d'oxyde cuivrique,  $\text{CuO}$ , et chauffons le mélange dans un tube à essais lui-même parfaitement sec. Des gouttelettes d'eau apparaissent dans le haut du tube sur la paroi encore froide. Tous les produits mis dans le tube à essais étant totalement déshydratés, cette eau ne peut provenir que de la combinaison d'hydrogène avec de l'oxyde cuivrique.

La matière vivante contient de l'hydrogène.

##### Expérience 4 :

Chauffons un fragment de muscle, ou du blanc d'œuf, après l'avoir broyé dans de la chaux sodée (figure ci-contre). Les vapeurs qui se dégagent font virer au bleu un papier humide imprégné de tournesol rouge, ce qui indique la présence d'une base volatile. Ces mêmes vapeurs produisent une fumée blanche au voisinage de l'acide chlorhydrique. Il s'agit de fines particules de chlorure d'ammonium. Nous sommes donc en présence d'ammoniac,  $\text{NH}_3$ .

La matière vivante contient de l'azote.

##### Expérience 5 :

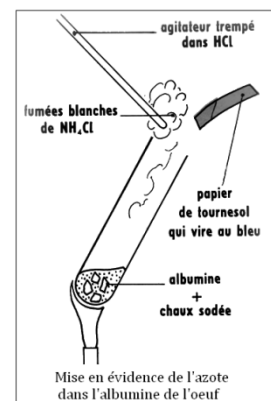
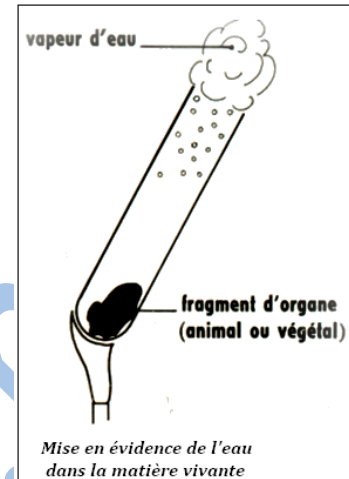
Chez tous les êtres vivants, l'analyse chimique met en évidence une forte évaporation d'oxygène, proportion qui dépasse souvent 50 % du poids sec, c'est-à-dire après déshydratation totale.

La matière vivante contient de l'oxygène.

#### B. Sels minéraux

Dans un ballon en Pyrex mettons 200 grammes environ de cendres végétales, ajoutons un litre d'eau distillée, portons à l'ébullition pendant une quinzaine de minutes, puis filtrons. Le filtrat obtenu est un liquide limpide que nous répartissons dans six tubes à essais.

Dans le premier tube, on ajoute quelques gouttes d'acide nitrique et un peu de nitrate d'argent en solution. Nous obtenons un abondant précipité blanc qui noircit lentement à la lumière : il s'agit donc d'un précipité de chlorure d'argent, ce qui met en évidence la présence de **chlorures** dans le filtrat.



Dans les autres tubes, on ajoutera divers réactifs qui donneront des précipités caractéristiques des différents ions contenus dans la solution.

Le tableau suivant résume ces expériences :

Réactifs ajoutés au filtrat	Réactions obtenues	Sels minéraux mis en évidence
Solution de nitrate d'argent	Précipité blanc de chlorure d'argent	Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )
Solution de chlorure de baryum	Précipité blanc de sulfate de baryum	Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )
Réactif ammoniacomagnésien (mélange de sulfate de magnésium, chlorure d'ammonium, ammoniaque)	Précipité blanc de phosphates ammoniacomagnésiens	Phosphates ( $\text{PO}_4^{2-}$ )
Acide picrique à saturation	Précipité en aiguilles jaunes de picrate de potassium	Sels de potassium ( $\text{K}^+$ )
Solution d'oxalate d'ammonium	Précipité blanc d'oxalate de calcium	Sels de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )
Solution d'acide chlorhydrique	Effervescence avec dégagement de $\text{CO}_2$	Carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ )

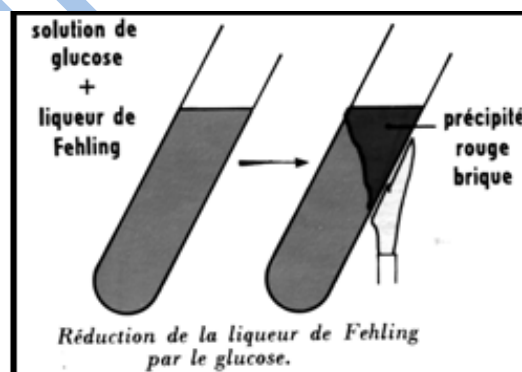
## II- Substances organiques :

### A. Glucides

#### 1. Les oses : exemple : le glucose

##### a. Propriétés

Le glucose se présente sous forme d'une poudre blanche, de saveur légèrement sucrée, ce qui a valu le nom de sucres au glucose et à certains glucides présentant la même saveur. Le glucose est **très soluble dans l'eau**. Il est **fermentescible**. En milieu anaérobie (c'est-à-dire sans oxygène), la levure de bière (champignon unicellulaire) le décompose en **alcool** et en **dioxyde de carbone**. Mélangeons  $5 \text{ cm}^3$  d'une solution de glucose et  $5 \text{ cm}^3$  de **liqueur de Fehling**. Cette liqueur, bleu limpide, est une solution alcaline d'hydroxyde cuivrique,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , où le cuivre est divalent,  $\text{Cu}^{2+}$ . Portons le mélange à l'ébullition.



Un **précipité rouge brique** apparaît ; il est formé d'**oxyde cuivreux  $\text{Cu}_2\text{O}$** , où le cuivre est monovalent,  $\text{Cu}^+$ . Il y a donc eu réduction. On dit que le glucose réduit la liqueur de Fehling, que c'est un **glucide réducteur**. La formule brute du glucose est  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Sa molécule contenant six atomes de carbone, le glucose est un hexose.

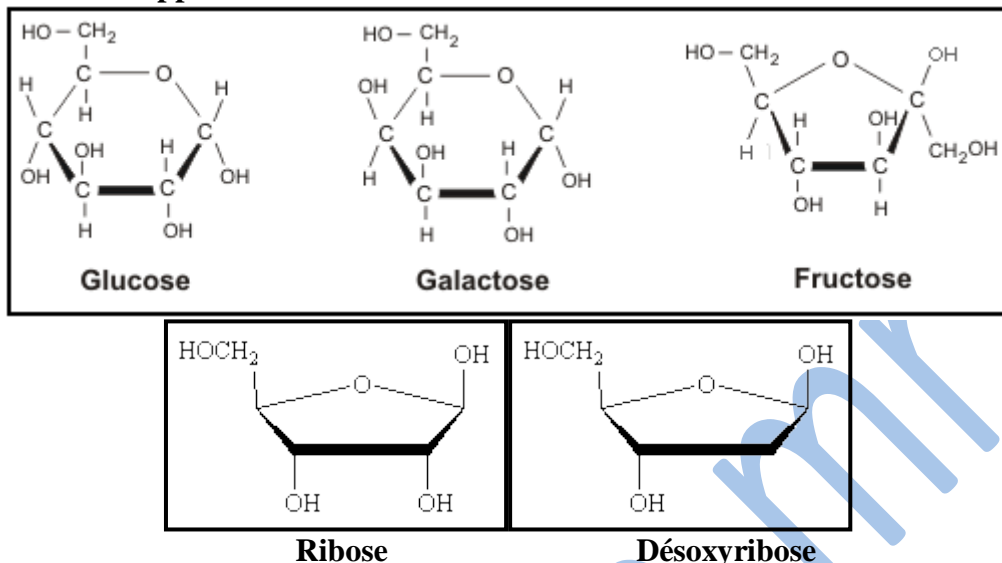
##### b. Autres oses

Plusieurs oses ont la même formule brute,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , que le glucose ; ils constituent le groupe des hexoses. Citons quelques exemples :

- Le **lévulose**, appelé aussi fructose, qui est présent dans de nombreux fruits ;
- Le **galactose**, qui est obtenu par hydrolyse du lactose.

Il existe des oses à **5 atomes de carbone** : les pentoses. Deux d'entre eux, le **ribose**,  $C_5H_{10}O_5$ , et le **désoxyribose**,  $C_5H_{10}O_4$ , sont extrêmement importants : ce sont des éléments constitutifs des acides nucléiques, ARN et ADN.

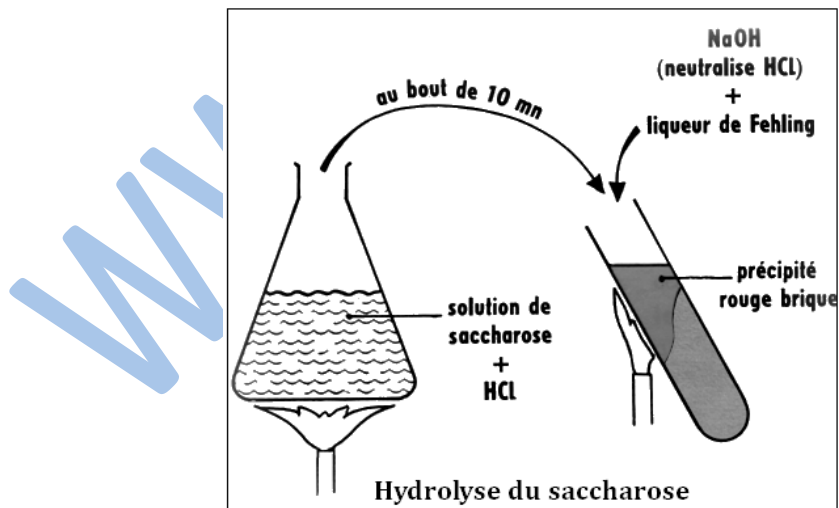
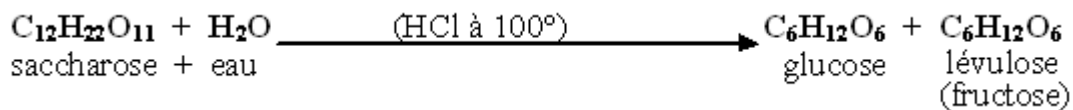
**c. Formules développées**



**2. Diholosités : exemple : le saccharose**

**a. Propriétés**

Le **saccharose** (sucre ordinaire de notre alimentation), tiré de la Betterave sucrière et de la canne à sucre. L'hydrolyse du saccharose donne une molécule de glucose et une molécule de lévulose ou fructose.

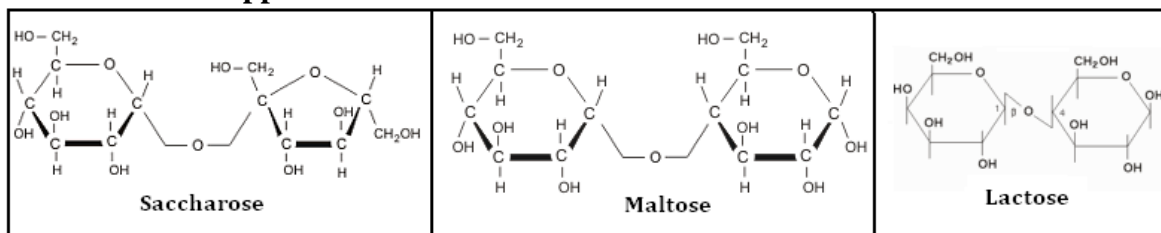


**b. Autres diholosités**

Le **maltose**, extrait du malt préparé à partir de l'Orge en germination, le **lactose**, sucre contenu dans le lait, possèdent tous la même formule brute :  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Le nombre d'atomes de carbone est donc le double de celui des hexoses, d'où le nom de diholosités qu'on donne à ces corps (di = 2). Maltose et lactose réduisent la liqueur de Fehling. Le saccharose, lui, n'est pas réducteur.

L'hydrolyse du maltose donne deux molécules de glucose alors que celle du lactose fournit une molécule de glucose et une molécule de galactose.

### c. Formules développées



## 3. Polyholosides : exemple : l'amidon

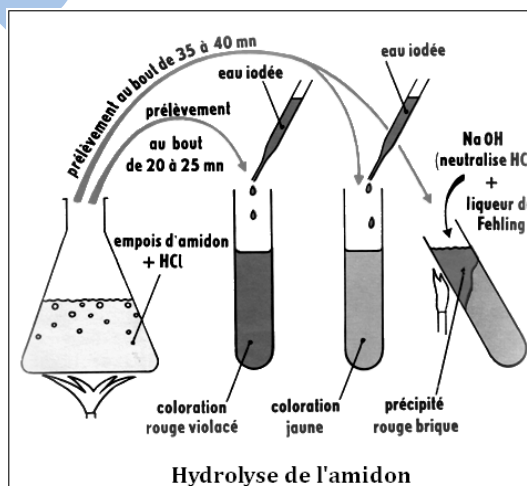
### a. Propriétés

Le polyholoside le plus commun est l'amidon. La féculé de pomme de terre est constituée, presque en totalité, par l'amidon. Les cellules de la pomme de terre sont bourrées de grains d'amidon. **Seuls les végétaux produisent de l'amidon.** La féculé est une poudre blanche, sans saveur sucrée. Si nous en jetons une pincée dans un récipient contenant de l'eau froide, la poudre ne disparaît pas, même après un séjour prolongé dans l'eau. L'amidon est donc insoluble dans l'eau froide. Par agitation, il se forme une suspension. Mais elle est instable : les grains d'amidon retombent au fond du récipient.

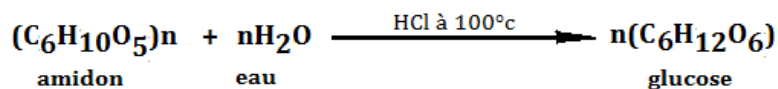
Portons le contenu du récipient à l'ébullition ; la poudre disparaît mais le liquide obtenu n'est pas parfaitement limpide : il a un aspect opalescent. On a réalisé de l'**empois d'amidon**. Nous verrons bientôt que ce n'est pas une véritable solution, comme celle du sucre dans l'eau, mais que nous sommes en présence d'une **solution colloïdale**.

Après refroidissement, versons quelques gouttes de **réactif iodo-iodurée** dans le liquide : l'**empois d'amidon prend une coloration bleue intense**. Cette réaction de coloration, qui ne se produit qu'à froid, est **caractéristique de l'amidon**.

Dans un récipient en Pyrex portons à l'ébullition, pendant 35 à 40 minutes, de l'empois d'amidon auquel on a ajouté un peu d'acide chlorhydrique. Au bout de ce temps, versons une partie de ce liquide dans deux tubes à essais. Nous constatons que l'aspect opalescent de l'empois d'amidon a disparu. Refroidissons l'un des tubes sous un filet d'eau et ajoutons à son contenu quelques gouttes de réactif iodo-ioduré. Aucune coloration bleue n'apparaît : il n'y a donc plus d'amidon dans le liquide. Neutralisons le liquide du second tube avec de la soude et ajoutons quelques centimètres cubes de liqueur de Fehling. Portons à l'ébullition ; un abondant précipité rouge brique se forme, prouvant que le milieu contient maintenant un **glucide réducteur**. L'analyse chimique nous apprendrait qu'il s'agit du **glucose**,  $C_6H_{12}O_6$ .



On attribue à l'amidon la formule  $(C_6H_{10}O_5)_n$ ,  $n$  étant très grand : de plusieurs centaines à plus de mille suivant l'origine : pomme de terre, maïs, blé, etc. La réaction d'hydrolyse s'écrit :



Là encore, l'acide chlorhydrique a joué le rôle de catalyseur. On voit que la molécule d'amidon est constituée par un très grand nombre de molécules de glucose liées les unes aux autres ; d'où le nom de polyholosides donné à l'amidon et aux corps ayant la même structure chimique.

## b. Autres polyholosides

Le glycogène ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> se rencontre, à la différence de l'amidon, chez les animaux, où l'organe le plus riche est le foie. Purifié, il a l'aspect d'une poudre blanche. Dans l'eau froide, il est, suivant son origine, soit insoluble, mais donne à l'ébullition une solution colloïdale, soit soluble, et il s'agit encore d'une solution colloïdale. Dans les deux cas, ces solutions se colorent, à froid, en brun acajou par l'eau iodée.

La cellulose ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, de masse moléculaire 2 000 000 environ, est le constituant fondamental de la membrane des cellules végétales. Le chlorure de zinc iodé colore la cellulose en violet.

## B. Protides : ovalbumine

### 1. Propriétés

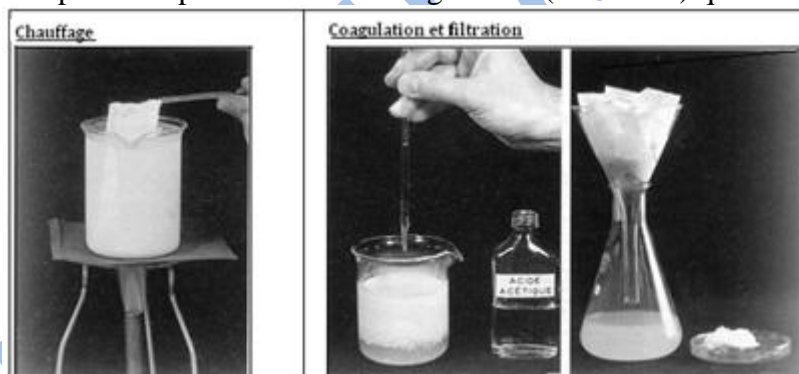
- **Composition chimique :**

La calcination, dans un tube à essais, met en évidence le carbone. En chauffant du blanc d'œuf avec de la chaux sodée, il se dégage de l'ammoniac : l'ovalbumine contient donc de l'azote. D'autres expériences montreraient la présence d'hydrogène et d'oxygène.

Si l'on porte à ébullition, pendant un temps assez long, de l'ovalbumine (ou tout autre protide) mélangée à une solution diluée d'acide fluorhydrique (HF), on obtient des corps azotés dont la molécule est beaucoup plus simple que celle de l'albumine : ce sont les **acides aminés**, encore appelés **monopeptides**. Cette démolition d'une molécule en milieu aqueux, en présence d'un catalyseur (ici HF), est appelée une **hydrolyse**.

- **Coagulation :**

Quand on chauffe du lait, vêts 70°C, une fine peau se forme à la surface : c'est l'albumine du lait. Si l'on ajoute quelques gouttes d'acide dans du lait, il coagule aussitôt. En filtrant le mélange, on peut séparer le «petit-lait» du fromage blanc (la caséine) qui forme un «caillot».



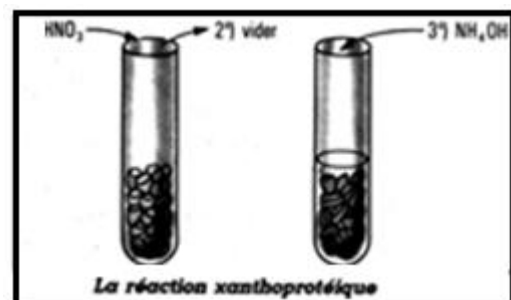
Mise en évidence de la « peau du lait » par chauffage, puis coagulation avec quelques gouttes d'acide.

- **Réactions colorées :**

Il existe des réactions de coloration grâce auxquelles on peut mettre en évidence les protides dans les substances organiques. Nous allons décrire deux de ces réactions en prenant comme exemple l'albumine de l'œuf.

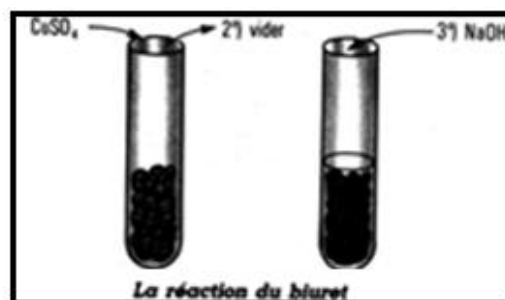
- **Réaction xanthoprotéique :**

Découpons un petit cube de blanc d'œuf et plaçons-le dans un tube à essais. Versons de l'acide nitrique de façon à le recouvrir. Le cube de blanc d'œuf prend petit à petit une coloration jaune serin. Cette coloration s'effectue beaucoup plus rapidement si nous chauffons le tube sur un bec Bunsen. Si, après rinçage à l'eau, on ajoute de l'ammoniaque, le cube prend une teinte orangée.



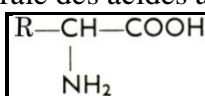
### - Réaction du biuret :

Plaçons un autre cube de blanc d'œuf dans un tube à essais. Recouvrons-le d'une solution de sulfate de cuivre pendant une minute. Rejetons le sulfate, rinçons à l'eau, puis versons de la soude (ou de la potasse) dans le tube : le cube prend une teinte violette très intense. Quand ces réactions sont positives, on peut affirmer que l'on se trouve en présence d'un protide.

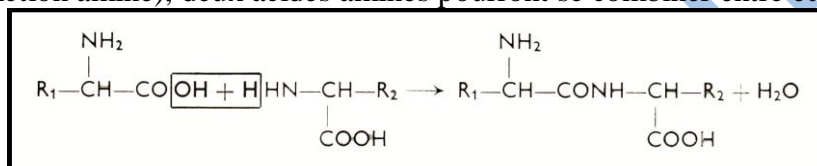


### • Hydrolyse :

Par hydrolyse des protides, on a obtenu **20 acides aminés**. On en connaît un grand nombre (une vingtaine) chez les êtres vivants, mais tous ne sont pas des constituants des grosses molécules protéiques. La formule générale des acides aminés est :



Les acides aminés, ou mono-peptides, portant chacun une fonction acide et une fonction basique (la fonction amine), deux acides aminés pourront se combiner entre eux :



Le corps obtenu, formé de deux mono-peptides, a reçu le nom de **dipeptide**. Remarquons qu'il possède encore une fonction acide et une fonction amine. La même réaction pourra donc se produire ; mais le nouveau corps possède, lui aussi, une fonction acide et une fonction amine. On passera ainsi d'un dipeptide, formé de deux acides aminés, à des corps constitués par n acides aminés, corps auxquels on a donné le nom de **polypeptides**.

Un acide aminé, comme l'alanine, a une masse moléculaire inférieure à 100; celle des polypeptides est de l'ordre de plusieurs centaines ou même de plusieurs milliers.

Il s'agit donc d'énormes édifices moléculaires (macromolécules) dont les propriétés physiques et chimiques sont très différentes de celles des acides aminés et des polypeptides. Cependant, l'hydrolyse de ces substances révèle qu'elles sont formées essentiellement d'acides aminés, auxquels viennent parfois s'ajouter d'autres groupements chimiques. A de tels corps, on donne le nom de **protéines**.

### 2. Classification

Les protéines se divisent en deux groupes : les protéines simples et les protéines complexes (voir tableau).

Principaux groupes		Constitution	Type	Masse moléculaire (ordre de grandeur)	Réactions de coloration
ACIDES AMINES			Alanine	100	Négatives
POLYPEPTIDES		Quelques dizaines d'acides aminés	Sécrétine	100 x n (5000 pour la sécrétine)	Positives ou négatives suivant les polypeptides
PROTEINES	HOLO-PROTEINES	Nombreux acides aminés	Ovalbumine	De quelques dizaines à quelques centaines de milliers (44 000 pour l'ovalbumine)	Positives
	HETERO-PROTEINES	Nombreux acides aminés + groupement non protidique	Hémoglobine Nucléoprotéines	68 000 Plusieurs millions	Positives

## C. Lipides

### 1. Propriétés

Les lipides sont les constituants des corps gras, corps onctueux, insolubles dans l'eau, qui laissent une trace translucide sur le papier, tache qui ne disparaît pas à chaud. Les animaux accumulent des lipides dans certaines cellules, comme les cellules hépatiques et les cellules du tissu conjonctif situé sous la peau. Ce tissu prend alors le nom de tissu adipeux.

Chez les végétaux, on les trouve parfois en grande quantité dans les fruits (olives) ou dans les graines (ricin, arachide, colza). Les corps gras se présentent sous trois formes : les **huiles**, liquides à la température ordinaire, les **beurres** et les **graisses**, plus ou moins solides à la température ordinaire. Ces corps gras naturels sont formés d'un mélange de lipides ; ainsi, quand la température s'abaisse à 0°, l'aspect de l'huile d'olive se modifie : une partie reste liquide, une autre se fige. La première est constituée par un lipide, l'oléine, qui ne se solidifie qu'au-dessous de 0°, et la seconde par la palmitine, lipide qui se solidifie dès que la température s'abaisse au-dessous de 5°. La graisse humaine est un mélange d'oléine et de stéarine. Dans un tube à essais, mettons de l'eau et un peu d'huile d'olive. Les deux liquides ne se mélangent pas : l'huile est insoluble dans l'eau et surnage, sa densité étant plus faible. Agitons le tube contenant l'huile et l'eau : le mélange prend une teinte blanchâtre ; on a réalisé une **émulsion**, mais au bout de quelques instants l'huile remonte à la surface. Cette émulsion était donc **instable**. Si l'on ajoute à cette émulsion des savons, des détergents, de la bile, elle devient **stable**. L'analyse élémentaire montre que les lipides sont constitués de **carbone, d'hydrogène, d'oxygène** ; ce sont des corps ternaires. Parfois, dans certains lipides, on a mis en évidence du phosphore et de l'azote. Les lipides sont des matières organiques formées par la combinaison **d'alcools** et **d'acides gras** ; ce sont des **esters** d'acides gras et d'alcools :



Les principaux alcools qui entrent dans la composition chimique des lipides sont le glycérol (ou glycérine) et les stérols. Les acides gras les plus fréquents sont l'acide palmitique, l'acide stéarique et l'acide oléique. Ces alcools et ces acides gras se combinent de la façon suivante  
glycérol + acide oléique  $\longrightarrow$  oléine.

Dans un tube à essais, mettons de l'huile d'olive, de l'eau, de l'alcool à 95° et quelques pastilles de potasse ; agitons et chauffons. Au bout de quelques minutes, nous voyons se former en surface une couche jaunâtre et épaisse surmontant un liquide clair : c'est un **savon (oléate de potassium)**. Cette réaction est la **saponification** des lipides :



### 2. Classification

On distingue des lipides simples et des lipides complexes (voir tableau) :

Principaux groupes		Constitution	Exemples
Lipides simples	Glycérides	Glycérol + acides gras	Palmitine Stéarine Oléine
	Stérides	Stérols + acides gras	Cholestérol
Lipides complexes		Alcools + acides gras + azote + phosphore	Myéline Lécithine

## Bilan:

La matière vivante est formée de :

- **Substances minérales** : l'eau est, en poids, le constituant le plus important des êtres vivants. Les sels minéraux ne dépassent pas 5 % du poids frais d'un être vivant. Cependant, ils restent importants et même indispensables.

- **Substances organiques** : ces constituants appartiennent à trois grandes catégories :

• **Les glucides** : ce sont des corps organiques composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène : ce sont des corps ternaires. Ils comprennent les oses (glucose, fructose, galactose) qui sont solubles dans l'eau, fermentescibles et réducteurs ; les diholosides (saccharose, maltose, lactose) formés de deux oses et les polyholosides (amidon, glycogène, cellulose) dont l'hydrolyse donne plusieurs glucoses.

• **Les protides** : ils sont composés fondamentalement de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote : ce sont des corps quaternaires. Les acides aminés sont de petites molécules azotées présentant une fonction acide et une fonction amine. Ces acides aminés se lient entre eux par des liaisons peptidiques ( $\text{—CO—NH—}$ ) pour donner de longues chaînes appelées polypeptides. Les protéines sont des macromolécules dont l'hydrolyse montre qu'elles sont formées essentiellement d'acides aminés (holoprotéines) auxquels s'ajoutent parfois d'autres groupements chimiques (hétéroprotéines).

Les protides peuvent être mis en évidence par la coagulation (effet de la chaleur et des acides) et les réactions de coloration (réactions xanthoprotéique et du biuret).

• **Les lipides** : ils constituent la matière grasse des êtres vivants. Ce sont de petites molécules formées de carbone, d'hydrogène et d'oxygène : ce sont des corps ternaires. Leur densité est inférieure à celle de l'eau. Ils peuvent être à l'état solide (cire) ou liquide (huile).

Ils sont insolubles dans l'eau avec laquelle ils forment une émulsion instable pouvant être stabilisée grâce à des substances émulsifiantes (savon, détergents, bile...).

Ils laissent une tâche translucide sur le papier qui ne disparaît pas à chaud.

On distingue des lipides simples et des lipides complexes.

## Exercices

**Exercice 1 :** Répondez aux questions suivantes :

1- Quels composés contiennent de l'Azote ?

2- La formule **CHO-CHOH-CHOH-CHOH-CHOH-CH<sub>2</sub>OH** est celle :

- a) du saccharose ;
- b) du glucose ;
- c) de l'amidon ;
- d) d'un lipide ;
- e) d'une protéine ?

3- Un lipide est formé de :

- a) alcool+ ester;
- b) alcool+ acide gras;
- c) acides gras seulement ;
- d) alcool+glycérol ?

### Exercice 2

1- Répondez par : vrai ou faux :

a- Un acide aminé est la molécule élémentaire constitutive d'une protéine.

b- Les graisses sont des protéines.

2- Choisir l'information fautive relative aux lipides, parmi les propositions suivantes (un seul choix)

a- Les lipides rentrent dans la structure des hormones et des vitamines

b- Il est possible d'extraire les lipides à partir des tissus par des solvants polaires comme les alcools

c- La présence ou absence de liaisons doubles dans les acides gras influence l'apparition des formes solides ou liquides des lipides

3- Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) exacte(s) ?

a- Les oses simples sont des molécules qui comprennent de trois à neuf atomes de carbone.

b- Les oses simples ne comprennent que des atomes d'hydrogène, de carbone et d'oxygène.

c- On peut définir les oses simples par un rapport précis entre leur nombre de carbones et d'oxygène.

**Exercice 3 :** Trouvez la définition de chacun des mots suivants :

Monoglycéride, Triglycéride, Acide gras insaturé et Acide gras saturé :

Obtenu à partir du glycérol et trois acides gras.

Acide organique à chaîne linéaire pouvant comporter 1 ou plusieurs doubles liaisons.

Le résultat de la réaction de l'hydrolyse des triglycérides, catalysée par une lipase.

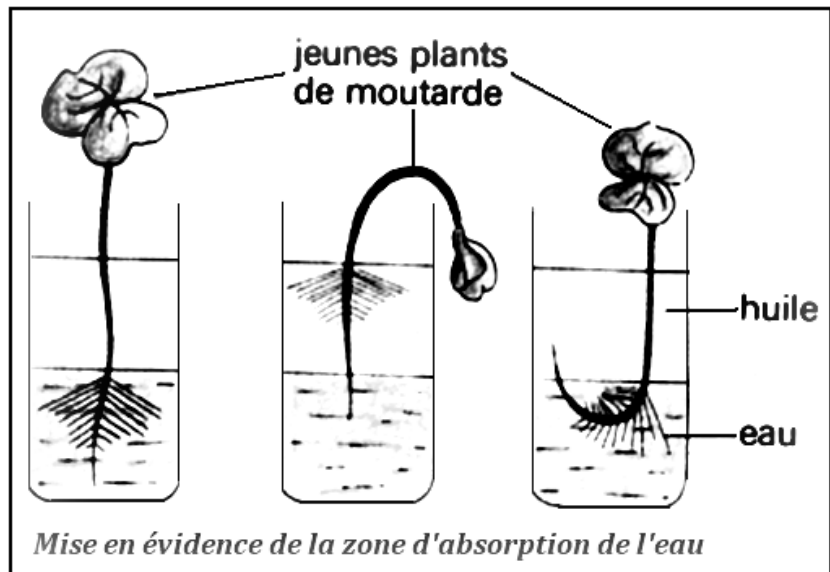
Un acide organique à chaîne linéaire dans laquelle il n'y a aucune double liaison.

## Chapitre II : La nutrition des végétaux chlorophylliens.

### I- Absorption de l'eau et des sels minéraux

#### A. Absorption de l'eau

Le trajet de l'eau : les racines ont des portions couvertes de poils absorbants. Chaque poil est une cellule allongée. Une partie de l'eau s'engage dans la paroi cellulosique du poil, puis passe dans la paroi des cellules voisines et gagne aussi rapidement la partie centrale de la racine. De l'eau passe aussi par le cytoplasme des cellules selon le mécanisme ci-dessous.



L'eau de la vacuole de la

cellule-poil est plus concentrée en sels minéraux que l'eau du sol. Par **osmose** l'eau extérieure passe dans le poil. Les cellules situées vers le centre de la racine ont des vacuoles de plus en plus concentrées ; l'eau pénètre donc dans la racine.

L'eau arrive ainsi jusqu'à l'endoderme, tissu de la racine formé de cellules où la concentration est faible ; la pompe osmotique ne peut fonctionner. L'eau poursuit cependant son chemin vers le centre, ce qu'on explique par un travail cellulaire avec dépense d'énergie. Un transport actif remplace le transport passif par osmose.

L'eau venant des racines circule dans de petits tuyaux parallèles à l'axe de la tige. Ce sont les vaisseaux conducteurs de sève brute (eau et sels minéraux). Ce courant ascendant est entretenu par la perte d'eau au niveau des feuilles. A cette aspiration, s'ajoute une poussée radiculaire. En effet, si on coupe les feuilles, de l'eau continue à monter dans la tige.

L'eau arrive dans les feuilles par les **nervures** dans lesquelles se prolongent les vaisseaux, puis circule entre les cellules.

Une partie de l'eau est retenue par les feuilles, une autre partie s'en échappe à l'état gazeux : c'est la transpiration. Les portes de sortie sont de petits orifices à ouverture variable, les stomates.

#### B. Absorption des sels minéraux

La plante absorbe par ses racines des sels minéraux qui, dans l'eau, se trouvent à l'état d'ions : atomes ( $K^+$ ) ou groupes d'atomes ( $NO_3^-$ ). De nombreux éléments sont indispensables au développement de la plante, comme **N, P, K**.

C'est l'eau pompée par les poils absorbants qui apportent à la plante ces substances minérales qui sont pour elle des aliments.

Le passage des ions du milieu extérieur vers les cellules des racines ne peut pas s'expliquer par les lois physiques de la diffusion, car dans de nombreux cas ce mouvement s'oppose à celui qu'elles prévoient.

En effet, c'est par une activité biologique des cellules que s'effectue l'entrée des ions, c'est-à-dire avec dépense d'énergie. Des oxydations cellulaires produisent cette énergie, d'où la nécessité d'un sol aéré. C'est la membrane plasmique qui capte les ions et les dirige vers le cytoplasme.

## C. Besoins nutritifs

### 1. Milieu de culture

**Méthode analytique :** C'est la recherche des éléments présents dans le végétal. Il suffit d'incinérer une masse déterminée de végétaux, de recueillir les cendres et les gaz provenant de la combustion, d'en faire l'analyse élémentaire.

**Méthode synthétique :** C'est, après la recherche des éléments présents, celle des éléments indispensables. On utilise pour cela des cultures sur solution nutritive. Cette recherche se fait évidemment par tâtonnement.

- Il convient d'abord de réaliser un milieu nutritif contenant les éléments reconnus précédemment, éléments présentés dans une combinaison soluble qui puisse entrer dans le corps de la plante.
- Il faut ensuite faire varier les proportions jusqu'à ce que la culture obtenue sur cette solution soit optimum au rendement.
- La dernière opération consiste alors à retirer tel ou tel élément de la solution afin de déterminer son rôle dans la nutrition.

Le résultat est l'établissement de la formule d'un milieu nutritif. Le plus fréquemment proposé est celui de **Knop** dont voici la composition :

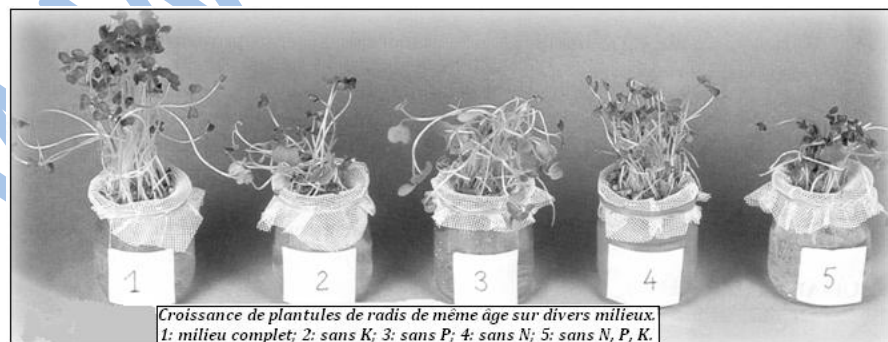
	grammes
Eau	1000
Nitrate de calcium	1
Nitrate de potassium	0,25
Phosphate monopotassique	0,25
Sulfate de magnésium	0,25
Phosphate de fer	traces.

### 2. Culture sur milieux carencés

Si l'on veut étudier spécialement l'action utile ou nocive de tel ou tel élément, on l'introduit dans la solution nutritive à diverses doses.

#### Résultats :

- Les milieux établis expérimentalement permettent le développement complet, jusqu'à la floraison et la fructification, des végétaux chlorophylliens ; on peut donc penser qu'ils satisfont complètement aux besoins nutritifs.



- On remarque qu'ils ne renferment pas de carbone ; en effet, ainsi que nous le verrons ultérieurement, les plantes chlorophylliennes utilisent comme aliment carboné le dioxyde de carbone de l'atmosphère ou l'eau, elles se nourrissent par ailleurs à partir d'un petit nombre de combinaisons minérales : on appelle **autotrophie** ce mode de nutrition qui n'a pas besoin de matière organique préexistante.

- Les trois éléments dont la carence se fait principalement sentir sont le potassium, le phosphore et l'azote ; cette carence se manifeste dans la croissance et la formation de la chlorophylle.

- S'il y a un déséquilibre nutritif, la plante en souffre et, si certains éléments sont en quantité suffisante et d'autres déficients, c'est de l'élément déficient que dépend son développement ;

en d'autres termes, il est inutile de vouloir améliorer une culture par l'introduction d'un élément si un autre est en quantité insuffisante. C'est la **loi du minimum**.

## II. Echanges gazeux chlorophylliens

### A. Mise en évidence de l'absorption du CO<sub>2</sub>

Nous utiliserons un indicateur coloré, le bleu de bromothymol. Quelques gouttes de cette substance dans l'eau du robinet lui donnent une coloration bleue, mais, dans l'eau enrichie en dioxyde de carbone par barbotage, la coloration devient jaune vert.

Prenons quatre tubes à essais :

N°1 : Eau du robinet + bleu de bromothymol : coloration bleue.

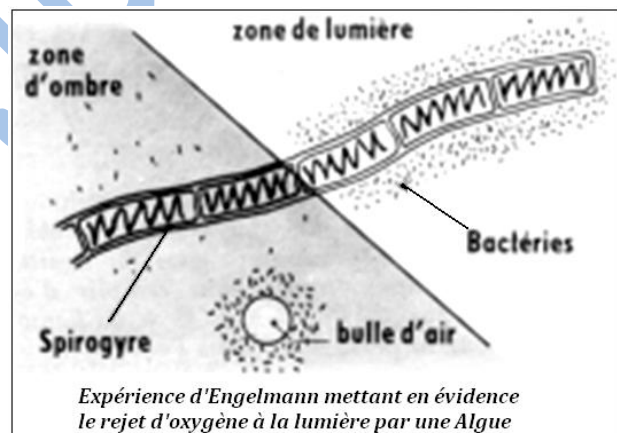
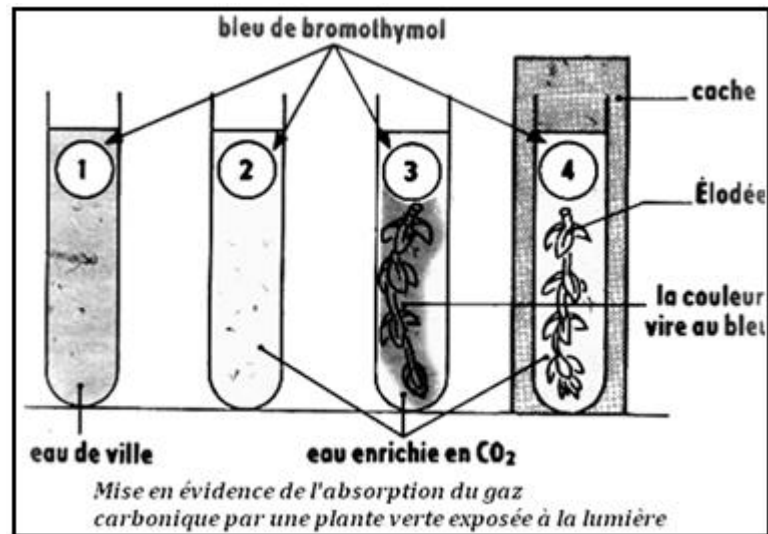
N°2 : Eau enrichie en dioxyde de carbone + bleu de bromothymol : coloration jaune vert.

N°3 et N°4 : Idem.

Les tubes 1 et 2 serviront de témoins, nous introduirons dans les tubes 3 et 4 un rameau d'Elodée. Dans le tube 4 à l'obscurité, rien ne se produit ; mais, dans le tube 3 placé à la lumière, nous constatons que la coloration devient progressivement bleue.

### B. Mise en évidence du dégagement de l'oxygène

Engelmann a utilisé l'affinité pour l'oxygène d'une Bactérie, le **Bacterium termo**. Des filaments d'une Algue d'eau douce, spirogyre par exemple, sont placés, entre lame et lamelle, dans l'eau contenant une suspension de cette Bactérie. La préparation est observée au microscope. En lumière faible, la répartition des Bactérie est indifférente ; toutefois, elles se regroupent autour d'une bulle d'air s'il en existe une dans la préparation. En lumière plus vive, on peut observer que les Bactéries se regroupent à proximité des filaments d'Algue.



### C. Intensité et quotient chlorophylliens

#### 1. Définitions

L'**intensité chlorophyllienne** est le volume d'oxygène rejeté ou de dioxyde de carbone absorbé par unité de masse et par unité de temps.

Le **quotient chlorophyllien** est le rapport entre le volume d'oxygène rejeté et celui de dioxyde de carbone absorbé pendant le même temps :

$$\frac{VO_2 \text{ rejeté}}{VCO_2 \text{ absorbé}}$$

## 2. Influence des facteurs

La photosynthèse est influencée par les facteurs de l'environnement : la **lumière** (source d'énergie), le **CO<sub>2</sub>** (source de carbone) et la **température** (qui affecte l'ensemble des réactions biochimiques).

La photosynthèse est un processus complexe faisant intervenir de nombreuses étapes qui sont affectées de manière différente par les facteurs de l'environnement. De ce fait, les facteurs externes agissent indépendamment les uns des autres et le phénomène global obéit à la loi dite **des "facteurs limitants"** que l'on peut énoncer de la façon suivante : lorsqu'un processus est contrôlé par plusieurs facteurs agissant indépendamment, son intensité est limitée par le facteur qui présente la valeur minimum. Le facteur est alors limitant et la vitesse du processus est proportionnelle à la valeur de ce facteur.

### - Influence de l'éclairement sur la photosynthèse nette

L'objectif est de déterminer les valeurs d'intensité lumineuse qui permettent une activité photosynthétique optimale. Les plantes sont éclairées avec une source lumineuse permettant de réaliser une gamme d'intensités (flux de photons) comprises entre 0 et 600 à 800  $\mu\text{mole}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (photons). La photosynthèse nette est alors mesurée soit par le dégagement d'oxygène soit par la consommation de dioxyde de carbone.

On détermine ainsi l'éclairement au point de compensation ( $I_c$ ), l'éclairement saturant ( $I_s$ ), la respiration à l'obscurité ( $R_o$ ) et le rendement quantique ( $\Phi$ )

On obtient des courbes biphasiques :

1) partie linéaire de pente (coefficient directeur) équivalente à  $\Phi$  dans cette gamme d'éclairement, la lumière est limitante et  $\Phi$  mesure le rendement de l'absorption des photons (= rendement quantique foliaire).

2) un plateau obtenu pour des valeurs d'éclairement plus ou moins élevées ( $I_s$  = éclairement saturant ou optimal). Au delà, la capacité d'absorption des photons dépasse la capacité de leur utilisation. Les réactions d'assimilation du  $\text{CO}_2$  deviennent limitantes et la photosynthèse présente une intensité maximale.

3) Il existe une valeur de l'éclairement pour laquelle la photosynthèse nette ( $P_n$ ) est nulle : la photosynthèse compense juste la respiration. Cette valeur est appelée point de compensation pour la lumière ( $I_c$ ).

Quand on compare le comportement de ces deux types de plantes on constate que :

- $I_{cO}$  (ombre) est inférieur à  $I_{cL}$  (lumière)
- $\Phi_{O}$  (ombre) est supérieure à  $\Phi_{L}$  (lumière)
- $I_{sO}$  (ombre) est inférieur à  $I_{sL}$  (lumière)

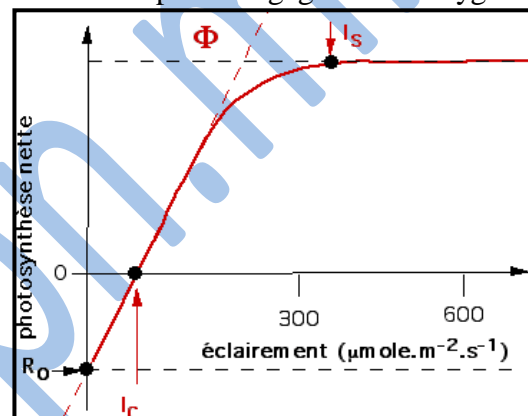
En d'autres termes, les plantes d'ombre présentent une intensité photosynthétique optimale et une intensité de compensation plus faible, mais une efficacité dans l'absorption des photons plus élevée (plantes des sous bois). Inversement, les plantes de lumière sont moins efficaces dans la capture des photons mais elles fixent davantage de  $\text{CO}_2$  (ex : plantes cultivées).

Les plantes aériennes assimilent le  $\text{CO}_2$  atmosphérique (0,035% de  $\text{CO}_2$ ) tandis que les plantes aquatiques absorbent le  $\text{CO}_2$  dissous.

La quantité de  $\text{CO}_2$  disponible est limitante dans des conditions d'éclairement moyen. Par conséquent, une augmentation de la photosynthèse est observée lorsqu'on augmente la concentration de  $\text{CO}_2$ .

### - Influence de la température

Selon l'origine des plantes, l'optimum de température de leur activité photosynthétique est différent. Les plantes des régions tempérées ont un maximum qui se situe entre 15°C et 25°C,



tandis que les plantes d'origine tropicale peuvent avoir un maximum qui se situe entre 30 et 45°C. De même, les limites à la tolérance au froid et au chaud sont différentes -2°C à 0°C et 40 - 50°C, pour les plantes des régions tempérées, +5°C à 7°C et +50 à 60°C, pour les plantes tropicales.

L'influence de la température est marquée par le fait que la courbe de saturation de la photosynthèse par la lumière est modifiée.

Lorsque la température augmente, le point de compensation ( $I_C$ ) et le début de la saturation ( $I_S$ ) se décalent vers les intensités lumineuses plus fortes et l'intensité maximale est plus élevée ( $P_{max}$ ).  $I_C$  est plus élevée principalement lorsque  $R_0$  augmente avec la température.

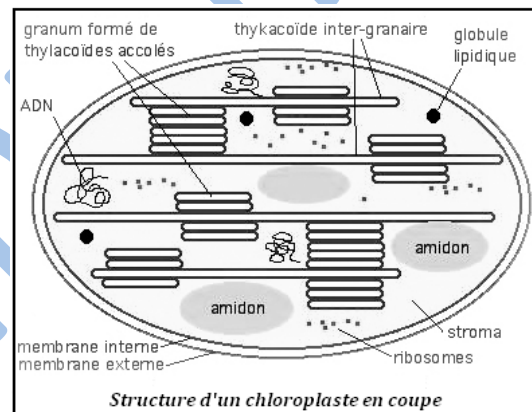
On remarque que  $\Phi$  n'est pas modifié, contrairement à  $P_n$  max. Considérant que ce sont les réactions primaires liées à la lumière (photochimiques) qui sont limitantes dans la partie linéaire et que ce sont les réactions biochimiques qui sont limitantes au plateau, on constate que les réactions photochimiques sont peu ou pas sensibles à la température, ce qui n'est pas le cas des réactions biochimiques.

### III. La chlorophylle.

#### A. Localisation

La chlorophylle est le principal pigment assimilateur des végétaux supérieurs.

Isolé en 1816 par Joseph Bienaimé, Caventou et Joseph Pelletier, ce pigment, situé dans les chloroplastes des cellules végétales, intervient dans la photosynthèse pour intercepter l'énergie lumineuse, première étape dans la conversion de cette énergie en énergie chimique. Son spectre d'absorption du rayonnement lumineux est responsable de la couleur verte des végétaux ; la longueur d'onde la moins absorbée étant le vert, c'est donc cette couleur qui est perçue dans la lumière réfléchiée vers l'œil par la feuille.

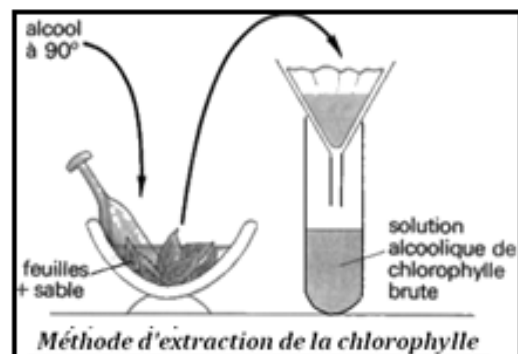


#### B. Extraction des pigments bruts

L'extraction des pigments peut se réaliser sur différents types de feuilles de plantes supérieures et aussi sur des thalles d'algues, quelle que soit leur couleur apparente due à des pigments supplémentaires.

Des feuilles bien vertes (ortie, épinard) sont broyées dans un mortier avec un peu de sable fin. Après avoir ajouté progressivement de l'alcool à 90° ou 95°, le contenu du mortier est filtré. On obtient ainsi une solution de chlorophylle brute dans l'alcool.

Le sable déchire les cellules et libère les pigments chlorophylliens qui passent à l'état de solution dans l'alcool.



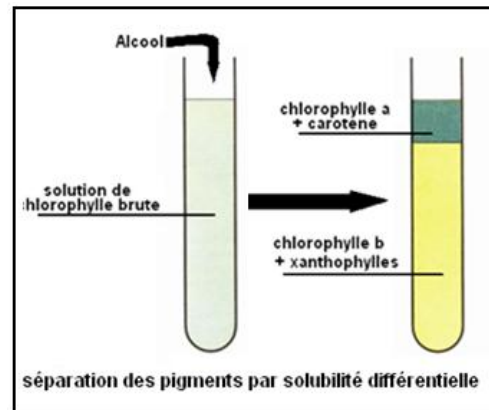
#### C. Séparation des pigments

Il est alors possible de séparer les différents pigments de la solution brute. Deux méthodes peuvent être réalisées, l'une par solubilité différentielle et l'autre par chromatographie sur papier :

### - Par solubilité différentielle :

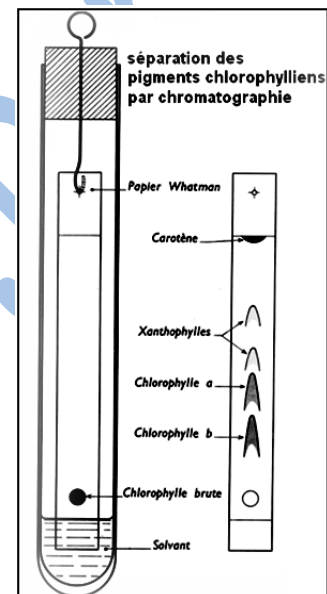
On verse 1 volume de la solution alcoolique de chlorophylle brute dans une ampoule à décanter et on ajoute 1/5 de volume d'éther de pétrole, on agite très doucement. La solution se sépare en 2 phases : La phase étherée, verte, contient la plupart des pigments et la phase hydro-alcoolique, jaune, une partie des xanthophylles seulement.

Les chlorophylles et les caroténoïdes sont solubles dans des solvants organiques et peuvent donc être séparés à l'aide de solvants ou de mélanges de solvants des lipides. Ces molécules sont dites liposolubles.



### - Par chromatographie sur papier :

On dépose une goutte de pigments bruts sur une feuille de papier. On place la feuille de papier dans un récipient hermétique dans lequel on a placé un solvant approprié. Le solvant monte dans la feuille par capillarité en entraînant les pigments de manière différentielle selon leur affinité avec le solvant (voir figure ci-contre). On peut distinguer ainsi deux catégories principales de pigments : les chlorophylles (vertes) et les caroténoïdes (jaunes).



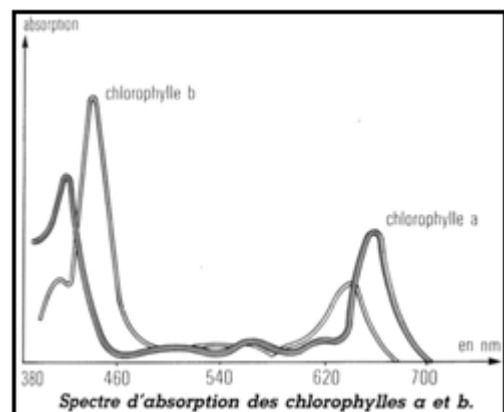
### D. Absorption des radiations

Une solution alcoolique de chlorophylle brute, observée à travers une cuve à faces parallèles, apparaît verte. Cela veut dire qu'elle laisse surtout passer les radiations vertes.

La même observation peut être faite de façon plus précise : un faisceau de lumière blanche traverse un prisme. La lumière blanche correspond à un ensemble d'ondes électromagnétiques allant de 420 nm à 720 nm de longueur d'onde. La réfraction qui a lieu au niveau du prisme dépend de la longueur d'onde. Ainsi, on peut recueillir sur un écran les différentes radiations étalées. Pour notre œil, cela se traduit par une sorte d'arc-en-ciel allant du rouge au violet : c'est un spectre d'émission

Si l'on interpose sur le trajet du rayon lumineux incident une cuve de chlorophylle, le spectre présente alors des bandes sombres, ce qui signifie que certaines radiations ont été absorbées par la chlorophylle. Sur l'écran, on obtient cette fois un spectre d'absorption.

On peut aussi représenter par une courbe l'intensité d'absorption des différentes longueurs d'onde par les chlorophylles (figure ci-contre).



L'absorption maximale se réalise dans le bleu (< 500nm) et dans le rouge (650-700 nm).

## IV. Les étapes de la photosynthèse

La photosynthèse est le processus bioénergétique qui permet aux plantes de synthétiser de la matière organique en exploitant la lumière du soleil.

Le bilan global de la photosynthèse est simple : à partir des matières premières minérales (eau, ions et dioxyde de carbone) la plante synthétise des substances organiques représentant

une importante source potentielle d'énergie chimique (libérable par combustion par exemple). Cette synthèse se fait grâce à la chlorophylle qui capte l'énergie lumineuse et la convertit en énergie chimique.

- Une analyse plus fine montre que la photosynthèse comprend, en réalité, deux ensembles de réactions chimiques :

- Les unes sont qualifiées de « **photochimiques** » car elles sont directement dépendantes de la lumière,
- les autres sont dites « **réactions sombres** », l'intervention de la lumière n'étant pas directement nécessaire à leur déroulement.

### A. Les réactions photochimiques

- Dans la cellule, la chlorophylle communique l'énergie issue de la lumière à d'autres molécules par transfert d'électrons portés à un haut niveau énergétique. Ces électrons alimentent une chaîne de réactions d'oxydo-réduction au cours desquelles l'énergie est transmise :

- à des molécules d'adénosine triphosphate (**ATP**) ;
- à des molécules d'un transporteur d'hydrogène, le **NADP**.

Ainsi, l'énergie lumineuse des radiations absorbées se trouve-t-elle convertie en énergie chimique, finalement stockée dans les molécules d'ATP et les molécules du transporteur d'hydrogène.

- La première réaction photochimique de la photosynthèse est la dissociation de l'eau, encore appelée **photolyse** de l'eau. Elle fournit à la fois des électrons qui alimentent la chaîne d'oxydo-réduction et des protons selon la réaction :



L'oxygène libéré par la photolyse de l'eau est dégagé au cours de la photosynthèse.

### B. Les réactions chimiques dites « sombres »

L'incorporation du dioxyde de carbone et la synthèse de substances organiques sont assurées par un ensemble de réactions chimiques qui ne sont pas directement dépendantes de la lumière. Ces réactions utilisent l'énergie chimique stockée au cours de la phase photochimique dans les molécules d'ATP et de transporteur d'hydrogène. Les premières substances organiques synthétisées au cours de ces réactions sont des sucres à trois atomes de carbone à partir desquels se forment les autres glucides (glucose, fructose, amidon...).

A la suite de cette synthèse première de composés glucidiques, les cellules végétales élaborent des acides aminés précurseurs des protéines (en utilisant l'azote minéral) et des composés précurseurs des lipides. Puis des synthèses très nombreuses aboutissent à l'édification des divers types de molécules organiques qui constituent non seulement l'ensemble des tissus de la plante mais aussi ses réserves.

## V- Importance écologique de la photosynthèse.

Les besoins nutritifs de la plante sont le dioxyde de carbone de l'air, l'eau et les sels minéraux du sol. Les végétaux sont dits autotrophes pour le carbone. Une conséquence importante est la libération de molécules de dioxygène. La nuit, la photosynthèse est suspendue, mais la plante respire de manière continue le jour et la nuit. Sur 24h, la production de dioxyde de carbone issue de la respiration est moins importante que celle en dioxygène issue de la photosynthèse, durant la journée. Tel est le bilan durant toute sa croissance, produisant sa propre substance en rejetant de l'oxygène.

À l'échelle planétaire, ce sont les algues et le phytoplancton marin qui produisent le plus d'oxygène, suivi des forêts. On a longtemps cru que les mers froides et tempérées étaient les

seules à avoir un bilan positif en termes d'oxygène, mais une étude récente montre que les océans subtropicaux oligotrophes sont également producteurs d'oxygène, bien qu'avec une production saisonnière irrégulière. Ces océans jouent donc un rôle en termes de puits de carbone.

Pour le sud de l'hémisphère nord, l'oxygène y est le moins présent en début d'hiver, augmente jusqu'en août pour redescendre à l'automne. De même on a longtemps cru que l'oxygène n'était produit que dans les couches très superficielles de l'océan, alors que le nanoplancton peut en produire aussi (mais en très petite quantité, et très lentement).

Dans les zones de dystrophisation ou dans les zones mortes de la mer, ce bilan peut être négatif.

Le flux d'énergie capté par la photosynthèse (à l'échelle planétaire) est immense, approximativement 100 térawatts: qui est environ de 10 fois plus élevé que la consommation moyenne (intégrée sur un an) de toute la consommation énergétique mondiale. Ce qui signifie qu'environ un peu moins du millième de l'insolation reçue par la terre est capté par la photosynthèse et fournit toute l'énergie de la biosphère.

En tout, les organismes photosynthétiques assimilent environ 100 milliards de tonnes de carbone en biomasse, chaque année.

www.ipn.mt

## Bilan :

L'absorption de l'eau et des sels minéraux se fait au niveau de la zone pilifère de la racine composée de très nombreux poils absorbants. L'eau et les ions minéraux forment la sève brute. Les plantes vertes peuvent se développer sur un milieu exclusivement minéral (Knop) : elles sont autotrophes. Si l'un des éléments nutritifs minéraux manque, la croissance de la plante sera limitée quelle que soit la quantité des autres éléments : c'est la loi du minimum.

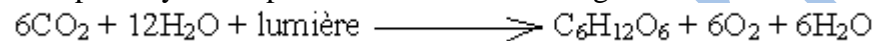
A la lumière, les végétaux chlorophylliens absorbent le  $\text{CO}_2$  et dégagent l' $\text{O}_2$  (échanges gazeux chlorophylliens).

L'intensité chlorophyllienne est le volume de  $\text{CO}_2$  absorbé ou celui d' $\text{O}_2$  dégagé par unité de masse et par unité de temps.

Les échanges gazeux chlorophylliens sont influencés par les facteurs externes (lumière, taux de  $\text{CO}_2$ , température...). Chacun de ces facteurs limite le phénomène par son insuffisance même si les autres sont fournis abondamment (facteur limitant). Les chloroplastes contiennent un pigment indispensable à la photosynthèse : c'est la chlorophylle brute. Celle-ci est soluble dans les solvants organiques (alcools, benzène, acétone...) et constituée de divers pigments (chlorophylles a et b, xanthophylles, carotène) qu'on peut séparer par solubilité différentielle ou par chromatographie ascendante sur papier.

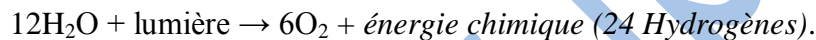
La chlorophylle capte l'énergie lumineuse qu'elle transforme en énergie chimique pour que la plante synthétise ses matières organiques : c'est la photosynthèse. Les radiations les plus absorbées (rouge, violet, bleue...) sont les plus efficaces (spectre d'absorption).

Si la photosynthèse peut s'étudier de manière globale avec :



Ce processus se déroule en réalité en deux phases bien distinctes :

1. Les réactions photochimiques, appelées communément « **phase claire** », qui peuvent se résumer ainsi :



2. Le cycle de Calvin, appelé aussi phase de fixation du carbone ou phase non-photochimique, ou encore improprement appelé « **phase sombre** » :



Ce qui est noté « *énergie chimique* » correspond à 12 molécules de  $\text{NADPH}+\text{H}^+$  et de l'ATP.

On aura remarqué que la 2<sup>e</sup> phase utilise l'*énergie chimique* fournie par la 1<sup>re</sup> phase photochimique. La 2<sup>e</sup> phase dépend aussi de la lumière, mais indirectement.

Les végétaux chlorophylliens sont les premiers fournisseurs de l'écosystème en matières organiques : ils en sont les producteurs primaires.

En plus, ils enrichissent l'atmosphère en  $\text{O}_2$  et l'appauvrissent en  $\text{CO}_2$ .

## Exercices

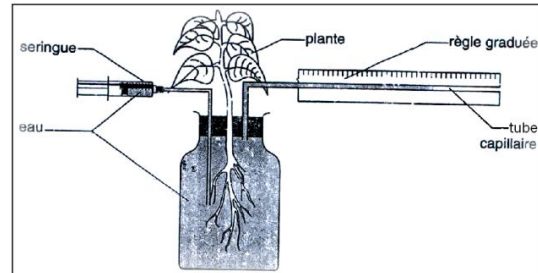
### Exercice 1 : Faire son choix

La transpiration foliaire :

- 1- ne dépend en rien des facteurs climatiques.
- 2- est un phénomène biologique contrôlé par des facteurs physiques.
- 3- est un phénomène physique sous contrôle biologique.
- 4- ne joue aucun rôle dans l'ascension de la sève brute.
- 5- se fait essentiellement au niveau des stomates.
- 6- se traduit par l'émission de vapeur d'eau dans l'atmosphère.
- 7- a la même valeur pour toutes les espèces végétales.

### Exercice 2

La figure (ci-contre) représente un montage expérimental appelé potomètre (potos = boire) dans lequel on mesure le déplacement du liquide dans le tube capillaire en fonction du temps. Le tableau suivant indique les résultats obtenus chez une même plante qui reste soumise aux mêmes conditions extérieures lors des trois mesures :



	Rameau intact	Rameau dont on a enlevé la moitié des feuilles	Rameau sans feuilles
Déplacement du liquide (en cm)	16,2	8,6	0,5

- 1) Expliquer le fonctionnement de cet appareil et ce qu'il mesure.
- 2) Quelle hypothèse a-t-on voulu tester ?
- 3) Déduire de l'analyse des résultats si l'hypothèse est vérifiée.

### Exercice 3

Des Algues unicellulaires vertes (Chlorelles) sont mises à la lumière en présence d'eau enrichie en eau à oxygène lourd  $H_2^{18}O$  (par exemple à 0,85% de cette dernière) et alimentées par contre en dioxyde de carbone à oxygène léger  $C^{16}O_2$  (en fait, en  $CO_3^{2-}$ ). On analyse l'oxygène dégagé par la culture : il contient de l'oxygène lourd dans une proportion très voisine de celle de  $H_2^{18}O$  dans l'eau fournie initialement, bien différente de celle existant dans l'oxygène atmosphérique normal (0,20% de  $^{18}O$ ). • Que peut-on en conclure ?

Pour vérifier cette interprétation, la contre-expérience a été réalisée : des Chlorelles alimentées en  $H_2^{16}O$  et en  $C^{18}O_2$  libèrent de l'oxygène qui contient la même proportion de  $^{18}O$  que l'eau fournie.

C'est donc que l'oxygène libéré par les végétaux chlorophylliens à la lumière et en présence de  $CO_2$  provient de l'eau.

# CHAPITRE III : L'alimentation de l'homme : la digestion.

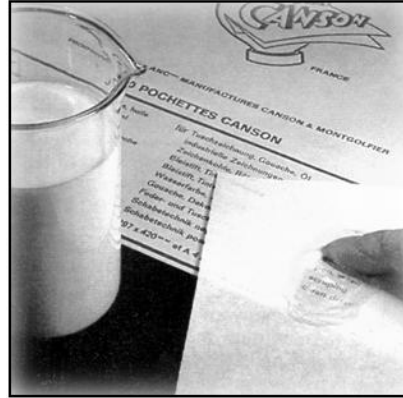
## I. Etude d'aliments

### A. Le lait

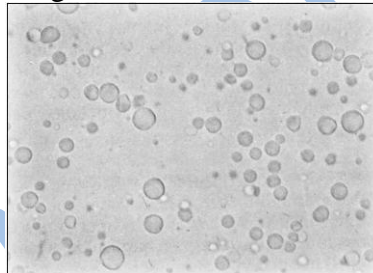
- Si on abandonne du lait entier frais dans un récipient, quelques heures plus tard, on observe à la surface une couche de **crème** qui s'épaissit progressivement. Celle-ci :

\* est onctueuse au toucher,

\* donne sur le papier une tâche translucide qui ne disparaît pas par évaporation.



- L'examen d'une goutte de lait au microscope révèle la présence de nombreuses gouttelettes sur un fond homogène : ce sont des globules de crème en émulsion dans le lait écrémé.



- Comparons les propriétés de la crème du lait à celles d'un lipide caractéristique : l'huile (d'olive, de noix, de tournesol ou d'arachide).

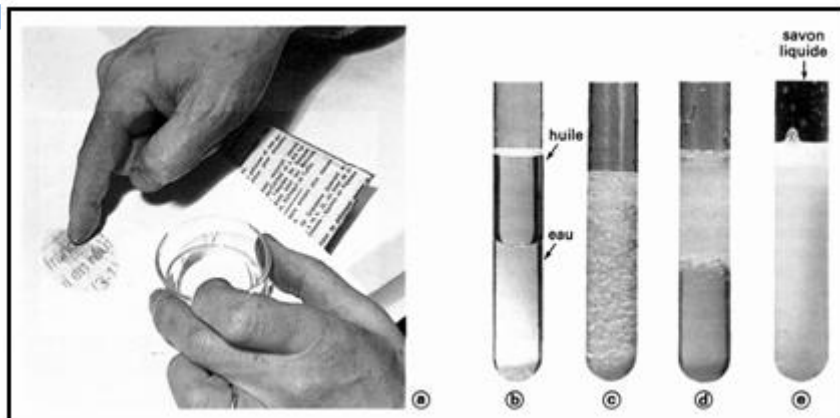
- L'huile est un lipide onctueux au toucher qui donne une tâche translucide sur le papier (a).

- Insoluble dans l'eau, elle est moins dense que l'eau (b).

- Agitée dans l'eau, l'huile forme des gouttelettes en émulsion dans l'eau (c).

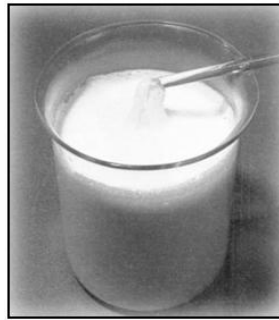
- L'huile remonte rapidement en surface (d) : l'émulsion est donc instable. On peut la stabiliser en ajoutant un peu de bile de bœuf ou de savon liquide (e).

- L'huile est soluble dans les solvants des corps gras (éther, benzène...).

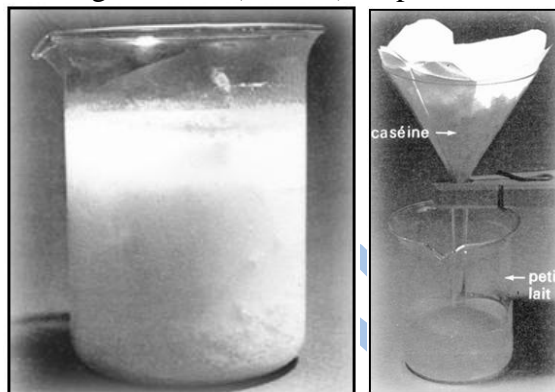


L'huile et la crème du lait ont les mêmes propriétés. Ce sont des **lipides**.

- Quand on chauffe du lait (écrémé ou non) vers 70°C, une fine peau se forme à la surface : c'est l'**albumine** du lait.

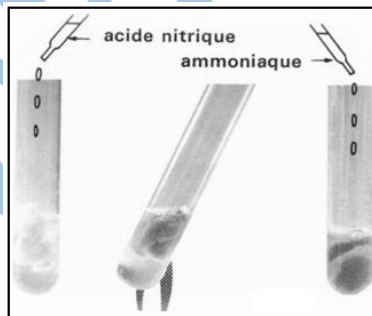


- Si on ajoute quelques gouttes d'acide acétique dans du lait, il coagule aussitôt. On peut alors séparer le « fromage blanc » (caséine) du petit-lait en filtrant.



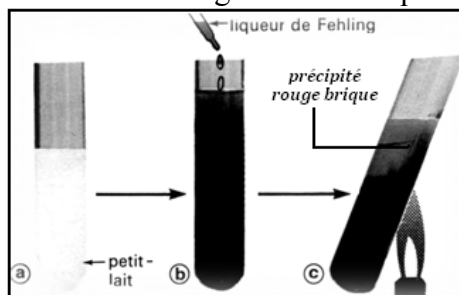
- **Première réaction de coloration caractéristique des protides :**

Si on verse de l'acide nitrique sur de la caséine, elle devient **jaune** quand on chauffe ; elle reste jaune après lavage à l'eau. Si on verse alors une solution d'ammoniaque, la coloration devient **orange**.



- **Petit lait et liqueur de Fehling :**

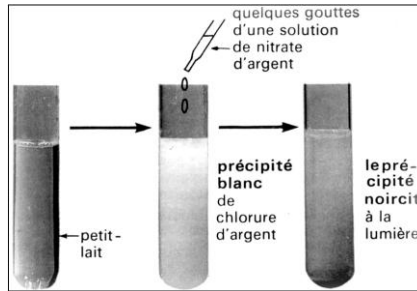
A du petit-lait neutralisé par quelques gouttes de soude (a), on ajoute quelques centimètres cubes de liqueur de Fehling (b). Un **précipité rouge brique** se forme quand on chauffe (c). L'ensemble du tube prendra la coloration rouge caractéristique.



Le lait contient donc un **sucre réducteur** (lactose).

**- Petit lait et nitrate d'argent :**

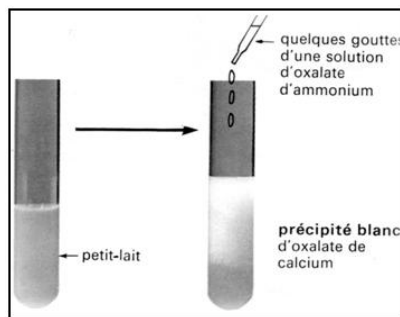
On ajoute du petit lait quelques gouttes d'une solution de nitrate d'argent, on obtient un précipité blanc qui noircit à la lumière.



Le petit-lait contient des chlorures.

**- Petit lait et oxalate d'ammonium :**

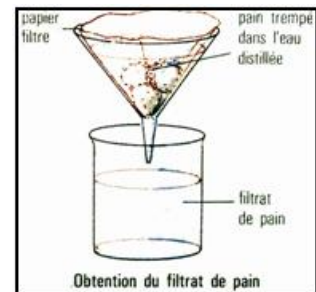
A du petit lait, on ajoute quelques gouttes d'une solution d'oxalate d'ammonium, on obtient un précipité blanc de chlorures de calcium.



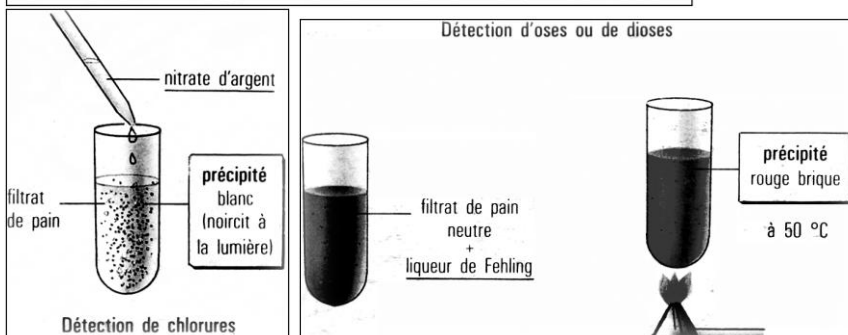
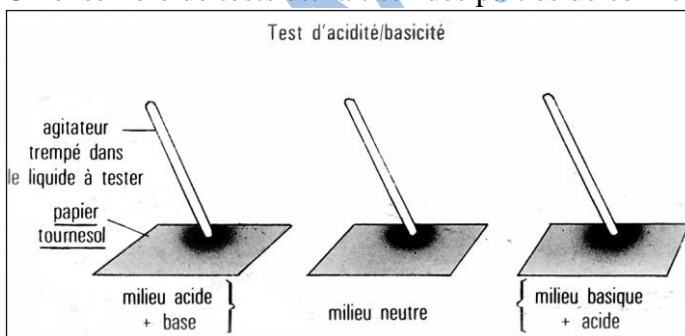
Le petit-lait contient du calcium.

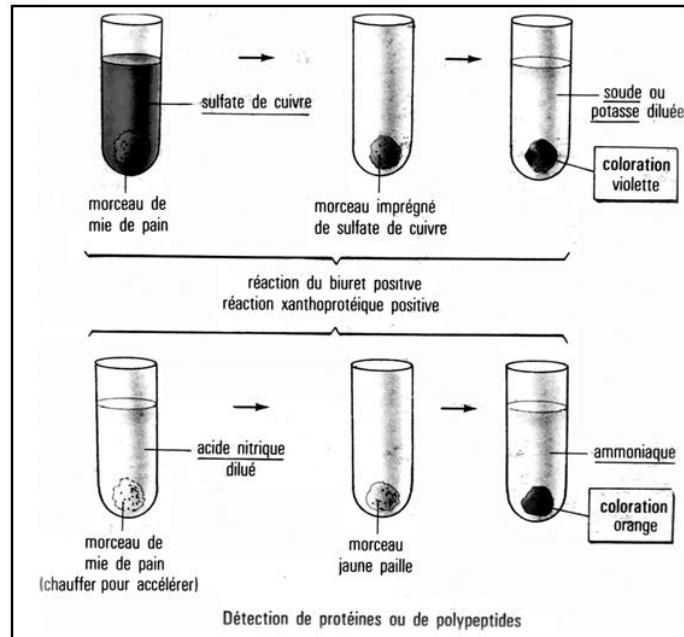
**B. Le pain.**

Pour mettre en évidence les constituants du pain, on réalise une série d'expériences. Pour ce faire, il faut réaliser un filtrat de pain (figure ci-contre). Ainsi, on broie du pain dans de l'eau distillée, puis on filtre la bouillie obtenue et on récupère le liquide qui en résulte (filtrat).



Un ensemble de tests est fait sur des parties de ce filtrat :





Après la réalisation de l'ensemble des expériences, on peut conclure que: le pain est constitué d'amidon, d'un peu de protéines (le gluten), de sels minéraux (de chlorure de sodium...) et de l'eau mais du fait de la cuisson la majorité est évaporée.

## II- Etude d'une digestion.

### A. Notion d'enzyme

#### Digestion de l'albumine par le suc gastrique.

Il s'agit de reconstituer *in vitro* les conditions auxquelles l'albumine est soumise dans l'estomac: présence de suc gastrique et température d'environ 37°C (tube 1). Nous prévoyons un tube témoin sans suc gastrique (tube 2). L'albumine étant insoluble dans l'eau, les deux tubes ont un aspect blanchâtre.

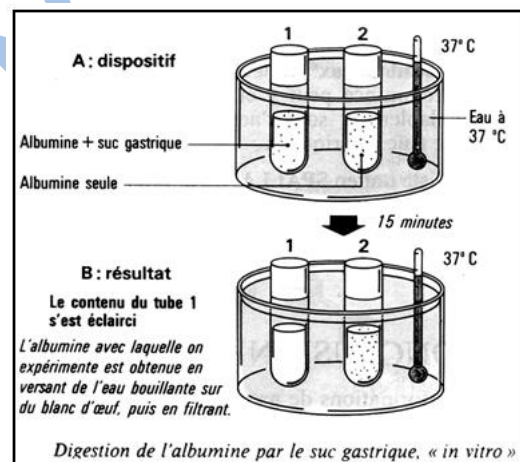
En quelques minutes, le contenu du tube 1 s'éclaircit, celui du tube 2 conserve le même aspect. Sous l'action du suc gastrique, à la température de 37 °C, l'albumine a été transformée en substances solubles dans l'eau.

C'est une substance présente en très petite quantité dans le suc gastrique qui est active. Cette substance est une **enzyme digestive : la pepsine**. La pepsine favorise des réactions chimiques qui fragmentent les chaînes d'albumine en molécules plus simples et plus courtes : les polypeptides. (Cette réaction chimique qui nécessite la présence d'eau, s'appelle une hydrolyse). L'action de la pepsine est favorisée par la température du corps et ne s'exerce qu'en milieu acide. L'acide seul n'hydrolyse pas l'albumine à 37°C.

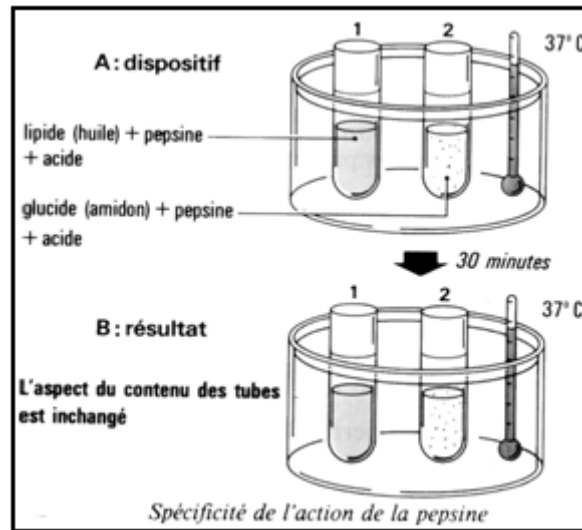
### B. Caractères des enzymes

- **Spécificité des enzymes**

La pepsine n'agit pas sur les glucides. Elle exerce son action uniquement sur les protéines. Comme la pepsine, les autres enzymes digestives agissent de **façon spécifique**. Elle exerce leur action soit sur les protides, soit sur les glucides, soit sur les lipides en fractionnant ces grosses molécules organiques en molécules organiques plus simples.



Cette fragmentation s'exerce **par étapes**. Ainsi l'albumine n'est pas entièrement digérée par l'action de la pepsine. Les enzymes pancréatiques et intestinales poursuivent son fractionnement.



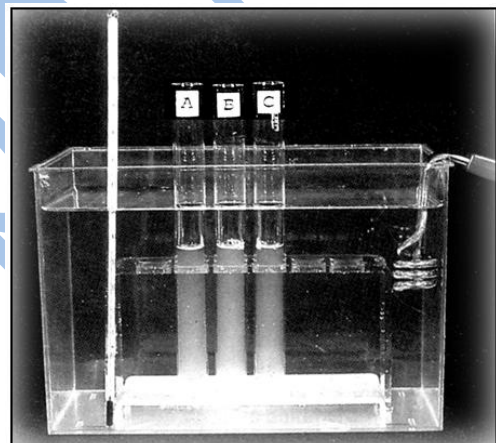
- **Activité enzymatique**

**Expérience 1 :**

- A. 10 ml de solution d'amidon à 1% + 1ml de solution d'amylase salivaire.
- B. 10 ml de solution d'amidon à 1% + 1 ml de solution d'amylase salivaire + quelques gouttes de HCl.
- C. 10 ml de solution d'amidon à 1% + 1 ml de solution d'amylase salivaire + quelques gouttes de NaOH.

**Résultats de l'expérience :**

Une demi-heure plus tard, le test à la liqueur de Fehling est pratiqué sur le contenu des trois tubes. Le précipité rouge brique caractéristique d'un sucre réducteur apparaît seulement dans le tube **A**.



**Conclusion :**

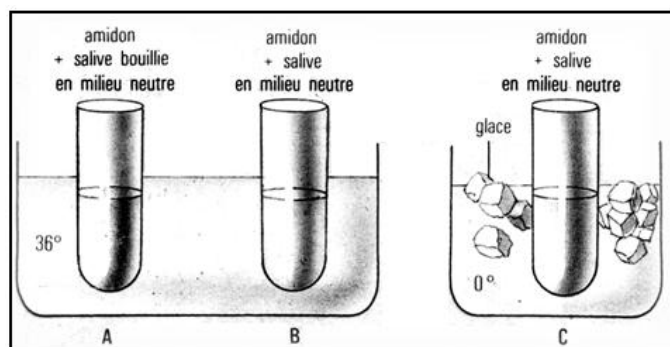
L'enzyme n'intervient qu'en milieu neutre.

**Expérience 2 et résultats :**

Dans les tubes A et C, au bout de 15 minutes, l'eau iodée colore un prélèvement en bleu.

**Conclusion :**

L'enzyme n'intervient qu'à 37°C.



**C. Etapes de la digestion**

- **Dans la bouche**, les aliments sont broyés, triturés, mélangés à la salive qui les humidifie et débute la dégradation des molécules d'amidon.

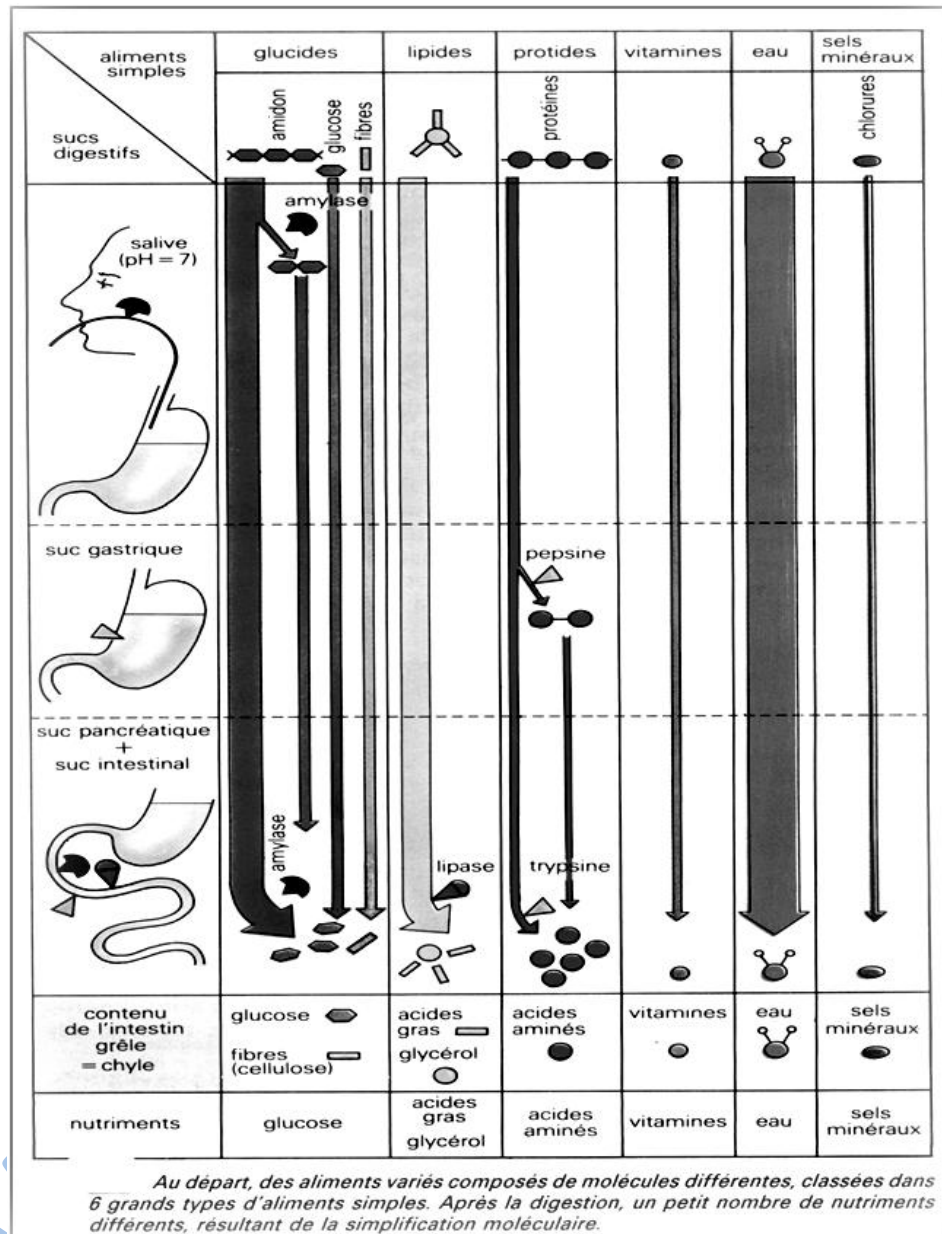
• **L'estomac**

prépare les aliments à la digestion intestinale : en effet l'acide chlorhydrique dénature les protéines, ce qui favorise l'action des enzymes. D'autre part, la pepsine, enzyme la plus importante du suc gastrique, assure une dégradation partielle des protéines en peptides plus simples ; néanmoins, la part de l'estomac dans la transformation chimique des aliments reste faible ; ainsi des sujets ayant subi une ablation de l'estomac assurent tout de même la digestion de leurs aliments.

Le rôle essentiel de l'estomac est de contrôler le transit des aliments vers l'intestin régulant ainsi le fonctionnement de ce dernier. L'estomac se vide lentement ; il l'est rarement trois heures après un repas.

• **Le pancréas** joue un rôle fondamental dans les phénomènes chimiques de la digestion grâce à la sécrétion du suc pancréatique :

- son équipement enzymatique complet le rend apte à dégrader toutes les catégories d'aliments (protéines, glucides et lipides) ;
- sa sécrétion est continue mais s'accroît avec l'ingestion d'un repas ; le maximum est obtenu 2 à 3 heures après le repas et se prolonge pendant 5 à 7 heures ;
- sa composition en enzymes varie avec l'âge du sujet ; un très jeune mammifère ne possède pas l'équipement enzymatique lui permettant de digérer des aliments complexes ;
- cette composition évolue aussi en fonction du régime alimentaire ; par exemple, la teneur en chymotrypsine (enzyme protéolytique) croît lorsqu'augmente la teneur du régime en protéines. Malgré l'importance primordiale du suc pancréatique dans la dégradation des aliments, des phénomènes de compensation partielle se produisent après l'ablation expérimentale de la glande.



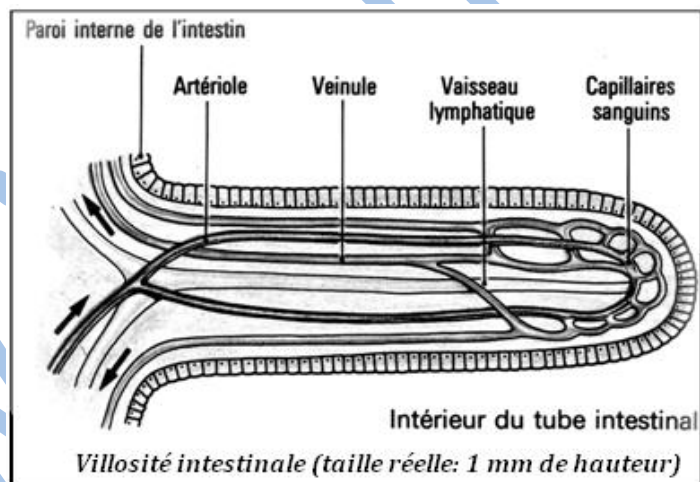
Ceci explique que, chez l'homme, après ablation presque complète du pancréas (90%) pour raison médicale, la digestion demeure presque normale. Le relais est pris non seulement par les sécrétions enzymatiques de l'intestin mais aussi par celles de l'estomac.

- **L'intestin grêle**, grâce aux enzymes libérées par les cellules de son épithélium, complète les transformations réalisées par le suc pancréatique ; son action est surtout importante sur les glucides ; il achève en effet la digestion de l'amidon commencée par les amylases salivaire et pancréatique.
- **Le gros intestin** ne secrète aucune enzyme. Au contraire, il inactive les enzymes de l'intestin grêle qui pourraient subsister parmi les résidus des aliments. Mais il renferme une importante flore microbienne qui dégrade une partie des résidus glucidiques des aliments, produisant d'une part des gaz inutilisables évacués et d'autre part des acides gras volatiles qui, absorbés par la paroi intestinale, servent à synthétiser de nouveaux glucides. Les résidus protéiques sont également dégradés par la flore bactérienne. Des expériences réalisées chez le porc ont montré que 15 à 50% des substances azotées présentes à l'entrée du gros intestin disparaissent ainsi avant d'atteindre le rectum.

### III. Absorption intestinale

#### A. Villosité

La **paroi intestinale** présente, tout au long des 7 à 8 mètres de l'intestin grêle, de nombreux replis circulaires recouverts de millions de petites saillies, les **villosités**. Chaque villosité est limitée par une couche de cellules dont la membrane, située du côté de la lumière de l'intestin, présente de nombreuses digitations, les **microvillosités** (le jéjunum humain en compte 200 000 par millimètre carré). L'ensemble constitue une surface absorbante dont l'aire est considérable (300 m<sup>2</sup> chez l'homme).



#### B. Mécanisme de l'absorption

Au terme de la simplification moléculaire qui constitue la digestion, l'intestin grêle renferme un liquide, le **chyle**, comportant des nutriments à petites molécules et des substances non digestibles. Les petites molécules sont essentiellement l'eau, les sels minéraux, les oses, les acides aminés, le glycérol et les acides gras. Les substances non digestibles sont surtout des fibres comme la cellulose.

Alors que les résidus et la cellulose vont former les matières fécales colorées par la bile, les nutriments sont absorbés à travers la paroi intestinale : c'est le phénomène de l'**absorption intestinale**.

L'absorption peut être **passive**, c'est-à-dire ne résulter que d'une simple diffusion à travers la paroi intestinale sous l'effet d'une différence de concentration de part et d'autre de celle-ci ; elle est le plus souvent **active**, c'est-à-dire nécessite une dépense d'énergie de la part des cellules de l'épithélium intestinal qui possède en effet de véritables transporteurs capables de prendre en charge les molécules de nutriments pour les acheminer vers le sang.

Les cellules de l'épithélium intestinal se renouvellent constamment. On a évalué à 17 milliards le nombre de cellules mortes qui sont « déversées » ainsi chaque jour tout au long de l'intestin. Une grande partie de l'absorption a lieu au niveau du duodénum ;

là sont absorbés 60% des sucres et 40% des lipides. C'est aussi la première partie de l'intestin grêle qui absorbe 60 à 90% des produits issus de l'hydrolyse des protéines.

Le gros intestin joue un rôle non négligeable dans l'absorption de l'eau ; ainsi les résidus de la digestion perdent de leur fluidité au fur et à mesure du transit intestinal. C'est aussi à travers la paroi du gros intestin que sont absorbés les acides gras provenant de l'activité de la flore bactérienne.

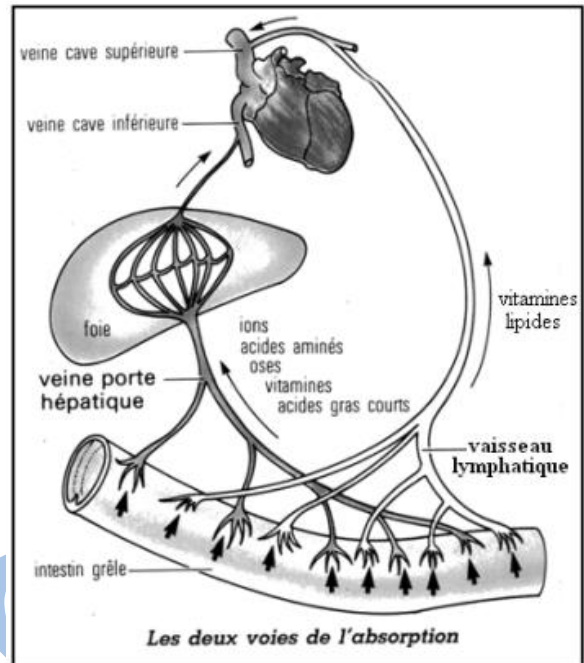
### C. Les voies d'absorption

Après avoir traversé l'épithélium intestinal, les substances absorbées empruntent deux voies :

- l'eau, les sels minéraux, les oses et les acides aminés passent directement dans le sang ; par la veine porte, ils gagnent le foie où certains d'entre eux peuvent être temporairement mis en réserve ;

- les constituants des lipides (glycérol et acides gras) se retrouvent dans la lymphe des vaisseaux lymphatiques des chylifères où ils se recombinaient aussitôt en lipides. Ils forment une émulsion qui donne aux chylifères un aspect laiteux pendant la digestion. Les vaisseaux lymphatiques aboutissent par la suite dans la circulation sanguine ; ainsi la plus grande partie des substances absorbées au niveau de l'intestin se retrouve en

définitive dans le sang. Des études très récentes ont montré que les cellules de la paroi intestinale consomment pour leur propre compte une quantité non négligeable de ces nutriments. Leur activité est très grande et leur renouvellement l'un des plus rapides de l'organisme.



## **Bilan**

Les aliments usuels sont souvent **composés** (lait, pain...). Ils sont constitués d'**aliments simples** : eau, sels minéraux, protides, lipides, glucides et vitamines. Au cours de leur progression dans le tube digestif, les aliments subissent :

- une fragmentation mécanique par humidification, broyage et brassage ;
- des transformations chimiques sous l'action des enzymes des sucs digestifs.

Les enzymes sont des protéines qui catalysent spécifiquement des réactions chimiques variées. Pour agir, elles nécessitent une température et un pH convenables.

De grosses molécules se fragmentent en petites molécules solubles, capables de traverser la paroi de l'intestin pour passer dans le sang (**absorption**) et d'être utilisées par les organes (**assimilation**) : il s'agit des **nutriments**.

L'absorption a lieu au niveau d'une surface d'échange particulièrement adaptée constituée par les villosités intestinales.

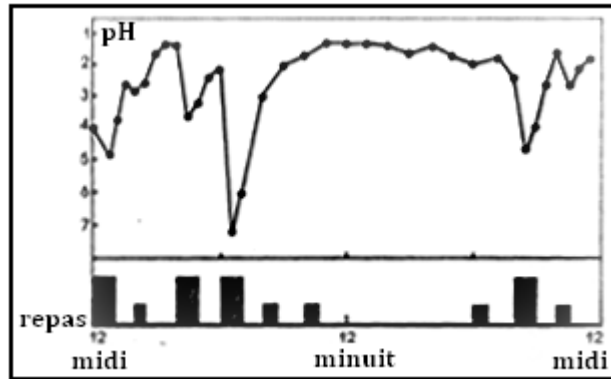
Les nutriments sont distribués à toutes les cellules par le sang (eau, sels minéraux, glucose, acides aminés) et par la lymphe (acides gras, alcool).

www.ipn.mk

## Exercices

### Exercices 1

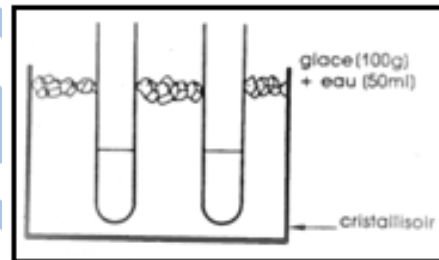
Évolution du pH du contenu gastrique au cours de la digestion chez un homme normal, âgé de 36 ans, pendant une période de 24 heures : Les grands rectangles représentent les repas :  
*Déjeuner* : poisson, pommes de terre, purée de carottes, compote, crème et thé;  
*Goûter* : pain et beurre, thé;  
*Dîner* : poisson, pommes de terre, crème, pain et beurre;  
*Petit déjeuner* : porridge, œufs à la coque, pain et beurre, thé. Les petits rectangles représentent les prises de lait.



- Déterminez le niveau moyen du pH du contenu gastrique.
- Analysez l'évolution du pH pendant la période de 24 heures.
- Proposez une interprétation de ces données.

### Exercices 2

Analyse expérimentale de l'action de l'amylase : les conditions de température. Verser dans les tubes **1** et **2** 10 ml de solution tamponnée d'amidon + 0,5 ml de solution de pancréatine refroidie préalablement. Attendre 10 minutes, puis ajouter 0,5 ml d'iode 0,01 N dans le tube **1** : on obtient une coloration bleue. On place alors le tube **2** dans un bain-marie à 37 °C. Après 10 minutes, l'essai à l'eau iodée est négatif : la coloration bleue n'apparaît pas. En outre, un essai effectué dans les conditions optimales (37 °C), en utilisant une solution de pancréatine préalablement portée à ébullition, ne donne aucun résultat.



- Que pouvez-vous conclure des résultats de ces expériences ?

# CHAPITRE IV : Utilisation des nutriments pour la production d'énergie

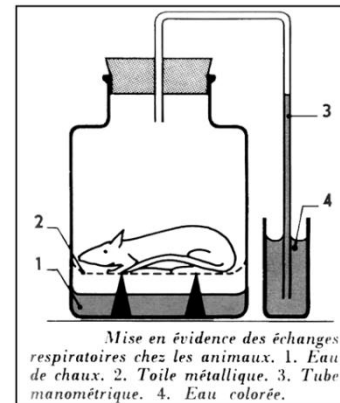
## I- Echanges gazeux respiratoires

### A. Mise en évidence

#### 1. Chez les animaux

Un petit animal (une souris par exemple) est enfermé dans un flacon dont la partie inférieure est occupée par de l'eau de chaux ; la partie supérieure est fermée par un bouchon traversé par un tube qui vient plonger dans de l'eau colorée.

Après quelques minutes, l'eau de chaux se trouble; l'eau colorée s'élève dans le tube, ce qui indique une dépression à l'intérieur du récipient. Si on prolonge l'expérience, l'animal finit par mourir. La buée, apparue sur les parois, montre que l'air rejeté par l'animal est saturé en vapeur d'eau.



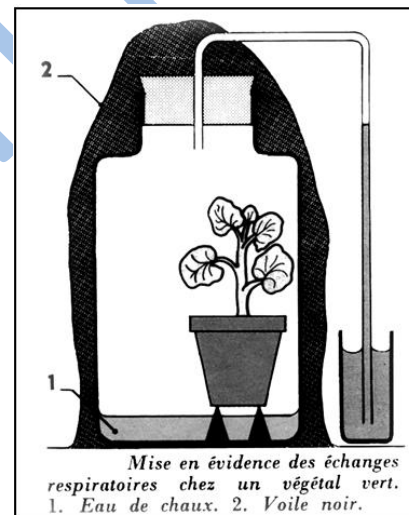
#### 2. Chez les végétaux

Enfermer dans un grand flacon de verre un végétal (champignon ou plante verte) ; de l'eau de chaux est versée dans le fond. Le bouchon fermant le flacon est traversé par un tube qui plonge dans de l'eau colorée. Si l'on choisit des champignons, il n'y a pas de précautions spéciales à prendre ; par contre, si l'expérience est faite avec une plante verte, il faut éliminer les échanges gazeux chlorophylliens bien que l'eau de chaux absorbe rapidement le dioxyde de carbone. Pour cela, deux méthodes :

- Méthode de Claude Bernard. Une éponge imbibée de chloroforme est placée dans le flacon, avec la plante verte. La plante respire mais n'assimile plus.

Cette méthode est critiquable en ce sens que l'anesthésie modifie vraisemblablement la respiration. Elle reste valable pour une mise en évidence qualitative.

- Méthode de l'obscurité. Le flacon est entouré d'un cache qui prive la plante verte de la lumière indispensable pour la photosynthèse (figure ci-contre). Cette méthode est aussi critiquable car la lumière a peut-être, indirectement, une influence sur la respiration.



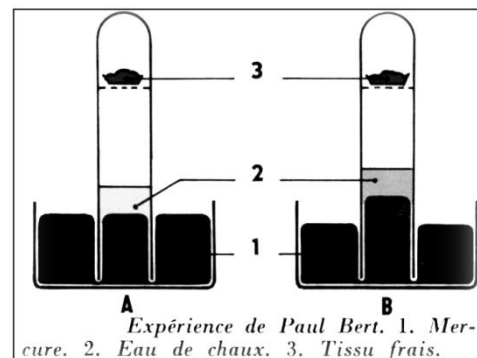
Quel que soit le végétal placé en expérience, on observe les mêmes phénomènes que pour un animal : trouble de l'eau de chaux, montée de liquide dans le tube plongeant dans l'eau colorée.

#### 3. Respiration tissulaire

Jusqu'au siècle dernier, on considérait la respiration comme un phénomène strictement pulmonaire. En 1870, un savant français, Paul Bert, a démontré que les tissus respirent.

**Expérience de Paul Bert** (figure ci-contre)

Des fragments de tissu frais (muscle, foie...) sont placés dans une éprouvette, retournée sur du mercure, dans laquelle on a introduit de l'eau de chaux. Au début de l'expérience, le mercure est sensiblement à la même hauteur dans la cuve et dans l'éprouvette. Après quelques heures, on constate une



élévation du mercure dans l'éprouvette et un trouble de l'eau de chaux.

## B. Mesure des échanges respiratoires.

### 1. Méthodes

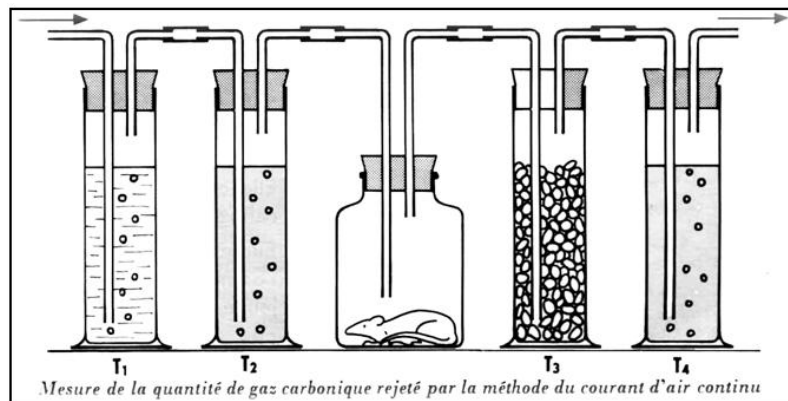
Deux méthodes peuvent être utilisées : la méthode de l'air confiné et la méthode de l'air renouvelé.

#### a) Méthode de l'air confiné.

L'animal se trouve dans une enceinte hermétique ; on connaît la composition de l'air au début de l'expérience et le poids de l'animal. Après un temps donné, l'air est analysé par prises de gaz ; on a ainsi le volume du dioxyde de carbone dégagé et le volume d'oxygène consommé. Nous ne développerons pas cette méthode, qui place l'animal dans des conditions anormales puisque, dès le début de l'expérience, la composition de l'air varie.

#### b) Méthode de l'air renouvelé.

L'enceinte occupée par l'animal est traversée par un courant d'air provoqué au moyen d'une pompe à eau ou d'un aérateur d'aquarium. Deux flacons contenant respectivement de la potasse et de l'eau de chaux ( $T_1$  et  $T_2$ ) sont placés en amont du courant pour débarrasser l'air de son dioxyde de carbone. L'air sortant de l'enceinte traverse un tube renfermant de la potasse en grains ( $T_3$ ), et un flacon  $T_4$  avec de l'eau de chaux.



Au début de l'expérience, on pèse l'animal et le tube  $T_3$  ; le débit d'air est réglé de manière que les flacons  $T_2$  et  $T_4$  ne présentent aucun trouble. Après un temps donné d'expérience, on pèse le tube  $T_3$  ; la différence de poids indique le poids de dioxyde de carbone dégagé.

Le résultat trouvé peut être transformé en litres ; sachant que le dioxyde de carbone a un poids moléculaire de 44g, le volume moléculaire étant de 22,4l, il suffit de poser la règle de trois suivante où p représente la différence de poids en grammes, du tube  $T_3$  :

$$\frac{22,4 \text{ l} \times p}{44}$$

### 2. Intensité et quotient respiratoires

L'intensité respiratoire est le volume d'oxygène absorbé, ou de dioxyde de carbone rejeté, pendant l'unité de temps (1h), par l'unité de masse de matière vivante (1 kg).

Volume de dioxyde de carbone produit

Le rapport :  $\frac{\text{Volume de dioxyde de carbone produit}}{\text{Volume d'oxygène consommé}}$  est appelé **quotient respiratoire (Q.R.)**

## II- Transport des gaz respiratoires

### A. Transport de l'oxygène

Le sang du tube **b** de couleur rouge vif, est riche en oxygène. Celui du tube **a**, de couleur rouge sombre, est privé totalement d'oxygène. La présence d'oxygène fait donc varier la couleur du sang. Le sang renferme des hématies ou globules rouges. Les hématies renferment une protéine colorée : l'hémoglobine.

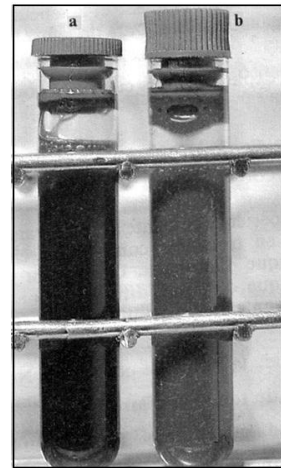
L'hémoglobine existe sous deux formes : combinée à l'oxygène ou non combinée. Dans la première forme appelée, oxyhémoglobine, elle est rouge vif ; dans la seconde, elle est rouge sombre.

Dans les capillaires pulmonaires, l'oxygène se fixe à l'hémoglobine ; de l'oxyhémoglobine se forme : le sang sortant des poumons est donc rouge vif.

Dans les organes, l'oxyhémoglobine libère l'oxygène fixé : le sang qui revient au poumon est rouge sombre.

**L'oxyhémoglobine**, par sa capacité à se combiner avec l'oxygène et à s'en libérer, assure l'essentiel du transport de l'oxygène dans l'organisme.

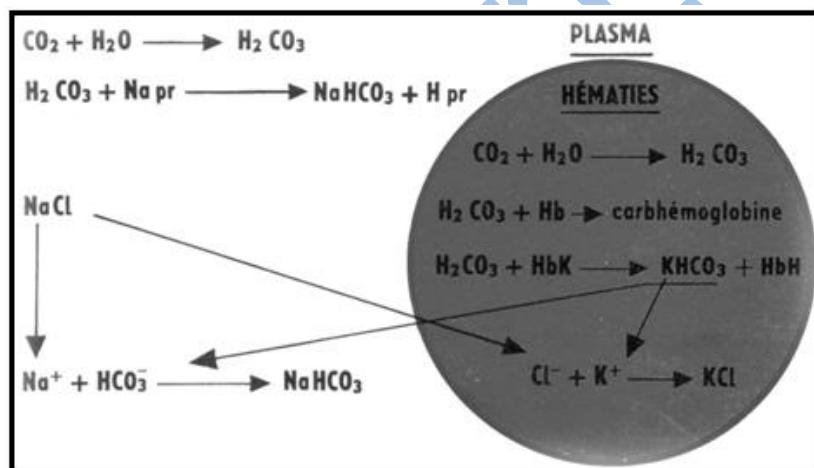
Une faible quantité d'oxygène est transportée dissoute dans le plasma. Il y a en moyenne 5 millions d'hématies par mm<sup>3</sup> de sang. Un adulte qui possède 5 litres de sang environ compte donc 25 000 milliards d'hématies, renfermant 750 g d'hémoglobine !



## B. Transport du dioxyde de carbone

Le sang arrivant au poumon est riche en dioxyde de carbone provenant de toutes les cellules. Celui-ci est transporté sous trois formes par le sang :

- une faible partie se combine avec l'hémoglobine ;
- une autre se dissout directement dans le plasma ;
- la plus grande partie est transportée sous forme de composés dissous dans le plasma (hydrogénocarbonates)



H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> : acide carbonique ; Napr : sels que les protéines du plasma forment avec le sodium ;

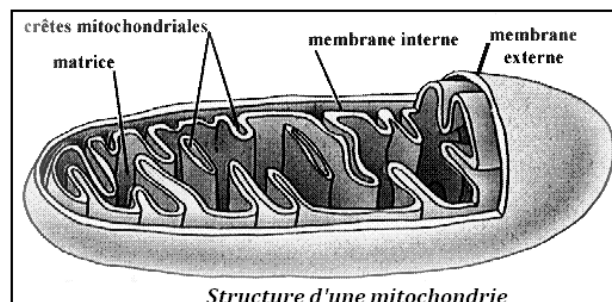
NaHCO<sub>3</sub> : bicarbonate de sodium ; KHCO<sub>3</sub> : bicarbonate de potassium ;

HbH : hémoglobine sous sa forme acide ; HbK : hémoglobine de potassium.

## III- Oxydations cellulaires

### A. Localisation

En utilisant un dispositif d'expérimentation assisté par ordinateur, il est possible de mettre en évidence une absorption d'oxygène et la consommation d'un métabolite par des **mitochondries isolées**. Ces organites réalisent donc bien les réactions caractéristiques de la respiration cellulaire.



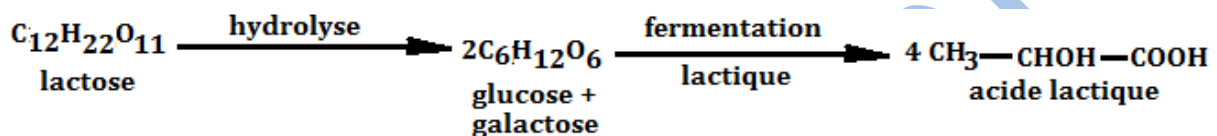


Dans ce cas, les levures tirent du substrat l'**énergie** nécessaire à leur croissance et à leur multiplication non plus par **respiration** mais par **fermentation**. En effet,

- dans un milieu convenablement oxygéné (mode de vie **aérobie**), les levures **respirent**, c'est-à-dire qu'elles oxydent totalement le glucose en eau et dioxyde de carbone ;
- en l'absence d'oxygène (mode de vie **anaérobie**), les levures **fermentent** le glucose en produisant de l'éthanol et du dioxyde de carbone.

## 2. Fermentation lactique.

Du lait frais, non stérilisé, abandonné à la température ambiante va plus ou moins rapidement « tourner », c'est-à-dire coaguler à la suite d'une acidification facile à constater en goûtant du lait caillé. L'acidification est due à l'action de **bactéries** qui transforment le lactose, sucre du lait, en acide lactique au cours d'une oxydo-réduction sans dégagement gazeux ; les sucres en C<sub>6</sub> résultant de l'hydrolyse du lactose sont scindés en deux tronçons tricarbonés.



Lorsque le pH du lait atteint une valeur proche de **5**, il y a **floculation des caséines** qui sont des protéines du lait. Elles forment alors un gel homogène piégeant dans les mailles d'un réseau tridimensionnel la totalité de la matière grasse et de la phase aqueuse.

Cette réaction est réalisée industriellement pour la fabrication des yaourts en utilisant des souches sélectionnées de **bactéries lactiques** :

- des **bacilles lactiques**, en forme de « gélule », que l'on peut observer tant au microscope optique qu'au microscope électronique.
- des **streptocoques**, bactéries sphériques disposées en chaînettes.

Les bactéries lactiques interviennent également dans la fabrication des fromages.

## B. Caractères généraux des fermentations.

- Toute fermentation est caractérisée par la présence de **molécules organiques** (éthanol, acide éthanóïque, acide lactique, acide butyrique...) parmi les « **déchets** » de la vie des cellules qui en sont responsables.
- Les « déchets organiques » des fermentations sont une **source d'énergie chimique potentielle** ; ils peuvent par exemple être utilisés comme métabolites par d'autres microorganismes qui leur font subir une oxydation plus poussée.
- Parmi les agents de fermentations, certains sont **aérobies**, d'autres **anaérobies** :
  - de nombreuses fermentations se font en l'absence d'oxygène moléculaire, ou, du moins, sans utilisation de celui-ci par les microorganismes (fermentations lactique, butyrique, alcoolique... ) ;
  - d'autres fermentations, plus rares, nécessitent la présence d'oxygène moléculaire dans le milieu (fermentation acétique).

## V- Comparaisons.

Pour tout organisme vivant, le maintien de la vie est impérativement lié à une dépense d'énergie. Dans le cas des végétaux chlorophylliens, cette énergie est initialement puisée dans l'énergie lumineuse au cours de la **photosynthèse**. Dans un second cas elle est obtenue par transfert de l'énergie chimique contenue dans les molécules organiques synthétisées.

Ce transfert se réalise au cours des processus de **respiration** et de **fermentation**.

Chez les êtres hétérotrophes, les molécules organiques constituent la seule source d'énergie. Au cours de la respiration, les métabolites sont totalement oxydés dans les cellules.

En revanche, au cours des fermentations, leur dégradation est incomplète et, si une partie de leur énergie est libérée, la majeure partie se retrouve dans les déchets. La comparaison est aisée dans le cas de la levure de bière qui, selon les conditions de vie où elle est placée, utilise l'un ou l'autre des deux modes de libération d'énergie.

Dans le cas de la respiration, la libération de l'énergie potentielle contenue dans la molécule de glucose est totale (soit 2860 kJ) puisque les déchets,  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , ont une énergie potentielle nulle.

Dans le cas de la fermentation, l'éthanol est encore riche en énergie : cela signifie que les cellules n'ont extrait qu'une petite fraction de l'énergie totale contenue dans la molécule de glucose (soit 140 kJ). Ainsi, pour accomplir le même travail, la cellule qui fermente consomme beaucoup plus de « combustible », par unité de temps et par unité de masse, que lors de la respiration.

[www.ipn.mr](http://www.ipn.mr)

## Bilan

Les **échanges gazeux respiratoires** se résument en un rejet de dioxyde de carbone et une absorption d'oxygène.

L'**intensité respiratoire** est le volume d'oxygène absorbé ou de dioxyde de carbone rejeté par unité de temps et par unité de masse.

Le **quotient respiratoire (QR)** est le rapport  $= \frac{\text{Volume de dioxyde de carbone rejeté}}{\text{Volume d'oxygène absorbé}}$

C'est essentiellement l'hémoglobine, pigment rouge contenu dans les hématies (globules rouges), qui assure le transport du dioxygène du poumon vers les tissus (**oxyhémoglobine**). Le dioxyde de carbone est surtout transporté sous forme de composés dissous dans le plasma, les **hydrogénocarbonates**, des tissus vers le poumon.

Les cellules hétérotrophes résolvent le problème du renouvellement de l'ATP en extrayant l'énergie chimique potentielle emmagasinée dans des aliments organiques. Cette dégradation peut être réalisée selon deux types de mécanismes métaboliques :

-La **respiration**, qui dégrade totalement le substrat.

-La **fermentation**, qui ne réalise qu'une dégradation très partielle, et qui n'extrait donc qu'une petite partie de l'énergie potentielle du substrat.

Dans les deux cas, l'énergie extraite est investie partiellement en ATP, le reste étant dissipé sous forme de chaleur.

Les deux phénomènes débutent par la **glycolyse** qui est réalisée dans le hyaloplasme. Dans le cas de la respiration, la dégradation des métabolites se poursuit dans les **mitochondries**.

## Exercices

### Exercice 1

Chez l'Homme, d'après Schaeffer, on obtient les valeurs suivantes d' $I_R$  et de  $Q_R$  en fonction de l'activité du sujet ( $I_R$  en  $\text{cm}^3$ ,  $\text{O}_2$  absorbé par minute par le sujet) :

	$I_R$	$Q_R$
sujet couché	243	0,83
sujet effectuant un travail musculaire modéré	1834	0,94
sujet effectuant un travail musculaire intense	2265	0,98

1. Quel phénomène est à l'origine de l'énergie musculaire ?
2. Quel est le type d'aliment énergétique utilisé par les cellules musculaires ?

### Exercice 2

Du lait, abandonné à l'air, « tourne ».

1. Pourquoi fait-on bouillir le lait? Qu'est-ce que le lait pasteurisé?
2. Comment peut-on simplement fabriquer des yaourts à la maison ?

L'amidon n'est pas fermentescible. Or, la farine, obtenue par broyage des grains de Blé, est le substrat de la fermentation alcoolique lors de la panification, l'orge germé (ou malt) celui de la même fermentation en « malterie » (fabrication de la bière).

3. Comment l'amidon de ces céréales est-il alors utilisé ?

# CHAPITRE V: Alimentation rationnelle de l'homme.

## I- Besoins qualitatifs

### A. Aliments bâtisseurs

#### 1. Eau et sels minéraux

Une partie de l'eau nécessaire se trouve contenue dans les divers aliments composés; le complément est fourni sous forme de boissons. L'eau intervient comme constituant de tous les tissus, du sang, de la lymphe, c'est donc, de ce fait, un aliment à rôle plastique (bâtisseur); l'eau est également le véhicule d'entrée des aliments et celui de sortie des déchets; même les échanges gazeux ne peuvent se faire sans elle, c'est donc, à ce titre, un aliment fonctionnel.

Les substances minérales présentes dans la constitution d'un organisme sont excessivement variées. On peut en distinguer deux catégories principales dont les fonctions sont très différentes :

\* certains éléments minéraux sont des **constituants essentiels** des tissus ; le besoin en ces éléments se situe entre le milligramme et le gramme par jour. Ce sont par exemple le calcium, le potassium, le phosphore, le magnésium et le fer.

\* d'autres éléments n'interviennent qu'à doses très faibles : ce sont les **oligoéléments**. C'est le cas notamment :

- de l'iode dont les besoins journaliers sont d'environ 50 µg ; il entre dans la constitution des hormones thyroïdiennes ;

- du fluor qui participe à la constitution de l'émail des dents ;

- du manganèse dont on trouve des traces dans le thé par exemple, et dont la carence entraîne un défaut de croissance des os longs.

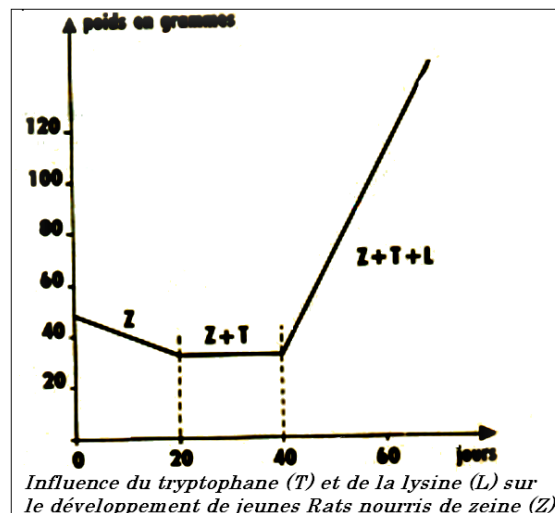
Une alimentation variée couvre largement la grande variété de ces besoins en éléments minéraux.

#### 2. Les protides

Les protides sont surtout des aliments à rôle plastique (bâtisseur), permettant la production de nouvelle matière vivante, au cours de la croissance et aussi pour la réparation constante de l'usure ; ils interviennent également dans la production d'énergie. Parmi ces protides doivent se trouver ceux qui renferment les acides aminés indispensables. Dans les pays où l'on souffre de la faim, une alimentation insuffisante entraîne la mort de 30% des enfants de moins de 5ans. Les troubles constatés sont la conséquence non seulement d'une **sous-nutrition** (ration alimentaire quantitativement insuffisante) mais aussi d'une **malnutrition** (carence en **protéines** notamment). L'étude des maladies dues à ces insuffisances, complétée par des expériences réalisées chez des animaux, a fait prendre conscience de la notion d'**acides aminés indispensables**.

#### Une expérience d'Osborne et Mendel :

Des lots identiques de jeunes rats reçoivent une ration alimentaire en protides quantitativement suffisante mais de composition en acides aminés différente. Le lot n°1 reçoit un mélange de différentes protéines ; la croissance des rats est normale, les autres reçoivent, comme seule source de protides, soit de la zéine extraite des graines de maïs, soit de la caséine extraite du lait, soit de la gliadine extraite du blé (graphe). Par la suite, la ration alimentaire est éventuellement complétée par l'adjonction de lysine et de tryptophane (qui sont des acides aminés).



### Des expériences récentes.

Des chercheurs ont obtenu une croissance normale de rats en remplaçant les protéines alimentaires par un mélange en proportion convenable des dix acides aminés indiqués dans le tableau suivant :

Rat	Homme
Valine	Valine
Leucine	Leucine
Isoleucine	Isoleucine
Phénylalanine	Phénylalanine
Tryptophane	Tryptophane
Histidine	Thréonine
Thréonine	Lysine
Arginine	Méthionine
Lysine	
Méthionine	

L'absence ou l'insuffisance de l'un d'entre eux entraîne obligatoirement une perturbation dans le développement de l'animal. Il s'agit des **acides aminés indispensables** que l'organisme est incapable de synthétiser. Des travaux récents montrent que sur les vingt acides aminés qui constituent les protéines de l'homme, huit ne peuvent être synthétisés et doivent donc obligatoirement se trouver dans son alimentation. Deux autres acides aminés, l'arginine et l'histidine, peuvent être synthétisés dans les tissus mais en quantité insuffisante pour satisfaire aux besoins des jeunes en période de croissance. L'alimentation doit donc en apporter.

## B. Aliments énergétiques

### 1. Glucides

Le glucose est la principale source d'énergie de cellules et les glucides sont donc surtout des aliments énergétiques ; ils entrent aussi dans la constitution des cellules. Les besoins journaliers sont estimés à 400-500 g par jour, avec un minimum de 2 g par kg de masse corporelle.

Une carence en glucides provoque une mauvaise utilisation des protéines et une acidification du sang. Celui-ci a normalement un pH relativement constant voisin de 7,4. En dessous d'un pH d'environ 7,3 de graves troubles apparaissent en particulier des perturbations respiratoires.

Une surcharge importante en glucides provoque, à long terme, des caries dentaires, un surmenage du foie et du pancréas conduisant au diabète et à l'obésité (les glucides sont alors convertis en lipides). Les glucides sont également indispensables pour une autre raison : les légumes, les fruits et les céréales sont riches en fibres végétales constituée essentiellement de cellulose et de lignine. Ces fibres, non digestibles, sont indispensables au bon fonctionnement des intestins.

### 2. Lipides

Les lipides ont un rôle plastique important, ils interviennent dans la constitution des membranes cellulaires, des gaines des neurones, des hormones sexuelles, etc. Ce sont aussi des aliments énergétiques. Les besoins minimaux sont estimés à 40 g/jour.

Certains acides gras ne sont pas fabriqués par l'organisme : ce sont donc des acides gras indispensables. Une carence importante en acides gras insaturés (acides linoléique, linoléique et arachidonique) entraîne un blocage de la croissance chez les jeunes, des lésions cutanées et rénales ainsi qu'une altération de la sexualité. Ces acides gras insaturés sont présents surtout dans les huiles végétales (Tournesol, Maïs, Soja) et les margarines, les besoins sont de 3 g/jour.

Le cholestérol est apporté uniquement par les lipides d'origine animale. Il est synthétisé par l'organisme humain, à raison de 1 g par jour, notamment dans le foie. Il est indispensable pour la synthèse de molécules comme certaines hormones sexuelles ; mais un taux excessif est souvent la cause de maladies cardio-vasculaires (maladies coronaires, athérosclérose). Les lipides alimentaires constituent aussi les seules sources de vitamines liposolubles.

### C. Les vitamines

Les vitamines sont des substances organiques que l'organisme ne peut synthétiser. Elles sont :

- nécessaires à son fonctionnement et à sa croissance,
- efficaces à très faible dose,
- dépourvues de valeur calorique,
- présentes en très faible quantité dans les aliments.

L'absence totale de vitamines ou leur présence en quantité insuffisante dans l'alimentation est responsable de **maladies par carence ou avitaminoses**. Dans cette maladie des yeux (la xérophtalmie), le dessèchement de la surface cornéenne favorise les ulcérations et peut entraîner la cécité. Les vitamines sont le plus souvent des **cofacteurs de réactions enzymatiques** mais leur lieu d'intervention au niveau moléculaire est encore, pour la plupart, mal connu. Le tableau ci-dessous présente les principales vitamines. Certaines sont solubles dans les lipides (vitamines A, D, E...); d'autres sont solubles dans l'eau (vitamines B, C, PP...).

	Dénomination	Conséquence de la carence	Rôle dans l'organisme	Besoins	Principales sources
VITAMINES LIPOSOLUBLES	Vitamine A (rétinol)	* Baisse de la vision crépusculaire *perte de poids, arrêt de croissance *troubles de l'édification osseuse chez l'enfant *lésions de la cornée (xérophtalmie)	*formation du poupre rétinien *croissance *développement normal des tissus	0,75 mg/24 h	Lait, œuf, foie d'animaux, carottes (sous forme de provitamine A)
	Vitamine D (calciférol)	Rachitisme	Métabolisme du phosphore et du calcium	0,01 mg/24 h	Beurre, œufs, foie, poisson gras
	Vitamine E (tocophérol)	Troubles de la fonction de reproduction		10 à 25 mg/24 h	Huiles d'origine végétale, œufs, lait
	Vitamine K	Hémorragies	Synthèse de la prothrombine (facteur essentiel de la coagulation du sang)	4 mg/24 h	Légumes verts, peau d'orange, foie, œufs
VITAMINES HYDROSOLUBLES	Vitamine C (acide ascorbique)	Scorbut	Métabolisme cellulaire	30 à 60 mg/24 h	Fruits, crudité
	Vitamine B <sub>1</sub> (thiamine)	Béribéri	Respiration cellulaire (décarboxylation)	1,3 mg/24 h	Légumes secs, céréales, viande, lait, œufs
	Vitamine B <sub>2</sub> (riboflavine)	*dermatoses *lésions oculaires	Respiration cellulaire	1,5 à 2 mg/24 h	Levure, céréales, lait, foie, œufs, viande
	Vitamine B <sub>12</sub> (cyanocobalamine)	*mauvaise croissance de l'enfant *anémie	*croissance *formation des globules rouges	0,001 à 0,002 mg/24 h	Abats (foie, rein), viande
	Vitamine PP (nicotinamide)	pellagre	Respiration cellulaire	15 à 20 mg/24 h	Légumes secs, viande, abats, poisson

## II- Besoins quantitatifs.

### A. Calorimétries

Les aliments sont la source de l'énergie nécessaire à l'organisme ; cette énergie est libérée au cours des transformations, des dégradations qui amènent les molécules organiques à l'état d'eau, de dioxyde de carbone et d'urée. L'énergie apportée par l'alimentation doit compenser les dépenses quotidiennes qu'il nous appartient maintenant d'évaluer.

#### - Calorimétrie directe.

Pour les animaux de petite taille (lapin, cobaye...), les physiologistes utilisent des calorimètres spéciaux. Pour l'homme, ils ont mis au point des chambres calorimétriques étanches à parois isolantes : chambre de Lefèvre et chambre d'Atwater et Benedict (figure ci-contre).

Dans cette dernière, la **chaleur sensible** perdue par le sujet est recueillie par un radiateur à ailettes dans lequel circule de l'eau froide. Un dispositif automatique permet de régler le débit de cette eau de façon que la température de la chambre demeure constante. Connaissant la masse d'eau  $M$  kg qui a circulé (compteur) et l'échauffement  $t_2 - t_1$  de cette eau (thermomètre), on peut calculer la déperdition  $S$  de chaleur sensible :

$$S = 1 \text{ kcal} \times M (t_2 - t_1).$$

Le renouvellement de l'atmosphère de la chambre est assuré par un circuit comprenant une pompe, un dispositif d'alimentation en oxygène (gazomètre) et un dispositif de fixation de dioxyde de carbone (flacon à potasse). Un flacon à acide sulfurique, placé sur le même circuit, permet de retenir la vapeur d'eau émise par le sujet et, par suite, d'évaluer la déperdition de **chaleur latente** : si la masse du flacon s'est accrue de  $m$  grammes, et si l'atmosphère de la chambre est à  $15^\circ\text{C}$ , (à  $15^\circ\text{C}$ , l'évaporation de 1 l d'eau absorbe 580 kcal), cette déperdition est de :

$$L = 0,58 \text{ kcal} \times m.$$

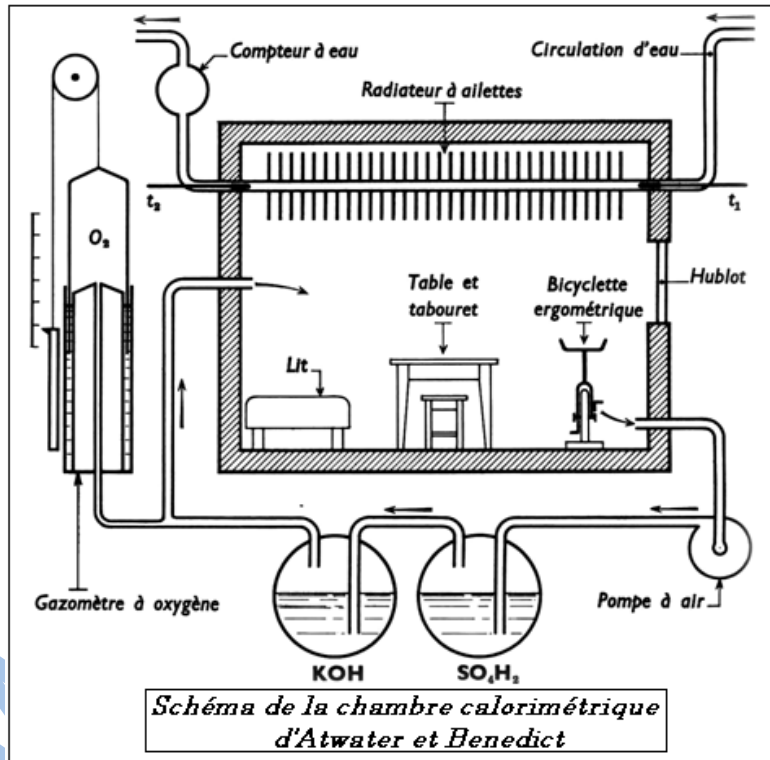
Dans la chambre calorimétrique, le sujet dispose d'une table et d'une chaise, d'un lit de repos, ainsi que d'une bicyclette ergométrique à résistance réglable permettant d'enregistrer, s'il y a lieu, le travail mécanique effectué.

Vers  $18^\circ\text{C}$ , un homme adulte de 70 kg, au repos relatif, cède au milieu ambiant **2 300 kcal en 24 heures** (soit près de 100 kcal à l'heure) se répartissant ainsi :

1 800 kcal de chaleur sensible et 500 kcal de chaleur latente.

La déperdition varie suivant les espèces animales. Au sein d'une même espèce, elle est inversement proportionnelle à la taille (loi des tailles). Rapportée à l'unité de surface corporelle, elle est du même ordre de grandeur chez tous les homéothermes (loi des surfaces).

La déperdition varie également suivant la température extérieure. Si la température s'élève, la déperdition totale diminue et présente vers  $25^\circ\text{C}$  un minimum correspondant, chez l'homme au repos, à 1 500 kcal.



Ce nombre mesure l'énergie physiologique minimale ou **métabolisme basal**.

Quant à la température de 25°C, elle représente la neutralité thermique, température pour laquelle l'organisme ne lutte ni contre le chaud ni contre le froid.

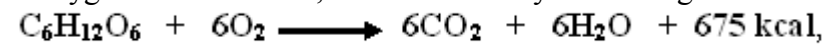
A cette dépense de fond, inévitable et irréductible, s'ajoute une dépense de fonctionnement qui assure, suivant les cas, le travail musculaire, le travail intellectuel, le travail digestif, la lutte contre le refroidissement ou contre l'échauffement, la croissance, la gestation ou la sécrétion lactée.

C'est principalement le travail musculaire qui, par l'énergie mécanique développée et par la chaleur perdue, entraîne une dépense élevée.

#### - **Calorimétrie indirecte.**

L'évaluation de la production d'énergie peut être faite par le calcul de la valeur énergétique des aliments ingérés : c'est la **calorimétrie alimentaire** (1 g de glucides fournit 4 calories ; 1 g de protides 4 calories et 1 g de lipides 9 calories).

Mais cette méthode est imprécise, car il n'est pas certain que tous les aliments digérés soient oxydés. La **calorimétrie respiratoire**, plus rapide et plus sûre, comporte la mesure du volume d'oxygène utilisé. Ainsi, la réaction d'oxydation du glucose :



montre que l'utilisation de 1 l d'oxygène entraîne la libération de :

$$\frac{675}{6 \times 22,4} = 5 \text{ kcal environ}$$

On dit que le **coefficient thermique** de l'oxygène pour les glucides est de 5 kcal.

Pour les lipides, ce coefficient est de 4,7 kcal. Pour les protides, il est de 4,5 kcal.

Pour une alimentation mixte, normalement équilibrée, il est de 4,83 kcal. La quantité de chaleur produite par l'organisme peut ainsi être évaluée aisément : il suffit de déterminer le volume (en litre) de l'oxygène utilisé et de multiplier le nombre obtenu par 4,83.

La quantité de chaleur produite (évaluée par calorimétrie indirecte) est égale, aux erreurs d'expériences près, à la quantité de chaleur produite (évaluée par calorimétrie directe).

De cette constatation, nous pouvons tirer deux conclusions importantes :

\* Au point de vue théorique, il est prouvé que le principe de la conservation de l'énergie s'applique aux êtres vivants.

\* Au point de vue pratique, rien ne s'oppose à ce que l'on abandonne les mesures délicates, longues et coûteuses, de la calorimétrie directe pour celles, simples et rapides, de la calorimétrie respiratoire.

#### **B. Métabolisme basal**

La recherche de la limite inférieure de dépenses énergétiques conduit à annuler momentanément les dépenses liées au travail musculaire, à la régulation thermique, au travail digestif, dépenses que l'on peut dans l'ensemble qualifier de contingentes.

- On annulera le travail musculaire en mettant le sujet à l'état de repos complet.

- On annulera le travail de régulation thermique en le plaçant dans les conditions de neutralité thermique.

- On annulera le travail digestif en faisant la mesure sur un sujet à jeun.

Cette dépense énergétique est liée aux travaux physiologiques jamais interrompus, travail du cœur, des muscles respiratoires, maintien du tonus musculaire, évaporation pulmonaire, échauffement de l'air inspiré, fonctionnement des centres nerveux et des glandes. Pendant le sommeil, la dépense est un peu moindre par suite du relâchement du tonus musculaire.

Les travaux énumérés ci-dessus constituent les dépenses de fond, le métabolisme basal, le travail physiologique minimal, de nécessité absolue, caractéristique du fonctionnement de l'organisme. Une variation de ce métabolisme basal est généralement le signe d'un désordre organique.

Afin de pouvoir comparer plus aisément, et de dégager par exemple le supplément de dépense nécessaire par la croissance, on rapporte la dépense énergétique à la surface corporelle, ce qui donne des résultats plus homogènes que si on la rapportait au poids.

La définition du métabolisme basal est alors la suivante :

Quantité de chaleur produite, en une heure, par m<sup>2</sup> de surface corporelle, par un homéotherme à jeun depuis 12 h, au repos complet, et à la température de neutralité thermique.

### III- Alimentation équilibrée.

#### A. Notion de ration alimentaire

Une alimentation rationnelle doit satisfaire les besoins de l'organisme, tout en ménageant les organes digestifs (estomac, intestin) et les organes excréteurs (foie, rein).

La ration dépend de l'âge, du sexe, de l'état physiologique et de l'activité du sujet ; elle varie également suivant les saisons et les climats.

La ration d'entretien est valable pour un homme adulte en bonne santé, au repos relatif (vie sédentaire), dans un milieu à température moyenne. Dans ces conditions, le poids du sujet doit demeurer constant. Pour un homme de 70 Kg, les besoins énergétiques sont de l'ordre de 2 300 kilocalories par jour. Ces besoins peuvent être satisfaits par :

70 g de protéides ————— 4 x 70 = 280 kcal :

50 g de lipides ————— 9 x 50 = 450 kcal ;

400 g de glucides ————— 4 x 400 = 1600 kcal.

Les **besoins matériels** sont satisfaits :

- si les protéines sont par moitié d'origine animale (viande, poisson, laitages et œufs) et d'origine végétale (céréales et dérivés, légumes secs). Une telle variété aiguise l'appétit, facilite la digestion et apporte une solution au problème de la supplémentation des protéines (acides aminés indispensables). Elle établit un équilibre entre les aliments à déchets acides (viande, dérivés des céréales) et les aliments à déchets alcalins (légumes, lait et fromage), équilibre nécessaire au maintien de la réaction acido-basique du sang.

- si les lipides sont par moitié d'origine animale (beurre surtout source de vitamines A et D) et d'origine végétale (huile et oléagineux, sources d'acides gras indispensables).

- si la ration comporte des légumes verts et des fruits frais (source de sels minéraux, vitamine C et de cellulose), du sel (ajouté aux aliments) et de l'eau (boissons).

Voici, à titre d'exemple, une ration-type exprimée en grammes par 24 heures (d'après R. Lalanne) :

Lait :	200
Légumes cuits	500-800
Sucre :	10-20
Légumes crus	100-150
Pain :	400-600
Fromage	30-50
Viande, poisson, œufs	80-100
Confiture	25
Beurre, huile, graisse	30-50
Fruits :	100-200
Pâtes :	30-50

## **B. Types de rations alimentaires**

### **1. La ration en fonction de l'âge.**

1° *L'enfant et l'adolescent : la ration de croissance.*

La ration de l'enfant doit être, compte tenu de son poids, plus riche que celle de l'adulte en protides (d'origine animale surtout), en substances minérales et en vitamines.

Un léger complément d'aliments énergétique est également nécessaire car, par suite de sa petite taille, l'enfant subit une déperdition calorifique relativement plus élevée que celle de l'adulte (loi des surfaces).

Chez l'adolescent, les besoins en aliments plastiques et en vitamines sont encore élevés, si bien que l'alimentation d'un adolescent doit être plus copieuse que celle d'un adulte.

Pour éviter le surmenage digestif, la ration doit être composée d'aliments sains, faciles à digérer. Sont exclues de cette ration toutes les substances qui nuisent à l'acte digestif sans autre profit pour la santé : condiments, épices, alcool...

2° *Le vieillard.*

Alors que le bilan de l'adolescent marque une prédominance des entrées sur les sorties, c'est le contraire que l'on observe chez le vieillard. On pourrait donc supposer que, chez ce dernier, la ration doit être diminuée par rapport à celle de l'adulte. En fait, il n'en est rien car, le plus souvent, la vieillesse s'accompagne d'une diminution de l'activité des sucs digestifs et d'une réduction du pouvoir d'assimilation et d'utilisation des principes alimentaires. Aussi la ration de vieillesse ne doit-elle pas être inférieure à la ration d'entretien.

Le vieillard doit s'abstenir de tout excès alimentaire. Il doit éviter les aliments indigestes (fatigue de l'estomac et de l'intestin) et doit, pour ce qui concerne les protides, s'en tenir au minimum indispensable (fatigue du foie et du rein).

### **2. La ration en fonction du sexe.**

Normalement, les besoins nutritifs de la femme sont un peu inférieurs à ceux de l'homme ; mais ils augmentent considérablement à l'occasion de la grossesse et de l'allaitement.

Pendant la **grossesse**, la ration doit comporter un complément de protides, de phosphore et de calcium, de vitamines. Naturellement, ce complément doit être d'autant plus important que la grossesse est plus avancée

Pendant l'**allaitement**, cette ration doit encore être renforcée par un complément de glucides, et de lipides, destiné à compenser les pertes dues à la sécrétion lactée. Elle ne doit renfermer aucune substance nocive susceptible de passer dans le sang et, de là, dans le lait.

### **3. La ration en fonction de l'état de santé.**

Au cours d'une maladie, l'organisme est soumis à un jeûne partiel au cours duquel il détruit une partie de ses graisses de réserve et de ses protéines musculaires

Au cours de la convalescence, il faut donc fournir à l'organisme ainsi affaibli les matériaux qui lui sont nécessaires pour réparer ses pertes. D'où la nécessité d'un complément alimentaire fait de glucides, de protides animaux et de vitamines.

### **4. La ration en fonction de l'activité : la ration de travail.**

Le **travailleur intellectuel**, s'il mène une vie sédentaire, peut se contenter de la ration d'entretien.

Le **travailleur manuel**, au contraire, doit recevoir un complément énergétique correspondant au travail fourni. En plus de la ration d'entretien, la ration de travail doit comporter :

- un complément de glucides (féculents et sucres) et accessoirement de lipides, destiné à fournir les calories supplémentaires.

- un complément de protides animaux, destiné à réparer l'usure plus grande des tissus, du tissu musculaire principalement.
- un complément d'eau et sel, destiné à alimenter la sudation.

Chez les sujets qui fournissent un travail intense, la ration, nécessairement abondante, risque d'entraîner une fatigue excessive de l'appareil digestif ; aussi la ration du travailleur doit-elle renfermer des aliments de grande valeur nutritive, facilement digestibles et assimilables. Tels sont, parmi les glucides, le sucre, le miel, les confitures, les farines de céréales...

##### **5. La ration en fonction de la température extérieure.**

Si l'organisme **lutte contre le froid**, la ration peut être complétée par des lipides, dont la valeur énergétique est très grande, accessoirement par des protides et des glucides.

Si l'organisme **lutte contre le chaud**, la quantité de graisses peut être diminuée au profit des légumes verts et des fruits aqueux. Un complément d'eau et de sel est nécessaire pour alimenter la sudation.

www.ipn.mr

## Bilan

Les aliments simples n'ont pas tous la même fonction dans l'organisme ; certains sont surtout source d'énergie (**aliments énergétiques**), d'autres servent de matériaux de construction pour les différents organes (**aliments bâtisseurs ou plastiques**), d'autres enfin ont un **rôle fonctionnel** (rôle catalyseur, rôle protecteur contre certaines maladies nutritionnelles assuré par les vitamines ou les sels minéraux. Pour qu'une ration respecte les besoins quantitatifs, il faut que l'apport alimentaire permette de contrebalancer les pertes matérielles et énergétiques de l'organisme.

Pour définir les règles d'une alimentation rationnelle, il est nécessaire de veiller à la satisfaction des besoins non seulement sur le plan énergétique mais aussi sur le plan **qualitatif**. Pour fournir toutes les substances utiles en quantité suffisante et équilibrée, les rations alimentaires doivent comporter des aliments variés. Les nutritionnistes élaborent des propositions selon la situation physiologique du moment (âge, grossesse, activité physique, ...) et selon les habitudes alimentaires locales.

Un sujet a besoin d'un minimum d'énergie pour assurer le maintien des fonctions essentielles de la vie. Ce minimum énergétique représente le **métabolisme basal ou de base**.

La dépense énergétique minimum est évaluée en mesurant la consommation d'oxygène d'un sujet **à jeun, au repos** et allongé, à **neutralité thermique**. Dans ces conditions, la dépense est incompressible ; elle est en moyenne de **6 700kJ** (= 1 600kcal) par 24 heures pour un adulte de 70 kg.

## Exercices

### Exercice 1

Afin d'étudier la malnutrition dans un pays du Tiers monde, on a estimé la valeur moyenne de la ration alimentaire type d'un jeune adolescent. Les résultats suivants concernent la totalité des aliments consommés :

Par 24 heures : 200 g de mil (sorgho), 180 g de maïs (céréales) ; 400 g de manioc (tubercule).

Les compositions moyennes de ces trois aliments sont les suivantes, pour 100 g :

ALIMENTS	PROTIDES	LIPIDES	GLUCIDES
Mil	10,1 g	3,5g	74g
Maïs	9,8g	4,3g	73g
Manioc	0,5g	0,1 g	18g

1. Établissez le bilan de cette ration alimentaire au point de vue protidique, lipidique, glucidique.

2. Est-elle suffisante au point de vue énergétique ? Est-elle équilibrée ? (Il s'agit d'un jeune garçon de 13 ans.)

La ration indiquée étant responsable de graves troubles (insuffisance pondérale, œdème, troubles intestinaux...), on a procédé à des essais en laboratoire pour estimer les possibilités d'amélioration de l'alimentation humaine dans ce pays. Ces essais sont réalisés sur trois groupes de jeunes Rats, nourris exclusivement avec les aliments indiqués. Certains reçoivent des compléments de nourriture (ci-dessous) :

ALIMENT DE BASE		COMPLEMENT	GAIN DE POIDS EN 58 JOURS (en g)
<b>1<sup>er</sup> groupe</b>	Mil	néant	14,5
	Mil	Arachide : 10 %	97
	Mil	Arachide : 15 % + poisson : 10 %	159
<b>2<sup>e</sup> groupe</b>	Maïs	Néant	15,5
	Maïs	Arachide : 15 % + poisson : 3 %	151
<b>3<sup>e</sup> groupe</b>	Manioc	Néant	tous les Rats meurent
	Manioc	Arachide : 15 % + poisson : 3 %	103

3. Comment faut-il choisir les Rats pour que l'expérience soit valable ?

4. Quelles hypothèses peut-on avancer pour expliquer les résultats de cette expérience ?

On étudie ensuite la composition de l'aliment à base d'arachide fournie aux Rats. Il s'agit de farine d'arachide, produit de déchet obtenu après extraction de l'huile. Pour 100 g de cette farine, on trouve 50 g de protides, 0,5 g de lipides, 30 g de glucides. D'autres mesures ont montré par ailleurs que la ration en mil ou en maïs était suffisante au point de vue énergétique.

5. En quoi ces résultats vous permettent-ils de rejeter, modifier ou confirmer les hypothèses avancées précédemment ?

On analyse alors la composition en acides aminés des protides du mil et on se rend compte qu'il contient très peu de lysine (2 g/100 g de protides) ; on ajoute alors 0,6% de lysine pure aux Rats du groupe 1 ne mangeant que du mil; on constate une croissance pondérale de 100 g en 58 jours.

6. Quelle est l'hypothèse mise à l'épreuve par cette expérience ?

7. Quelle conclusion donnez-vous ?

La farine d'Arachide utilisée est assez riche en lysine : 3,6 g/100 g de protides. De même, la farine de poisson contient 8,5 g de lysine/100 g de protides.

8. Quelle interprétation pouvez-vous alors donner des résultats obtenus avec les trois groupes de Rats?

Afin d'appliquer ces résultats à l'Homme, on a calculé que pour un adolescent, la ration alimentaire journalière devait apporter 3 g de lysine pour être équilibrée. On fournit donc à de jeunes adolescents :

150 g de mil, 140 g de maïs, 300 g de manioc, 80 g de farine d'arachide, 20 g de farine de poisson.

9. En admettant que le maïs fournit la même quantité de lysine que le mil et que le manioc en fournit une quantité négligeable, la ration proposée pour améliorer la nutrition de ces adolescents est-elle suffisante, en ce qui concerne la lysine pour permettre la disparition des troubles ?

## Exercice 2

1. Dans le texte ci-dessous, retrouvez toutes les étapes d'une démarche expérimentale : observations, hypothèses, implications vérifiables, expériences, résultats, conclusion.

2. Si l'une ou l'autre de ces étapes est implicite, écrivez-la en toutes lettres à l'endroit voulu.

\* Le mot « conclusion » marqué d'un \* est-il bien utilisé ici ?

**Les déboires d'un éleveur de l'Ohio :** Malgré l'application de tous les principes scientifiques les plus récents concernant la volaille, les porcs et les vaches laitières, je ne pus arriver à de meilleurs résultats que la plupart de mes voisins. Un taux élevé de mortalité m'obligea à renoncer à l'élevage des poulets puis à celui des porcs. Dans le troupeau laitier, une mortalité élevée des jeunes veaux et des troubles chez les vaches laitières nous détermina à bâtir une étable moderne, bien éclairée, bien aérée, avec un double revêtement d'enduit sur les murs intérieurs. Tous les murs des 16 stalles pour veaux avaient reçu un premier revêtement d'enduit grossier quand il fallut les utiliser: Dans 6 stalles seulement, cet enduit avait été recouvert d'une couche d'enduit fini... Mais nos déboires avec les veaux restèrent les mêmes : ils continuaient à périr avec les mêmes symptômes que précédemment... Des remèdes de toutes sortes furent essayés : sulfamide, vitamines, sérums et vaccins, modifications de la formule du lait, nourriture spéciale aux mères avant la naissance. Tout cela fut essayé, sans amener aucun changement dans les résultats... Cependant, on ne tarda pas à remarquer que les veaux mettaient sérieusement à mal les murs des 6 stalles terminées... Pour comprendre ce fait (les parois revêtues seulement de l'enduit grossier n'avaient pas été touchées) on rechercha la composition de l'enduit :

— carbonate de calcium : 53,94%

— carbonate de magnésium : 45,47%

— autres éléments : 0,59%

En outre, des examens complets du sol de tous nos champs furent faits :

— pH : 6,36

— azote (en mg par kg) : 38

— phosphore 70

— potassium 180

— magnésium : presque rien.

L'étude de ces faits me conduisit à une seule conclusion\* : l'élément magnésium... Tous les veaux de notre étable furent alors nourris avec du lait additionné de magnésium. Après deux semaines, nous notâmes un changement considérable dans la mortalité des veaux : celle-ci diminua, les veaux survivants devinrent plus alertés, les nouveau-nés guérirent rapidement, quand ils commencèrent à prendre du lait... Les dix stalles non terminées reçurent le revêtement d'enduit fini et, jusqu'à présent, on ne peut y voir aucune trace de morsure.

# Chapitre VI : L'information génétique et sa transmission.

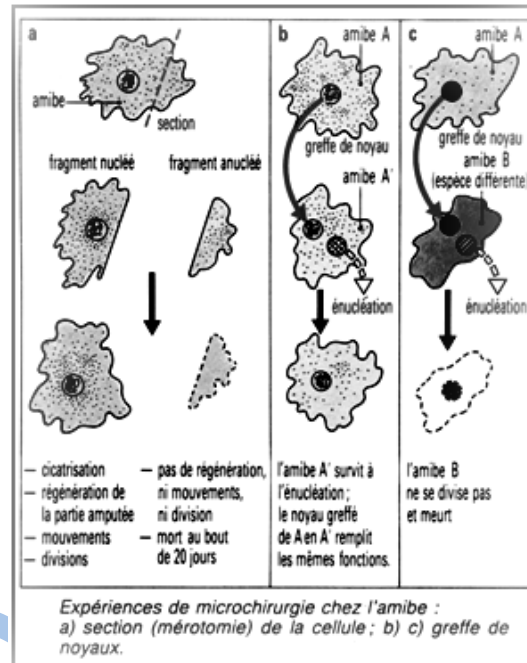
## I. Notion d'information génétique

### A. Localisation

Une cellule amputée d'une partie de son volume cytoplasmique, mais qui conserve son noyau, peut synthétiser la partie manquante et ainsi se régénérer ; cette cellule peut se diviser, c'est-à-dire se reproduire, ce qui prouve que toutes ses fonctions sont normales.

Une cellule anucléée (ou un fragment de cellule sans noyau) ne survit que quelques jours, sans pouvoir ni se régénérer, ni se diviser : le noyau est bien l'organite majeur de la vie cellulaire ; sans lui, les synthèses sont irréalisables.

La greffe, par transfert d'un noyau d'une cellule à une autre préalablement anucléée, permet la survie parfaite de la cellule receveuse. En réalité, une condition importante doit être remplie : la cellule donneuse (du noyau) et la cellule receveuse doivent être de la même espèce. Dans le cas contraire (figure ci-contre) la cellule, bien que complète, survit peu de temps et ne se divise pas. Donc, non seulement le noyau dirige le fonctionnement cellulaire, mais, surtout, il détient un « pouvoir » qui définit l'espèce et la distingue des autres : le *noyau contient l'information génétique d'une cellule*.



### B. Support de l'information génétique

#### 1. Chromosomes

La présentation de l'équipement chromosomique d'une cellule se fait en rangeant les chromosomes par taille décroissante. Le caryotype ainsi obtenu comporte un ensemble de **n** types différents de chromosomes qui constituent le lot de base du caryotype ou lot haploïde. Dans le cas de l'homme, des animaux et de la grande majorité des espèces végétales, le caryotype comprend deux lots haploïdes. Les cellules sont alors dites diploïdes car elles contiennent deux exemplaires de chaque type chromosomique. On dit qu'elles ont **2n** chromosomes.

En métaphase, chaque chromosome est formé de deux bâtonnets parallèles, les chromatides : celles-ci sont étroitement accolées au niveau du centromère, zone rétrécie qui sépare chaque chromatide en deux bras de longueurs égales ou inégales selon le chromosome considéré.

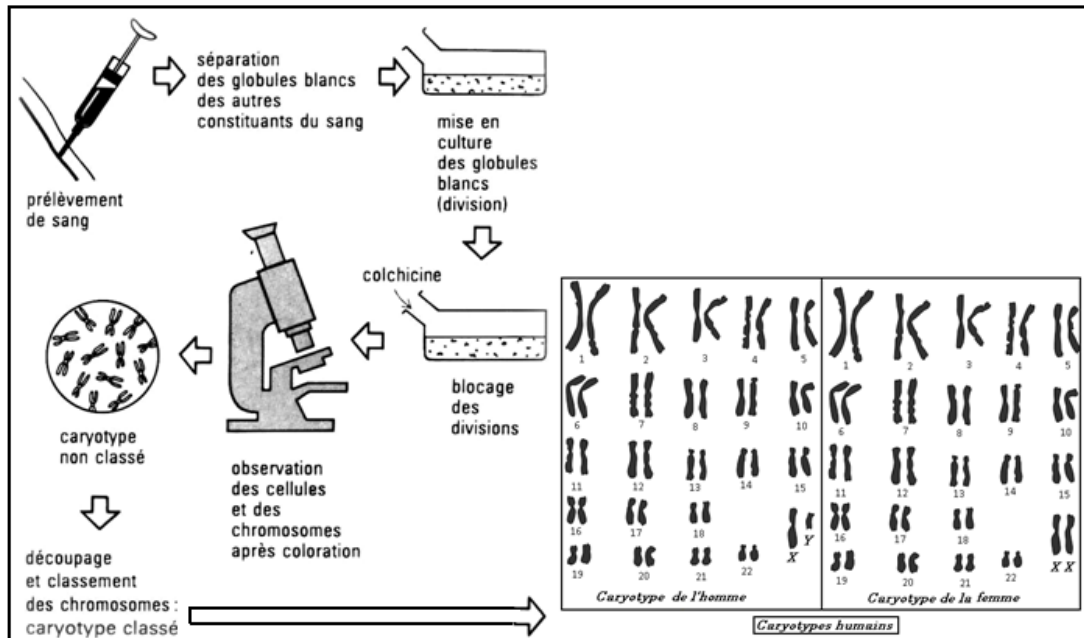
De nombreuses observations et expériences ont montré que chaque chromatide est formée d'une seule molécule d'ADN associée à des protéines, les histones. Au cours de la mitose, les deux chromatides de chaque chromosome se séparent de telle sorte que chaque cellule fille reçoit une chromatide de chaque chromosome.

La technique du caryotype permet l'observation de l'ensemble des chromosomes d'une cellule au moment où ils sont le mieux individualisés.

#### 2. Réaliser un caryotype

Cette technique consiste à prélever des cellules de l'organisme (en général des globules blancs sanguins chez un adulte, ou des cellules embryonnaires chez un fœtus) et de les mettre en culture en favorisant leurs divisions.

De la colchicine, ajoutée au milieu, bloque ces divisions lorsque ces chromosomes sont les mieux individualisés : chacun est constitué de 2 chromatides réunies au niveau d'un centromère. Les cellules sont alors colorées, les chromosomes microphotographiés, et on obtient un caryotype non classé : chaque chromosome est alors découpé, rangé selon des critères de taille, de forme....



### 3. ADN

#### a. Composition et structure

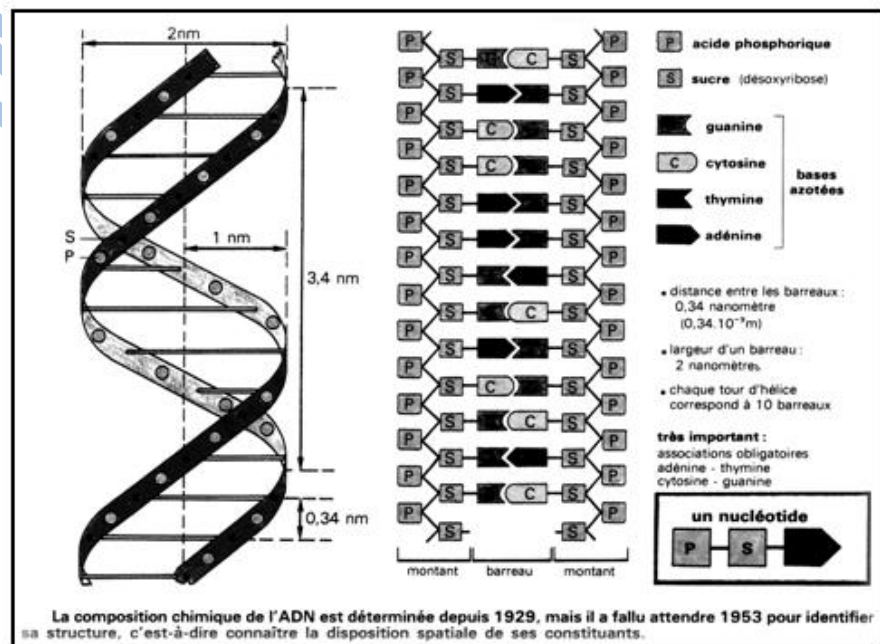
La molécule d'ADN est formée par deux chaînes de nucléotides enroulées en hélice.

Chaque nucléotide est constitué par

- une molécule d'acide phosphorique :  $H_3PO_4$
- un sucre, le désoxyribose :  $C_5H_{10}O_4$
- une base organique azotée (adénine, guanine, thymine ou cytosine).

Selon la nature de la base, il existe donc quatre nucléotides différents. Dans la chaîne de nucléotides, les liaisons chimiques « solides » (liaisons covalentes) réunissent l'acide phosphorique d'un nucléotide et le désoxyribose du nucléotide suivant.

Les deux chaînes de la molécule d'ADN sont reliées entre elles par des liaisons transversales plus fragiles (liaisons hydrogènes) établies



entre les bases de deux nucléotides placés face à face. La liaison entre les bases ne s'effectue pas de manière quelconque, car celles-ci sont complémentaires deux à deux :

- l'adénine ne peut se lier qu'avec la thymine.
- la guanine ne peut se lier qu'avec la cytosine.

Ainsi, « l'échelle » que constitue la molécule d'ADN comporte seulement quatre types de « barreaux : A-T, T-A, C-G, G-C.

Dans l'espace, en raison de contraintes de natures diverses existant entre les différentes parties de la molécule, l'échelle s'enroule en hélice.

L'information codée contenue dans l'ADN est transportée dans le cytoplasme par une molécule d'acide ribonucléique l'ARN messager (ou ARNm) dans laquelle l'ordre des nucléotides est déterminé par celui des nucléotides de la molécule d'ADN. On dit que l'ADN est transcrit en ARNm. Chaque triplet de bases de l'ADN est transcrit en un codon de l'ARNm.

L'ADN est le support universel de l'information génétique chez les être vivants. Longtemps ignorée, la structure de cette molécule est connue depuis 1953 grâce aux travaux de Watson et Crick : l'ADN est formé par deux « brins » ou chaînes de nucléotides, molécules élémentaires constituées par l'assemblage d'acide phosphorique, de désoxyribose et d'une base azotée parmi quatre possibles : adénine (A), thymine (T), cytosine (C) et guanine (G). Le modèle proposé par Watson et Crick permet de rendre compte de deux propriétés fondamentales de l'ADN :

- il est le support d'une information génétique ;
- il est capable de s'autoreproduire pour transmettre cette information de génération en génération.

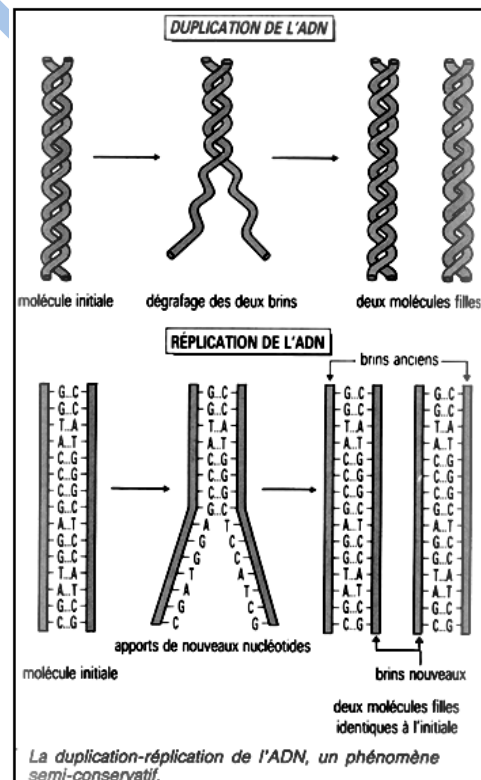
La première propriété dépend de l'ordre ou séquence des nucléotides le long de la chaîne : l'information génétique est donc « écrite » à l'aide d'un alphabet à 4 lettres (A, T, C, G).

## b. Duplication de l'ADN

L'autoreproduction qui conserve la séquence de chaque brin a pour fondement la complémentarité entre les bases des deux chaînes : une thymine d'un brin se trouve toujours liée à une adénine de l'autre brin et à une cytosine correspond toujours une guanine.

De nombreuses expériences ont montré que la « reproduction » de l'ADN, appelée scientifiquement **réplication**, se fait selon un **mode semi-conservatif** : un brin de la molécule mère est conservé dans chacune des deux molécules filles et, par le jeu de la complémentarité des bases, chaque molécule fille est une réplique parfaite de la molécule mère.

La réplication, qui s'effectue toujours avant une division cellulaire, peut être observée au microscope électronique. Dans la cellule eucaryote, la réplication débute en de nombreux points de la molécule d'ADN à partir desquels des fourches de réplication progressent en sens opposés jusqu'à se rejoindre. Immédiatement avant la réplication, l'ADN est séparé des histones avec lesquelles il forme la chaîne nucléosomique ; immédiatement après la réplication, deux chaînes nucléosomiques filles se reconstituent.



## 4. ARN

Comme l'ADN, les ARN sont composés de nucléotides (P + S + base). Leur structure et leurs propriétés présentent cependant plusieurs différences.

- le sucre n'est pas du désoxyribose mais du ribose.
- la thymine (T) de l'ADN est remplacée par l'uracile (U).
- la molécule n'est formée que d'une seule chaîne de nucléotides (un seul montant de l'échelle avec des demi-barreaux).
- la longueur d'une molécule d'ARN et par conséquent sa masse moléculaire sont très inférieures à celles de l'ADN (la masse moléculaire de l'ADN varie de plusieurs millions à plusieurs milliards, celle de l'ARN varie entre 25 000 à 500 000).
- la plus grande partie de l'ARN cellulaire est localisée dans le cytoplasme.

## C. Expression de l'information génétique

### 1. Code génétique

Les nombreux points communs existant entre les molécules d'ADN et celles des protéines (macromolécules, enchaînement linéaire de molécules élémentaires, ordre précis de cet enchaînement ou spécificité de la séquence...) ont fait penser à l'existence d'une correspondance terme à terme entre ADN et protéine.

Le passage de la succession de nucléotides observée dans la molécule d'ADN à celle des acides aminés caractéristiques de la protéine synthétisée fait nécessairement intervenir un système de correspondance qui constitue le code génétique. Toutes les hypothèses formulées, ainsi que de nombreuses expériences, permettent d'affirmer que l'information élémentaire correspondant à un acide aminé est portée par un triplet de nucléotides (c'est-à-dire un triplet de bases azotées) présent dans l'une des chaînes de la molécule d'ADN.

1 <sup>re</sup> lettre (extrémité 5') ↓	2 <sup>e</sup> lettre				3 <sup>e</sup> lettre ↓
U	C	A	G		
U	UUU } phénylalanine (Phe)	UCU } sérine (Ser)	UAU } tyrosine (Tyr)	UGU } cystéine (Cys)	U C A G
	UUC } leucine (Leu)	UCC } sérine (Ser)	UAC } tyrosine (Tyr)	UGC } cystéine (Cys)	
	UUA } leucine (Leu)	UCA } sérine (Ser)	UAA } non-sens	UGA non-sens	
	UUG } leucine (Leu)	UCG } sérine (Ser)	UAG } non-sens	UGG tryptophane (trp)	
C	CUU } leucine (Leu)	CCU } proline (Pro)	CAU } histidine (His)	CGU } arginine (Arg)	U C A G
	CUC } leucine (Leu)	CCC } proline (Pro)	CAC } histidine (His)	CGC } arginine (Arg)	
	CUA } leucine (Leu)	CCA } proline (Pro)	CAA } glutamine (Glu)	CGA } arginine (Arg)	
	CUG } leucine (Leu)	CCG } proline (Pro)	CAG } glutamine (Glu)	CGG } arginine (Arg)	
A	AUU } isoleucine (Ile)	ACU } thréonine (Thr)	AAU } asparagine (Asn)	AGU } sérine (Ser)	U C A G
	AUC } isoleucine (Ile)	ACC } thréonine (Thr)	AAC } asparagine (Asn)	AGC } sérine (Ser)	
	AUA } méthionine (Met)	ACA } thréonine (Thr)	AAA } lysine (Lys)	AGA } arginine (Arg)	
	AUG } méthionine (Met)	ACG } thréonine (Thr)	AAG } lysine (Lys)	AGG } arginine (Arg)	
G	GUU } valine (Val)	GCU } alanine (Ala)	GAU } acide aspartique (Asp)	GGU } glycine (Gly)	U C A G
	GUC } valine (Val)	GCC } alanine (Ala)	GAC } acide aspartique (Asp)	GGC } glycine (Gly)	
	GUA } valine (Val)	GCA } alanine (Ala)	GAA } acide glutamique (Glu)	GGA } glycine (Gly)	
	GUG } valine (Val)	GCG } alanine (Ala)	GAG } acide glutamique (Glu)	GGG } glycine (Gly)	

Le code génétique, un langage universel : les codons de l'ARNm et leur signification.

### 2. Biosynthèse des protéines

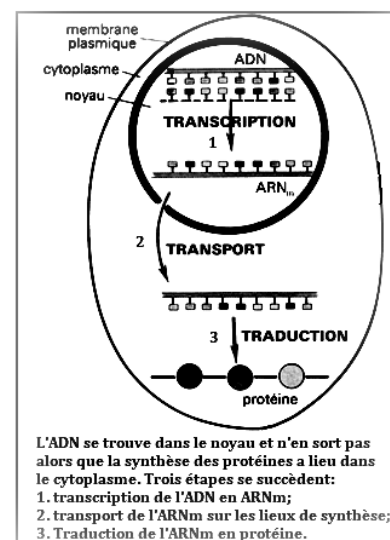
#### a. Transcription

La correspondance entre l'information génétique (séquence d'un brin d'ADN) et son expression (c'est-à-dire la séquence d'une molécule protéique) ne se réalise pas de manière directe. L'ADN reste en effet dans le noyau de la cellule alors que la synthèse des protéines s'effectue dans le cytoplasme.

Le transfert de l'information du noyau vers le cytoplasme s'effectue grâce à l'ARN messager qui est une « copie » du message porté par un brin de la molécule d'ADN. Cette opération constitue la transcription du message codé.

#### b. Traduction

Après passage de l'ARN messager du noyau dans le cytoplasme, la traduction du message en séquence protéique est réalisée au niveau des ribosomes, véritables « ateliers de montage » aboutissant à l'enchaînement des acides aminés.



Ce sont surtout des études faites sur les bactéries qui ont permis d'élucider les mécanismes de la synthèse protéique. Mais il semble bien, que dans les grandes lignes, la cellule eucaryote réalise cette synthèse grâce aux mêmes mécanismes, qui comprendraient trois étapes : initiation, élongation, terminaison (figure ci-contre).

### - Initiation

Un ARNt particulier, dit *ARNt* initiateur, s'associe à un acide aminé, toujours le même, la méthionine, et se lie à la petite sous-unité d'un ribosome.

L'ensemble ARNt-méthionine se place en face d'un codon spécifique de l'ARNm, le codon AUG, appelé codon initiateur (ce codon n'est pas placé au début de l'ARNm, mais c'est le premier rencontré qui sera reconnu par l'ARNt) ; ainsi, l'ARNt initiateur comporte toujours l'anticodon UAC.

La grosse sous-unité du ribosome se lie à l'ensemble ; le ribosome complet est alors prêt à fonctionner et l'ARNt porteur de la méthionine occupe un certain site (appelé site P : site peptidyl) du ribosome.

### - Élongation

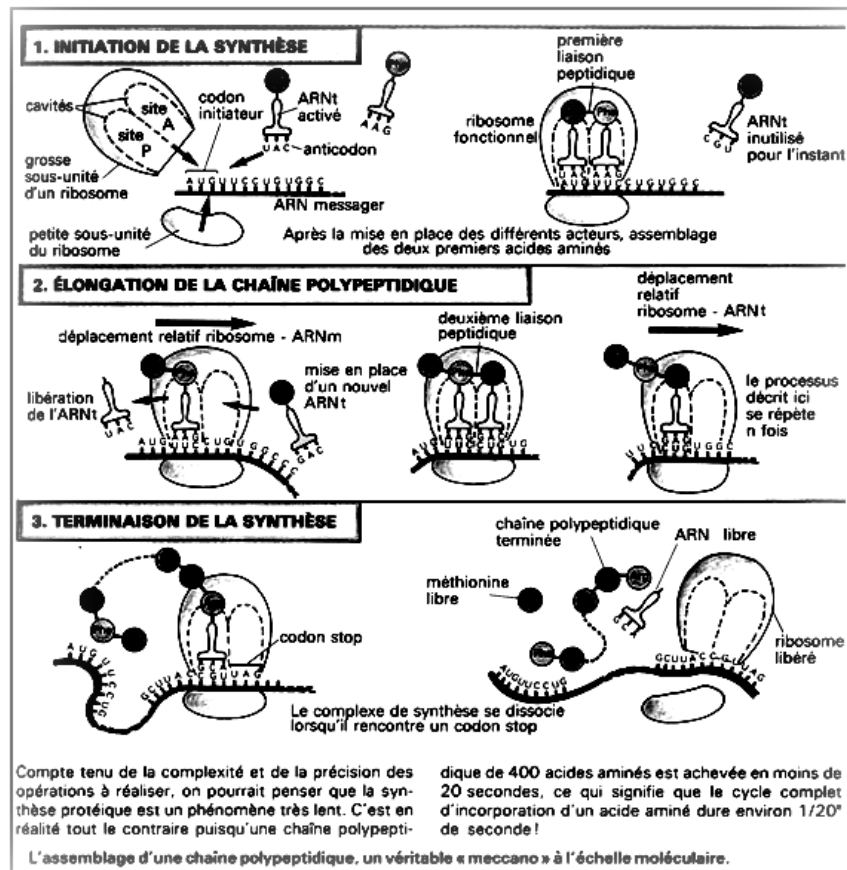
Cette phase est la phase de lecture, de traduction des codons successifs et d'accrochage des acides aminés successifs. Les mêmes événements se succèdent régulièrement :

- \*fixation d'un nouvel ARNt en face du 2<sup>e</sup> codon grâce à son anticodon ; cet ARNt apporte un 2<sup>e</sup> acide aminé et occupe alors un second site, le site A du ribosome (site aminoacyl) ;
- \*formation d'une première liaison peptidique, catalysée par une enzyme du ribosome (la peptidyl transférase) ;
- \*translocation du ribosome, très exactement d'un codon (le 3<sup>e</sup>), ce qui libère le site A et permet la mise en place d'un 3<sup>e</sup> ARNt porteur d'un nouvel acide aminé, et ainsi de suite tout le long de l'ARNm.

Le ribosome est donc la « tête de lecture » du message, en même temps que le « centre de catalyse » de l'accrochage des acides aminés successifs ; ce déplacement du ribosome nécessite un apport énergétique.

### - Terminaison

Lorsque le ribosome arrive à un codon non-sens (UAA, UAG, UGA), il n'existe pas d'ARNt complémentaire ; la synthèse s'arrête donc à ces codons-stop, véritables ponctuations du message. La chaîne protéique se détache du ribosome. Elle subira ultérieurement diverses étapes de finition. Les deux sous-unités du ribosome se détachent et pourront être à nouveau utilisées.



## D. Mutations

Une mutation est une modification de la séquence des nucléotides de l'ADN, ou d'une manière plus générale, toute modification héréditaire du matériel génétique. Dans un organisme pluricellulaire, seules se transmettent à la descendance les mutations germinales. Les mutations somatiques ne se transmettent qu'aux cellules issues par mitose de la cellule mutée, ces cellules forment alors un clone.

Les gènes présentent souvent plusieurs allèles. Chaque forme allélique peut subir une mutation et donner un autre allèle. La modification du peptide correspondant est généralement responsable d'une variation phénotypique.

L'emplacement des mutations d'un gène peut être déterminé par l'analyse de la séquence des nucléotides du gène muté ou par celle des acides aminés de la protéine ou du polypeptide exprimant la mutation.

Les mutations peuvent être ponctuelles au niveau de l'ADN. Elles consistent alors, soit en une substitution (changement d'une base) soit en une addition (insertion d'un nucléotide), soit en une délétion (perte de nucléotide). Elles peuvent aussi affecter de larges portions de la partie codante du gène, avec addition ou délétion de plusieurs centaines ou milliers de bases.

Les modifications subies par l'ADN ont, ou non, des répercussions sur la synthèse des polypeptides. Une substitution qui n'entraîne pas de modification dans la traduction en acides aminés est une mutation silencieuse.

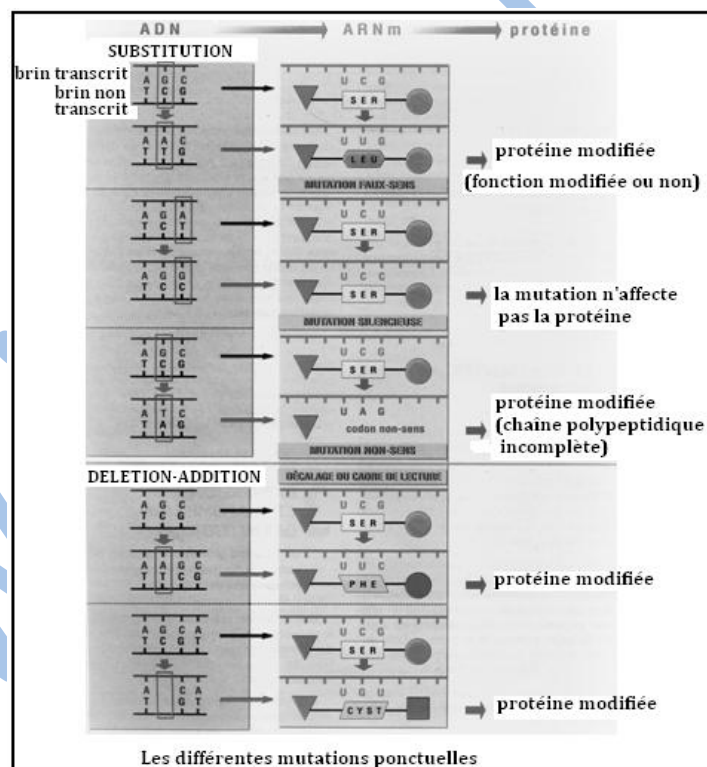
Un acide aminé substitué à un autre dans une chaîne polypeptidique indique qu'un codon sens a été remplacé par un autre codon sens. Il peut s'agir d'une mutation neutre si la modification de l'acide aminé ne change pas la fonction de la protéine.

Sinon, la fonction de la protéine se trouve modifiée ou altérée : la mutation s'exprime alors et c'est une mutation faux-sens. Enfin, la transformation d'un codon sens en un codon non-sens introduit un arrêt, c'est-à-dire une terminaison de la chaîne polypeptidique qui sera donc incomplète. Il s'agit d'une mutation non-sens.

Une délétion ponctuelle, l'addition d'une base ou d'un nombre de bases différent d'un multiple de trois, aboutissent à un changement complet de la séquence de nucléotides par modification du cadre de lecture. Tous les codons qui suivent l'accident sont décalés et peuvent perdre toute signification.

Une mutation récessive ne s'exprimera dans le phénotype qu'à l'état homozygote. Une mutation dominante peut induire une nouvelle fonction du gène ou une interférence avec sa fonction normale.

Les mutations spontanées affectent soit les cellules germinales (gamètes), soit les cellules somatiques (toutes les autres cellules du corps). Seules celles qui appartiennent à la première catégorie peuvent être transmises aux descendants.



## II- Transmission de l'information génétique

### A. Mitose

#### 1. Déroulement

La division cellulaire est un phénomène universel : des êtres procaryotes sans véritable noyau (bactéries) aux cellules eucaryotes à vrai noyau ; des êtres unicellulaires aux êtres pluricellulaires, la finalité du phénomène est la même, même si le déroulement varie dans le détail : la division cellulaire assure la transmission intégrale de l'information génétique contenue dans les chromosomes. Ainsi naissent les clones, ensemble de cellules possédant le même programme génétique.

Bien que la mitose soit un phénomène continu, le comportement des chromosomes permet de distinguer quatre phases.

#### - La prophase.

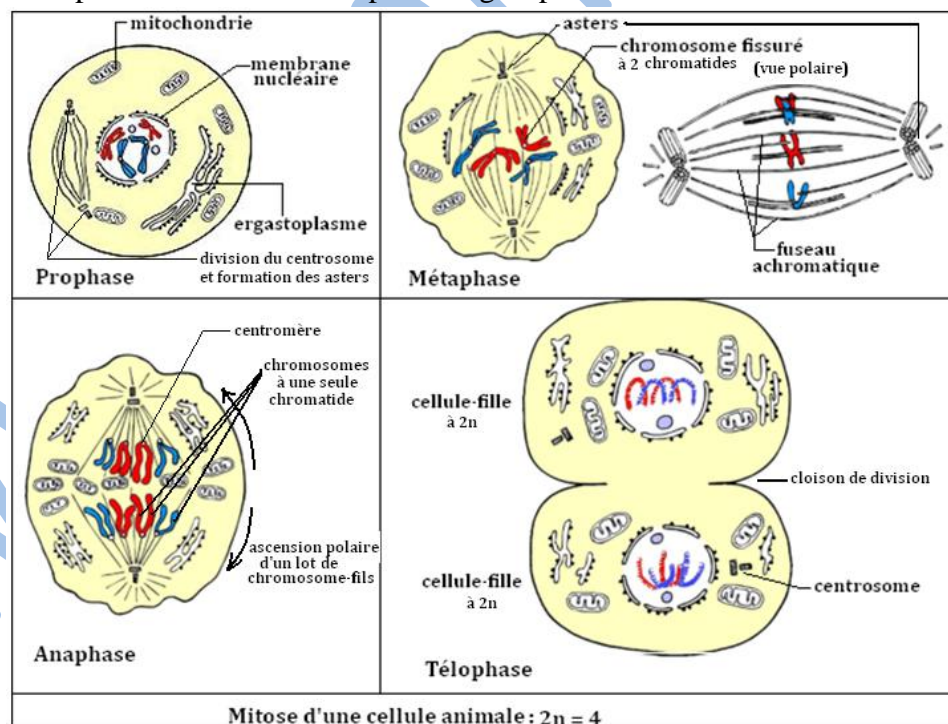
Cette phase, qui est la plus longue, est caractérisée par :

- \* la condensation de la chromatine qui forme des chromosomes clivés longitudinalement en deux filaments, les chromatides, réunies au niveau du centromère ;
- \* la disparition de l'enveloppe du noyau ;
- \* l'apparition d'un fuseau de fibres entre deux pôles de la cellule ; au niveau des pôles, on note soit la présence d'une formation claire (la calotte polaire) dans le cas d'une cellule végétale, soit l'existence d'une structure rayonnante (l'aster) dans le cas d'une cellule animale.

#### - La métaphase

De courte durée, la métaphase est caractérisée par le regroupement des centromères dans le plan équatorial du fuseau de division.

L'ensemble des chromosomes clivés, ainsi rangés, forme une figure appelée plaque équatoriale. Des fibres particulières, les fibres chromosomiales, qui naissent au voisinage du centromère, rattachent chaque chromosome aux pôles du fuseau.



Une vue polaire de la plaque équatoriale permet de dénombrer les chromosomes.

#### - L'anaphase

Au cours de cette phase très rapide, chaque centromère se divise en deux ; les centromères fils, solidaires chacun d'une chromatide, s'écartent l'un de l'autre en direction des pôles du fuseau par raccourcissement des fibres chromosomiales. On assiste ainsi à une migration en sens opposée de deux lots de chromosomes strictement identiques. En effet, tout chromosome de la cellule initiale est représenté dans chacun des deux lots par un chromosome fils (c'est-à-dire une chromatide).

## - La télophase

D'une durée comparable à celle de la prophase, la télophase se caractérise par la formation d'un noyau au niveau de chacun des deux lots de chromosomes :

- \* les chromosomes se désindividualisent pour redonner une masse diffuse de chromatine ;
- \* le fuseau de division disparaît ;
- \* l'enveloppe nucléaire se reconstitue. La division du noyau est alors terminée. L'obtention de deux cellules filles nécessite une division du cytoplasme entre les deux noyaux fils.

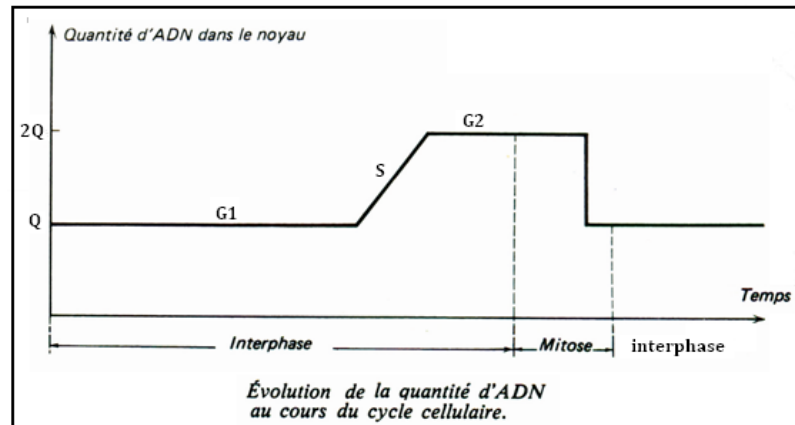
Cette séparation se réalise par élaboration d'une nouvelle paroi squelettique dans le cas d'une cellule végétale ou par simple étranglement du cytoplasme dans le cas d'une cellule animale. Les deux cellules filles entrent alors en interphase.

## 2. Evolution de la quantité d'ADN

Des dosages de la quantité d'ADN présent dans une cellule montrent que cette quantité double au cours de l'interphase. Cette phase de synthèse d'ADN est appelée phase S. Un cycle cellulaire comprend ainsi quatre phases :

- la phase **G<sub>1</sub>**, (**G<sub>1</sub>** pour « gap of time » = intervalle de temps) qui correspond à une croissance de la cellule ;
- la phase **S** au cours de laquelle la cellule double son stock d'ADN ;
- la phase **G<sub>2</sub>** pendant laquelle la croissance cellulaire se poursuit ;
- la phase **M** qui représente la mitose.

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



## B. Méiose

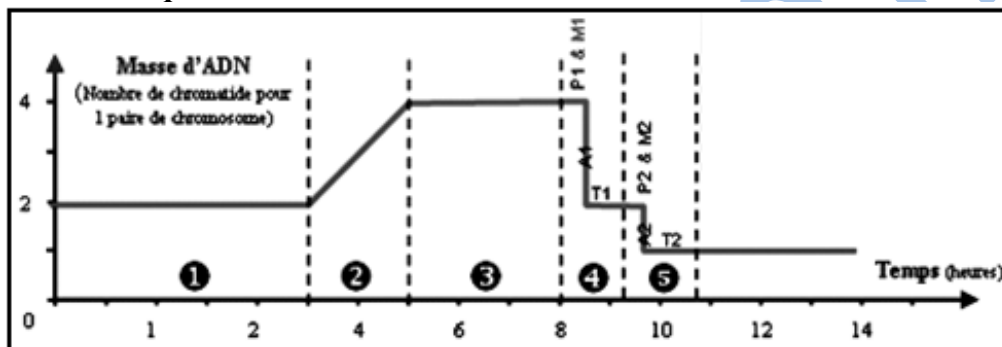
### 1. Déroulement

- **La première division** se caractérise par les faits suivants :
  - **la prophase** est très longue et marquée par un véritable appariement des chromosomes homologues qui constituent ainsi des bivalents, très épaissis, dédoublés chacun en deux chromatides ; leurs bras s'entrecroisent en des figures caractéristiques au niveau du chiasma. Chaque ensemble de quatre chromatides forme une tétrade. Des échanges de segments de chromosomes peuvent avoir lieu à ce moment-là ;
  - **la métaphase** : les centromères de chromosomes homologues se placent de part et d'autre du plan équatorial (et non dans le plan équatorial comme pour la mitose) ;
  - **l'anaphase** : elle est marquée par la séparation des chromosomes homologues sans clivage de leurs centromères : ainsi **n** chromosomes (c'est-à-dire un chromosome de chaque paire) encore fissurés migrent vers chaque pôle ;
  - **la télophase** : les deux cellules filles haploïdes se sépareront.
- **La deuxième division** : elle a lieu en général immédiatement après une brève interphase. Le seul fait original de cette division est le clivage du centromère de chaque chromosome à l'anaphase : ainsi **n** chromosomes-fils migrent en direction de chaque pôle de la cellule. Les phénomènes cytologiques de la méiose ressemblent à ceux des mitoses banales (apparition des chromosomes, asters, fuseau achromatique, cytotérière) : elle s'en distingue par la réduction du nombre de chromosomes de **2n** à **n** ; la première division est dite

réductionnelle, la seconde est dite équationnelle. La méiose se traduit par une réduction chromatique.

Schémas								
Description rapide	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensation des chromosomes</li> <li>• Disparition de l'enveloppe nucléaire</li> <li>• Appariement des chromosomes homologues</li> </ul>	Les paires de chromosomes se placent sur le plan équatorial qui définit la plaque métaphasique	Les chromosomes homologues de chaque paire se séparent et migrent à un pôle. Le hasard entraîne un brassage interchromosomique	Le cytoplasme commence sa division et donne naissance à 2 cellules filles haploïdes à chromosomes bichromatidiens	Chaque chromosome se place perpendiculairement à la 1 <sup>ère</sup> division	Chaque chromosome bichromatidien se place sur le nouveau plan équatorial	Dans chaque cellule fille, les chromatides de chaque chromosome se séparent et migrent à un pôle	Dans chaque cellule fille apparaît une cloison médiane qui donne naissance à 4 cellules filles haploïdes à chromosomes monochromatidiens
Etape	Prophase 1	Métaphase 1	Anaphase 1	Télophase 1	Prophase 2	Métaphase 2	Anaphase 2	Télophase 2

## 2. Evolution de la quantité d'ADN



1. Cellule à  $2n$  chromosomes monochromatidiens ;
2. Synthèse d'ADN : duplication ;
3. Cellule à  $2n$  chromosomes bichromatidiens ;
4. Première division de méiose, passage à deux cellules à  $n$  chromosomes bichromatidiens ;
5. Deuxième division de méiose, passage à quatre cellules à  $n$  chromosomes monochromatidiens.

## C. Gamétogenèse

### 1. Déroulement

La gamétogenèse se déroule dans des organes spécialisés : les glandes génitales ou gonades.

#### a. La spermatogenèse

La spermatogenèse comprend quatre étapes.

##### - La multiplication

Les cellules mères se multiplient grâce à des mitoses maintenant leur nombre de chromosomes à  $2n$ . On parle de spermatogonies lorsqu'elles s'engagent dans la spermatogenèse.

##### - L'accroissement

Chaque spermatogonie subit un léger accroissement de taille et devient un spermatocyte I (à  $2n$  chromosomes).

##### - La maturation

C'est le phénomène de méiose. La première division méiotique transforme le spermatocyte I en deux spermatocytes II (à  $n$  chromosomes). La deuxième division transforme chaque spermatocyte II en deux spermatozoïdes (à  $n$  chromosomes)

##### - La différenciation ou spermio-genèse

Chaque spermatozoïde, cellule arrondie et banale va devenir progressivement un spermatozoïde :  
\* le centriole distal élabore progressivement un flagelle,

- \* des vésicules golgiennes se réunissent pour former l'acrosome ;
- \* la chromatine se condense fortement et le noyau diminue légèrement de volume ;
- \* les mitochondries s'organisent en un manchon hélicoïdal à la base du flagelle en formant la pièce intermédiaire ;
- \* l'appareil de Golgi et une partie du cytoplasme s'écoulent en arrière du noyau en une masse résiduelle qui sera éliminée. A ce stade, le spermatozoïde sera morphologiquement achevé.

### b. L'ovogenèse

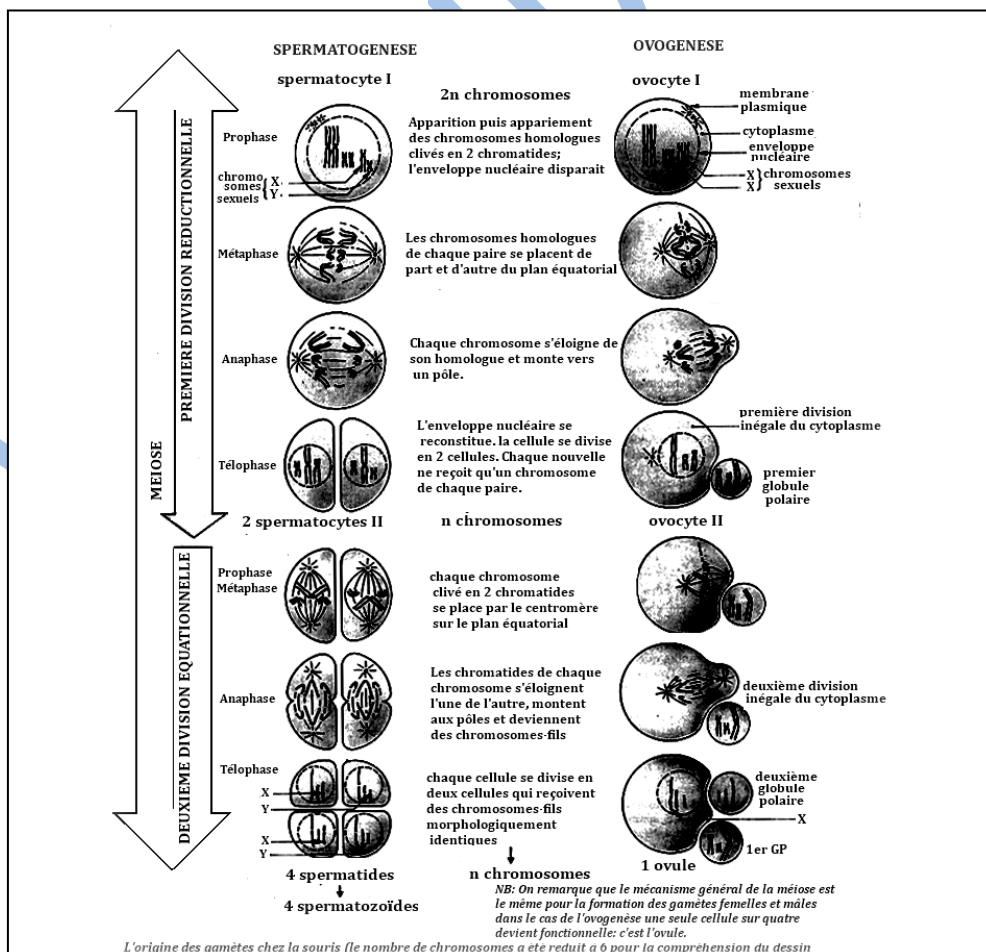
L'ovogenèse est dans ses grandes lignes calquée sur la spermatogenèse. On retrouve la succession chronologique des cellules : ovogonies, ovocyte I, ovocyte II, ovotide, Ovule.

On retiendra les différences essentielles :

- l'accroissement des ovogonies est parfois considérable : il passe de 30 à 40 µm chez la femme et atteindra plusieurs centimètres chez les Oiseaux. C'est à ce stade que le vitellus est synthétisé (phase de vitellogenèse) ;
- la méiose s'amorce de façon précoce chez l'embryon de Mammifère par exemple : ce début de méiose de l'ovocyte I restera bloqué en fin de prophase jusqu'à la maturité sexuelle ;
- les deux divisions cytoplasmiques de la méiose aboutissent à des cellules de taille inégale en raison de la position excentrée du fuseau achromatique.

Ainsi l'ovocyte I donne un ovocyte II et une petite cellule ne contenant presque pas de cytoplasme, inapte à se diviser : le globule polaire I. L'ovocyte II donnera un ovotide et un deuxième globule polaire. Les deux globules sont voués à dégénérer ;

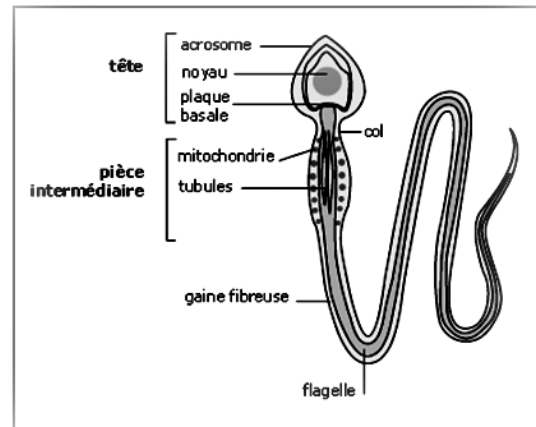
- il n'y a pas de différenciation structurale de la cellule : l'ovotide est déjà un ovule,
- enfin la méiose est parfois inachevée lorsque la fécondation a lieu : par exemple, chez les Mammifères, le 2<sup>ème</sup> globule polaire n'est émis qu'une fois la fécondation amorcée et c'est un ovocyte II et non un ovule qui est émis au moment de l'ovulation.



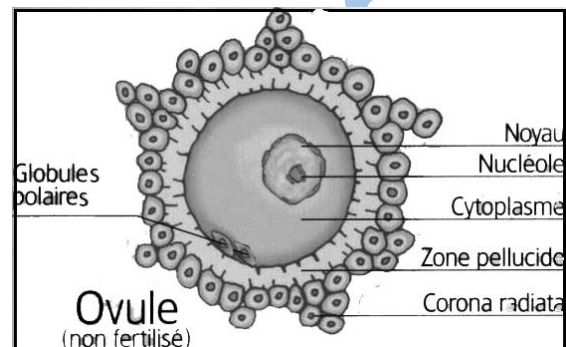
## 2. Gamètes

- Le spermatozoïde est une cellule mobile adaptée pour transmettre son ADN à l'ovule. Son appareil locomoteur est constitué d'un long flagelle dont la base est entourée de mitochondries qui fournissent l'énergie chimique destinée à être convertie en mouvement.

La tête du spermatozoïde contient le noyau (support de l'information génétique mâle) et l'acrosome, organe indispensable à la pénétration du spermatozoïde dans l'ovule.



- L'ovule est une cellule bourrée de réserves. Généralement sphérique, l'ovule a un diamètre qui varie de 60 à 150 micromètres chez les Mammifères, de 1 à 2 mm chez les Poissons et les Amphibiens, de quelques millimètres à plusieurs centimètres chez les Reptiles et les Oiseaux. Cette grande taille résulte de la nécessité d'un stockage de réserves nutritives, stockage beaucoup plus important chez les ovipares que chez les vivipares. Cependant, même chez ces derniers, le cytoplasme de l'ovule est volumineux, car il contient toute la «machinerie» de synthèse des protéines (ribosomes, différents ARN...) indispensable pour la première phase du développement de l'œuf.



## D. Fécondation

La fécondation peut être observée aisément chez l'Oursin. Il suffit pour cela de se procurer un mâle et une femelle sexuellement mûrs et de mélanger deux gouttes de produits sexuels sous le microscope. Comme chez tous les métazoaires, le gamète mâle, ou spermatozoïde, est une cellule mobile, très petite, tandis que le gamète femelle, ou ovule, est une cellule sphérique, volumineuse et immobile. Chaque cellule mère des gamètes mâles donne quatre spermatozoïdes, tandis que chaque cellule mère des gamètes femelles donne un seul ovule accompagné de cellules minuscules appelées globules polaires.

La fécondation présente plusieurs étapes :

- les ovules exercent une attraction sur les spermatozoïdes grâce à des substances chimiques appelées gamones. Les spermatozoïdes viennent alors se rassembler autour des ovules : c'est le chimiotactisme positif.

### - La pénétration du spermatozoïde ; l'activation :

Au contact de la gangue muqueuse, l'acrosome éclate et libère un filament qui vient au contact avec la membrane de l'ovule. Une petite protubérance appelée cône de fécondation se forme alors autour du filament acrosomial.

Au point de contact, une modification de la zone périphérique de l'ovule apparaît et s'étend en moins de deux secondes à toute sa surface. Cette zone modifiée appelée autrefois « membrane de fécondation », semble être liée à une exsudation de substances de déchets, c'est-à-dire à une réaction d'épuration.

La tête et la pièce intermédiaire du spermatozoïde fécondant pénètrent dans le cytoplasme ovulaire, tandis que la queue est abandonnée dans la gangue. L'ovule n'exerçant plus aucune attraction sur les autres spermatozoïdes, la pénétration d'un second gamète est tout à fait exceptionnelle : c'est la monospermie.

L'apparition de la membrane de fécondation n'est que la manifestation visible de l'activation, c'est-à-dire du retour à la vie active. Le métabolisme et les échanges reprennent brutalement leur intensité normale.

**- La fusion des noyaux, ou caryogamie :**

Le spermatozoïde se dirige lentement vers le noyau de l'ovule tout en effectuant une rotation de 180°. Le noyau mâle s'imbibe et se gonfle, tandis que son centrosome engendre un aster.

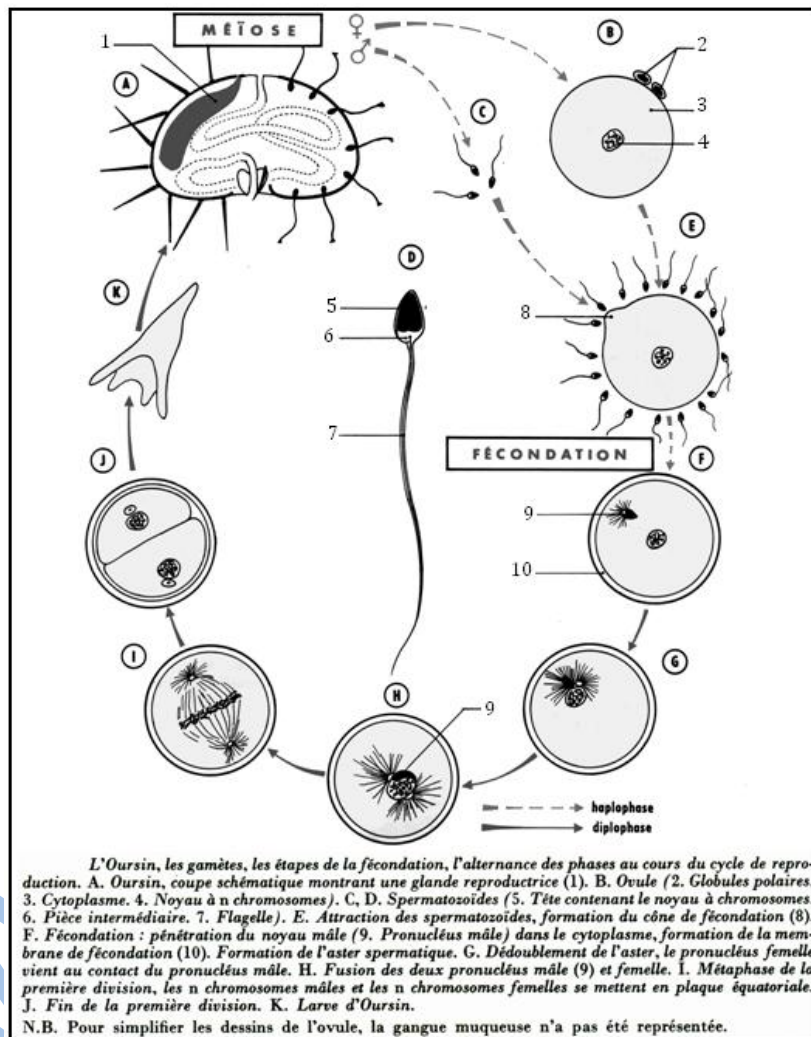
Les deux noyaux s'appliquent l'un contre l'autre et se fusionnent en un noyau diploïde : la cellule qui en résulte est un œuf ou zygote.

Mais, dès ce moment, l'aster s'est déjà dédoublé et la première mitose de segmentation commence sans tarder. Dans chaque cellule de l'embryon, les chromosomes se disposent par couple, et chaque couple comprend un chromosome d'origine paternelle et un chromosome d'origine maternelle.

La fécondation, en unissant un spermatozoïde X à un ovule X donne un œuf XX qui deviendra une femelle. En unissant un spermatozoïde Y à un ovule X, elle donne un œuf XY qui deviendra un mâle. C'est donc la fécondation qui détermine le sexe de la descendance.

Signalons enfin que fécondation et méiose se chevauchent parfois :

- chez l'Oursin, l'union des gamètes s'effectue lorsque la méiose est terminée : le spermatozoïde pénètre dans un ovule véritable ;
- chez l'Homme, le contact s'établit en cours de méiose : le spermatozoïde pénètre dans un ovocyte II ;
- chez l'Ascaris, ver parasite de l'intestin, c'est le contact du gamète mâle qui déclenche la méiose de l'ovocyte : le spermatozoïde pénètre dans un ovocyte I.



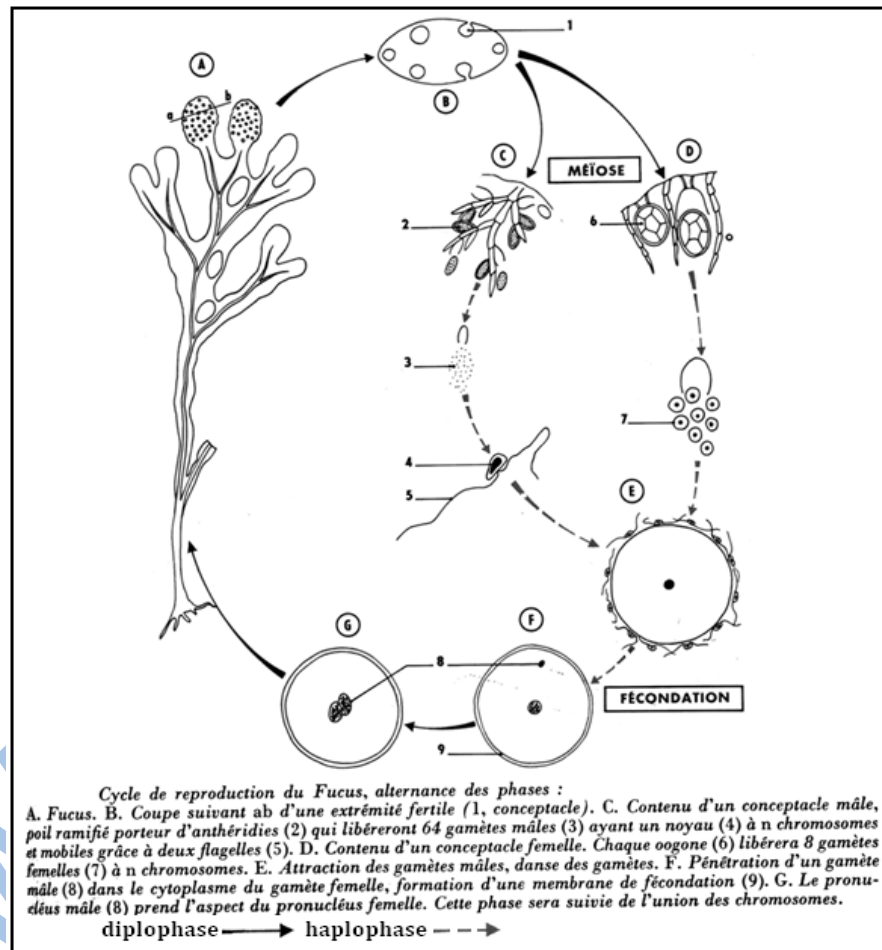
## E. Cycles chromosomiques

La méiose donne aux gamètes  $n$  chromosomes. La fusion des noyaux des gamètes, au moment de la fécondation, rétablit donc le nombre  $2n$  caractéristique de l'espèce. Il y a, de ce fait, d'une génération à l'autre, alternance de deux phases :

- phase à  $n$  chromosomes, ou haplophase ; on dit que les cellules ont un nombre haploïde de chromosomes ;
- phase à  $2n$  chromosomes, ou diplophase ; les cellules ont un nombre diploïde de chromosomes. On parle de cycle chromosomique.

### 1. Cycle diplophasique : exemple : le Fucus

Le fucus vésiculeux est une Algue brune banale sur les côtes de l'Atlantique et de la Manche, plus rare au bord de la Méditerranée. On peut l'observer facilement à marée basse. Cette plante est formée d'une lame brune ramifiée, fixée au rocher par des crampons. Des vésicules remplies d'un gaz dont la composition est voisine de celle de l'air, servent de flotteurs. Il ne faut pas confondre ces lames avec des feuilles : chez les Algues, il n'y a ni racines, ni tige, ni feuilles, mais un thalle. A la fin de l'hiver et au début du printemps, les



ramifications du thalle portent à leurs extrémités des renflements visqueux, couverts d'une sorte de gelée. A la loupe on voit que la surface de ces renflements est criblée de petits orifices.

On peut distinguer chez le fucus vésiculeux deux sortes de pieds. Chez les uns, la gelée qui recouvre les renflements a une couleur orangée, chez les autres, elle est brun-vert.

Une coupe faite dans ces renflements montre que les orifices observés à la loupe sont les ouvertures de cavités minuscules ayant environ  $\frac{1}{2}$  millimètre de diamètre. Chaque cavité est un conceptacle. L'étude microscopique d'un conceptacle montre que le contenu n'a pas le même aspect suivant qu'il s'agit d'un renflement orangé ou d'un renflement brun-vert.

Les conceptacles des renflements orangés sont tapissés de poils ramifiés portant de petits sacs au contenu granuleux : les antheridies. Les conceptacles des renflements brun-vert renferment, eux, des poils allongés, non ramifiés, parmi lesquels se trouvent des sacs brunâtres, de forme ovoïde, les oogones, reliés à la paroi du conceptacle par une cellule servant de pédoncule.

A maturité, les anthéridies et les oogones se détachent et, passant par l'orifice d'un conceptacle, sont libérés dans l'eau de mer. Les anthéridies éclatent alors et chacune d'elles libère 64 cellules de très petite taille (5  $\mu$ ) en forme de poire, et portant latéralement deux flagelles. A l'intérieur on peut mettre en évidence un noyau. Ce sont des gamètes mâles ou anthérozoïdes.

Les oogones s'ouvrent, eux aussi, dans l'eau de mer. D'un oogone, il en sort 8 grosses cellules brunâtres (100  $\mu$  de diamètre), les oosphères, qui sont les gamètes femelles. Le cytoplasme est bourré de réserves, tout comme chez les ovules de l'oursin.

A partir de l'œuf jusqu'à la formation des gamètes, les cellules sont à  $2n$  chromosomes ; toute cette phase est diploïde ou diplophase. L'haplophase se limite essentiellement aux gamètes qui sont à  $n$  chromosomes.

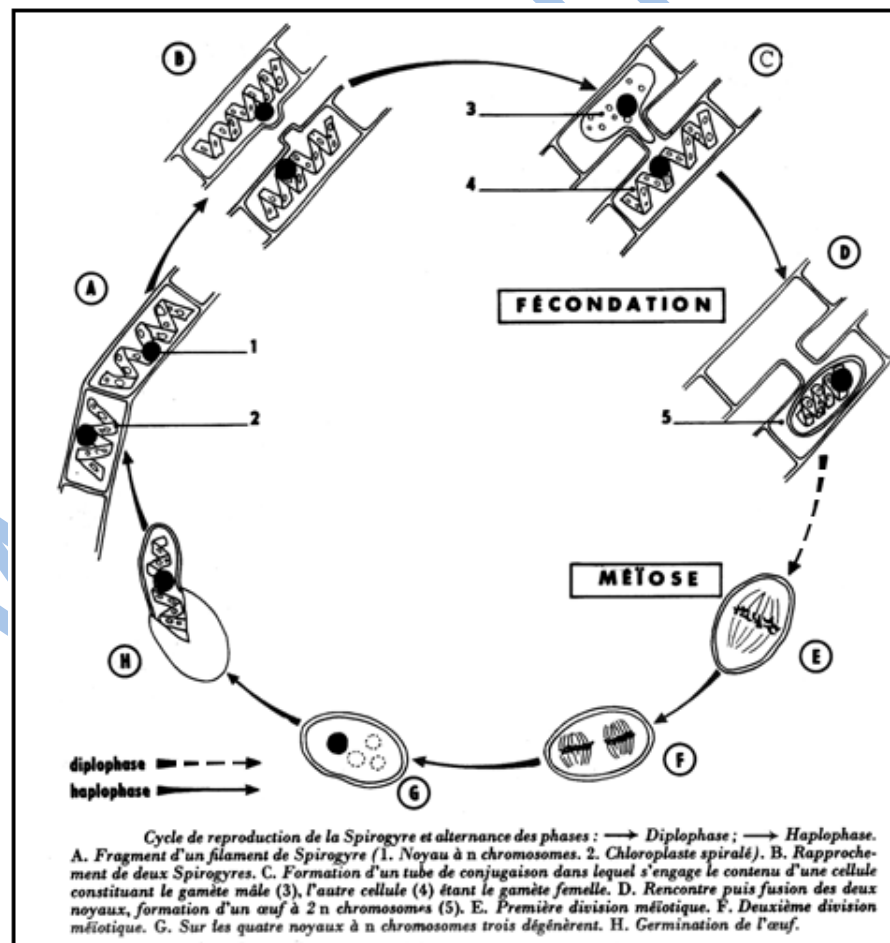
## 2. Cycle haplophasique : exemple : la Spirogyre

La Spirogyre est une algue verte filamenteuse qui vit dans les eaux douces. Chaque filament est formé de cellules disposées les unes au bout des autres. Une cellule contient un ou plusieurs corps chlorophylliens, enroulés en hélice (d'où le nom de la plante). Habituellement, quand les conditions de vie sont bonnes, la Spirogyre se reproduit par simple bouturage ; un filament se brise donnant naissance à deux ou plusieurs individus nouveaux.

Mais quand les conditions deviennent moins favorables (tendance à la dessiccation du milieu, abaissement de la température) on assiste au phénomène de la conjugaison, qui est une manifestation de sexualité. Les cellules des deux filaments parallèles émettent des sortes de protubérances qui vont à la rencontre l'une de l'autre. Ces deux protubérances s'accolent par leurs extrémités. Le contenu d'une des cellules se condense.

Le corps chlorophyllien perdant son aspect en hélice. Les membranes qui

séparent les deux protubérances disparaissent et il se forme un tube, dit tube de conjugaison. Le contenu de la cellule qui a perdu sa différenciation s'engage dans le tube de conjugaison (mouvement amiboïde) et passe dans l'autre cellule. Les noyaux se fusionnent. Il s'est formé un œuf, ou zygote, qui s'entoure d'une coque épaisse à l'intérieur de la cellule. Il s'agit donc d'une véritable fécondation, et la cellule mobile peut être, par analogie, appelée gamète mâle, la cellule immobile étant le gamète femelle.



Aucune division particulière n'ayant précédé ces phénomènes, on en conclut que les cellules des filaments possédaient chacune  $n$  chromosomes ; l'œuf, lui, possède  $2n$  chromosomes. Comme on peut le voir, toutes les cellules d'un même filament se comportent comme des gamètes d'un même sexe. Après la fécondation, les filaments finissent par se désagréger ; les œufs tombent au fond de l'eau où ils pourront attendre le retour des conditions favorables.

Quand celles-ci sont réalisées, il se produit à l'intérieur de l'œuf une méiose donnant naissance à quatre noyaux à  $n$  chromosomes.

Trois de ces noyaux dégèrent, puis l'œuf germe. Il en sort une cellule dont le noyau possède  $n$  chromosomes. De nombreuses divisions redonneront un nouveau filament dont chaque cellule aura un noyau à  $n$  chromosomes.

A l'inverse des animaux, la Spirogyre est constituée de cellules à  $n$  chromosomes. L'haplophase est plus importante que la diplophase, qui est réduite à l'œuf.

Les phénomènes qui séparent les deux parties du cycle chromosomique sont donc :

- la **méiose** qui réduit de  $2n$  à  $n$  le nombre de chromosomes ;
- la **fécondation** qui redonne des cellules à  $2n$  chromosomes.

La Spirogyre nous montre que la vie est possible pour un être qui ne possède que  $n$  chromosomes.

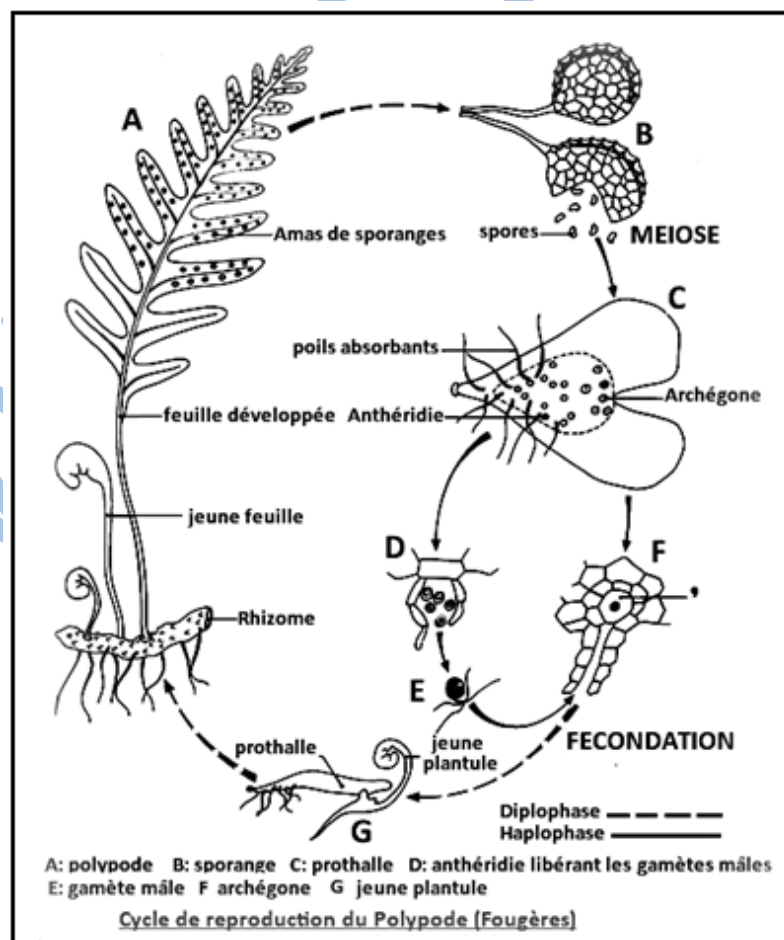
### 3. Cycle haplo-diplophasique : exemple : le Polypode

Le polypode porte des sporanges où se forment les spores, et une spore donne naissance au prothalle qui sera à l'origine des gamètes mâles et femelles. Précisons qu'un anthérozoïde, attiré par une sécrétion de l'archégone, vient s'unir à l'oosphère et qu'il en résulte un œuf produisant lui-même un nouveau pied de polypode.

Les cellules du polypode issues de l'œuf sont à  $2n$  chromosomes. La réduction chromatique se produit dans les sporanges à partir de cellules appelées cellules mères de spores. Celles-ci et les cellules des prothalles auxquels elles donnent naissance sont donc, de ce fait, à  $n$  chromosomes.

L'haplophase est donc représentée par un être autonome, le prothalle, qui

nous montre lui aussi que les cellules peuvent vivre avec  $n$  chromosomes. La diplophase est représentée par la plante feuillée, c'est-à-dire le pied de polypode. La phase à  $2n$  chromosomes l'emporte donc par la masse sur la phase à  $n$  chromosomes. Mais le fait nouveau est l'existence de deux êtres se succédant dans le temps : la plante feuillée et le prothalle. On peut parler d'alternance de générations.



## Bilan

L'information génétique nécessaire à la construction des molécules spécifiques d'un être vivant est localisée dans les chromosomes et plus précisément dans la molécule d'ADN. Transcrite sous forme d'ARN messenger, l'information est ensuite traduite en séquences d'acides aminés au niveau des ribosomes. La molécule d'ADN subit avant chaque division cellulaire une autoreproduction qui, par réplication rigoureuse, donne deux molécules identiques à la molécule initiale. Ainsi l'information génétique contenue initialement dans la cellule œuf se transmet-elle intégralement à toutes les cellules de l'organisme.

L'information génétique est inscrite grâce à un code spécial, le code génétique, lui-même fondé sur une suite de « mots » de trois lettres : les codons.

En décryptant les codons de l'ARN messenger, les ribosomes réalisent la synthèse des protéines conforme aux messages génétiques de l'ADN.

Le gène est une information portée par une séquence définie de nucléotides de l'ADN, qui permet la réalisation d'une chaîne polypeptidique.

Une mutation a pour origine la modification d'un ou plusieurs gènes, c'est-à-dire la modification de séquence des nucléotides au niveau du brin d'ADN qui gouverne la synthèse d'une protéine.

La mitose est le phénomène par lequel les cellules se multiplient, aussi bien chez les végétaux que chez les animaux. Elle réalise une répartition rigoureuse, entre les cellules filles, des macromolécules portant l'information nécessaire au fonctionnement cellulaire. C'est au niveau du noyau que se déroulent les phénomènes les plus importants.

Dans le règne végétal comme dans le règne animal nous avons observé des gamètes mâles (spermatozoïdes ou anthérozoïdes) et des gamètes femelles (ovule, ovocytes ou oosphères). Les gamètes mâles sont caractérisés par leur petite taille, l'importance du noyau par rapport au cytoplasme, leur mobilité grâce à un flagelle ou à des cils. Les gamètes femelles, au contraire, sont de grosses cellules dépourvues de tout appareil locomoteur, chargées de réserves accumulées dans le cytoplasme.

La gamétogenèse (formation des gamètes) comporte une réduction du nombre de chromosomes grâce à une division particulière la méiose (division réductionnelle, division équationnelle). Le retour à la diploïdie s'effectue lors de l'union des gamètes haploïdes de chaque parent. C'est la fécondation, dont le résultat est la cellule-œuf ou zygote.

L'alternance méiose-fécondation introduit un cycle dans le développement d'un organisme caractérisé par une alternance de phases chromosomiques, l'haplophase et la diplophase.

Selon l'importance relative de ces phases, on distingue le cycle diplophasique, le cycle haplophasique et le cycle haplo-diplophasique.

## Exercices

### Exercice 1

L'analyse de la composition d'un ADN viral a donné les résultats suivants (on ne tiendra compte ici que de la composition des bases azotées) : C = 19%, A = 25%, T = 33%, G = 23%.

a) Qu'y a-t-il d'inhabituel dans cette composition ?

Dans des expériences in « vitro », cet ADN a été utilisé comme modèle pour la synthèse d'une molécule d'ADN dont la composition fut la suivante (en bases azotées):

C = 23%, A = 33%, T = 25%, G = 19%.

b) Quelle relation existe-t-il entre cette composition et celle de l'ADN du virus?

Que peut-on dire en conséquence, de la structure de l'ADN du virus considéré ?

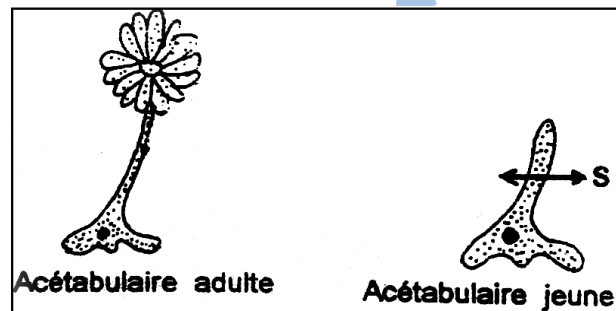
### Exercice 2

1- On sectionne la tige d'une acétabulaire (algue unicellulaire) jeune au niveau S. Chaque fragment régénère un chapeau, mais le fragment anucléé finira par dégénérer.

2- On traite une jeune algue d'acétabulaire par la ribonucléase, enzyme qui détruit l'ARN. La tige est ensuite sectionnée, seul le fragment nucléé régénère un chapeau.

3- Une algue jeune est traitée par l'actinomycine qui se combine à l'ADN et le rend inactif. La tige est sectionnée, le fragment nucléé ne régénère pas le chapeau.

Quelles conclusions peut-on tirer de ces expériences ?



### Exercice 3

La posthypophyse des Mammifères élabore deux hormones de nature polypeptidique, le document suivant indique la séquence de bases de la portion d'ADN codant pour l'ocytocine. Des deux brins de cette portion d'ADN, seul le brin non codant a été représenté : **TGC TAC ATC CAG AAC TGC CGC CTG GGC.**

Le document suivant donne le même type d'information dans le cas de la vasopressine:

**TGC TAC TTC CAG AAC, TGC CCA AGA GGA.**

1- Trouvez en justifiant votre réponse la séquence des acides aminés de ces deux hormones.

2- Quelles sont les différences observées au niveau des deux fragments d'ADN codant pour les deux hormones; ces différences se traduisent-elles ou non dans la structure des 2 polypeptides élaborés? Pourquoi?

### Exercice 4

**A.** une Algue unicellulaire est par exception haploïde (avec  $n = 3$ ). Faire un dessin de métaphase chez cette Algue.

**B.** A la 60<sup>e</sup> heure de sa vie, l'embryon humain possède 16 cellules et mesure environ 250  $\mu\text{m}$  de diamètre.

**1.** Depuis la cellule-œuf initiale jusqu'à ce stade, combien de mitoses aura-t-on pu observer ? Quelle est la durée approximative d'un cycle cellulaire ? Combien de chromosomes trouve-t-on dans chaque cellule ?

**2.** On observe 1000 cellules d'un embryon de poisson et l'on constate que 20 % d'entre elles sont en mitose. Chaque mitose dure 90 minutes. D'autre part on constate que 45 % des cellules sont en prophase, 35 % sont en métaphase, 5 % sont en anaphase et 15 % sont en télophase. Commentez ces chiffres.

## Exercice 5

### Répondre par vrai ou faux

#### 1. A la fin de la première division de la méiose, chaque cellule:

- a un taux d'ADN égal à celui d'une cellule somatique en phase G<sub>1</sub>.
- possède exactement les mêmes molécules d'ADN que celles d'une cellule en phase G<sub>1</sub>.
- a des molécules d'ADN toutes différentes les unes des autres.
- a des molécules d'ADN semblables deux à deux.
- réplique son ADN pour préparer la deuxième division.

#### 2. Au cours de la deuxième division de méiose:

- les chromosomes homologues se séparent.
- les deux chromatides de chaque chromosome se séparent.
- les deux cellules résultant de cette division sont génétiquement différentes.
- le taux d'ADN de chaque cellule fille est égal au ¼ de celui d'une cellule en phase G<sub>1</sub>.
- le taux d'ADN de chaque cellule fille est égal au ¼ de celui d'une cellule en phase G<sub>2</sub>.

#### 3. Au cours de la fécondation:

- il y a fusion des chromosomes d'origine paternelle et d'origine maternelle.
- les informations fournies par le spermatozoïde et l'ovule sont identiques.
- les spermatozoïdes porteurs d'un chromosome X ont plus de chance de féconder un ovule que ceux porteurs du chromosome Y.
- le sexe du nouvel individu est déterminé par les chromosomes sexuels apportés par l'ovule.

#### 4. - Au terme du stade de différenciation de la gamétogenèse, le nombre de spermatozoïdes obtenu est :

- le double du nombre des spermatocytes I
- la moitié du nombre des spermatocytes I
- égal au nombre des spermatocytes I
- quatre fois le nombre des spermatocytes I

#### 5. La liste ci-dessous indique un certain nombre de mécanismes biologiques intéressant la cellule. Dites ceux qui ont lieu durant:

- une mitose.
- la première division de la méiose.
- la deuxième division de la méiose.
- a. réplication des molécules d'ADN durant l'interphase qui précède la division.
- b. appariement des chromosomes homologues.
- c. échanges entre chromatides de chromosomes homologues.
- d. disposition des chromosomes individuellement à l'équateur de la cellule.
- e. séparation de deux chromatides de chaque chromosome.
- f. séparation des chromosomes homologues.

## Exercice 6

Les prêles sont des plantes sans fleurs possédant des rhizomes (tiges souterraines) sur lesquelles se développent deux types de tiges aériennes :

- les unes stériles, vertes portant des feuilles réduites ;
- les autres fertiles, généralement non chlorophylliennes se terminant par un épi fertile constitué d'un certain nombre d'écailles portant des organes(A).

Chaque organe (A) contient des cellules subissant chacune deux divisions successives à la suite desquelles une cellule –mère (possédant 216 chromosomes) donne naissance à 4 cellules (a) à (108 chromosomes).

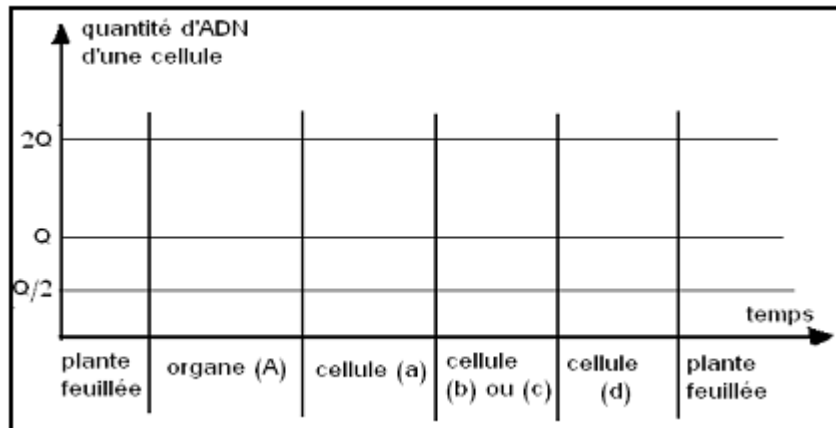
Les cellules (a) sont inégales : les unes de grande taille, les autres de petite taille. Par mitoses successives, ces cellules (a) donnent des prothalles mâles ou femelles selon la grosseur de la cellule.

Les prothalles mâles renferment des organes (B) qui libèrent plusieurs cellules

mobiles (b) ; les prothalles femelles renferment des organes (C) qui contiennent chacun une grosse cellule immobile (c).

Dans l'eau, les cellules (b) nagent vers l'organe (C) pour féconder la cellule (c) ; il en résulte une cellule (d) capable par mitoses de donner une plante feuillée porteuse des organes (A).

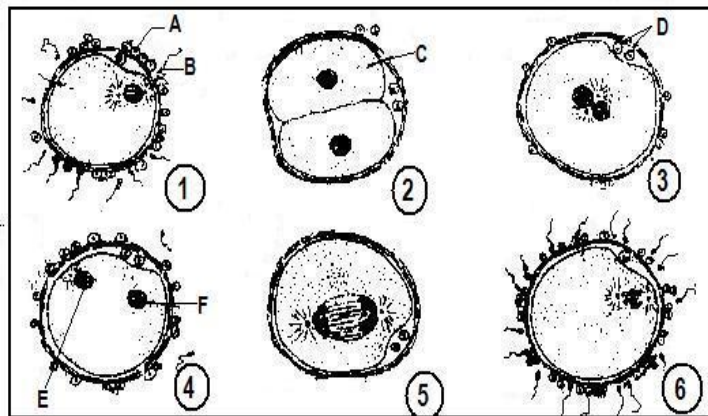
- 1- Donnez en justifiant votre réponse, les noms précis des éléments : (A), (a), (B), (b), (C), (c) et (d).
- 2- Etablissez le cycle de développement de cette plante et placez sur ce cycle le cycle chromosomique.
- 3- Construisez le graphique de la variation du taux d'ADN d'une cellule au cours des différentes étapes du cycle de développement de cette plante en précisant le nom des phénomènes rencontrés, directement sur le graphique. Pour cela, complétez le document ci-dessus.



### Exercice 7

Plusieurs lapines sont, dans un premier temps, accouplées avec des mâles fertiles. Ces lapines sont ensuite sacrifiées une à une, à des intervalles de temps réguliers. On prélève alors, dans leurs oviductes, des «œufs» en cours de développement puis on les observe au microscope.

Les dessins du document ci-contre représentent quelques aspects des phénomènes qui se déroulent dans l'oviducte après l'accouplement.



1. Annotez les dessins en vous aidant des données sur le nombre de chromosomes de chaque cellule (A=44; B=22 ; C=44 ; D=22 ; E=22 ; F=22).
2. Placez les dessins dans l'ordre chronologique puis donnez succinctement une description des phénomènes observés.
3. Représentez, graphiquement, l'évolution de la quantité d'ADN au cours de ces différentes étapes de la fécondation. Puis interprétez la courbe obtenue.

# DEUXIEME PARTIE : ÉCOLOGIE

## CIRCULATION DE MATIERES ET D'ÉNERGIE DANS L'ÉCOSYSTÈME.

### I- Productivité des écosystèmes.

#### A. Chaîne alimentaire

« Dans un écosystème, les liens qui unissent les espèces sont le plus souvent d'ordre alimentaire. On distingue trois catégories d'organismes :

- les producteurs (les végétaux chlorophylliens), qui consomment de la matière minérale et produisent de la matière organique: ce sont des autotrophes ;
- les consommateurs (les animaux), qui peuvent être de premier ordre (phytophages), de deuxième ordre ou plus (les carnivores) et qui sont des hétérotrophes ;
- les décomposeurs (les bactéries, champignons) qui dégradent les matières organiques de toutes les catégories, et restituent au milieu les éléments minéraux.

Ces relations forment des séquences, où chaque individu mange le précédent et est mangé par celui qui le suit, on parle de chaîne alimentaire (en théorie) ou de réseau alimentaire. Dans un réseau alimentaire, on observe que lorsque l'on passe d'une chaîne trophique à l'autre (maillon du réseau), le nombre d'êtres vivants diminue.

Ces notions ont aussi donné naissance au terme de biomasse (masse totale de matière vivante en un lieu donné), de productivité primaire (accroissement de la masse des végétaux pendant un temps donné) et de productivité secondaire (masse de matière vivante produite par les consommateurs et les décomposeurs en un temps donné).

Ces deux dernières informations sont essentielles, puisqu'elles permettent d'évaluer le nombre d'êtres vivants pouvant être supportés par un écosystème donné, ce qu'on nomme la capacité porteuse. En effet, l'observation d'un réseau alimentaire montre que toute l'énergie contenue au niveau des producteurs n'est pas totalement transférée au niveau des consommateurs. Ainsi, d'un point de vue énergétique, est-il plus intéressant pour l'homme de se comporter en consommateur primaire (de se nourrir de grains et de légumes) qu'en consommateur secondaire (de se nourrir de viande bovine), et plus encore qu'en consommateur tertiaire (en se nourrissant de carnivores).

La productivité des écosystèmes est parfois estimée en comparant trois ensembles terrestres et un ensemble continental :

- l'ensemble *forêt* (1/3 de la surface émergée) représente une forte biomasse et une forte productivité. La production totale des forêts correspond à la moitié de la production primaire.
- les savanes, prairies et marais (1/3 de la surface émergée) représentent une faible biomasse, mais une bonne productivité. Ces écosystèmes représentent la majeure partie de ce qui « nourrit » l'espèce humaine.
- les écosystèmes terrestres extrêmes (déserts, toundra, prairies alpines, steppes) (1/3 de la surface émergée) ont une biomasse et une productivité très faibles.
- enfin, les écosystèmes marins et d'eau douce (3/4 de la surface totale) représentent une très faible biomasse (en dehors des zones côtières).

Les actions humaines des derniers siècles ont porté à réduire notablement la surface forestière (déforestation) et à augmenter les agroécosystèmes (pratique de l'agriculture). Ces dernières décennies, une augmentation de la surface occupée par des écosystèmes extrêmes est observée (désertification). » [fr.wikipedia.org](http://fr.wikipedia.org)

## **B. Rendement écologique**

« La notion de transformation d'énergie entraîne inévitablement celle de rendement. Au niveau des producteurs, toute l'énergie utilisée provient du soleil, mais la plante n'utilise guère que 1% de l'énergie reçue. Quant aux substances organiques élaborées, elles doivent être divisées en deux lots :

1° Les unes servent à l'édification de tissus nouveaux (bois, feuilles). Elles participent à l'augmentation de la biomasse, donc à l'accroissement de l'énergie chimique potentielle accumulée par la plante.

2° Les autres sont « brûlées » au cours des oxydations respiratoires et l'énergie ainsi libérée est dissipée dans le milieu ambiant sous forme de chaleur.

La comparaison des deux séries de chiffres montre que 50% de l'énergie est utilisée pour la respiration, ce taux est un peu moins élevé en période de croissance alors que l'élaboration de matière vivante est accélérée.

L'énergie emmagasinée par les producteurs n'est pas intégralement utilisée par les consommateurs de premier ordre (animaux végétariens). Une partie importante du végétal n'est pas consommée ; une autre partie, non utilisable par l'organisme animal, se retrouve dans ses excréments et sera la proie des décomposeurs. Les pertes d'énergie sont donc considérables et le rendement de l'opération est inévitablement très mauvais.

Les pertes sont plus grandes chez un animal à « sang chaud » que chez un animal à « sang froid » car, dans le premier cas, un complément d'énergie est utilisé pour maintenir l'organisme à température constante. Le rendement est réduit d'autant, et on s'explique ainsi que le tonnage de protéines produit par une terre aménagée en étang pour poissons herbivores soit plus important que le tonnage produit par la même terre exploitée en herbage pour le bétail.

Aux niveaux supérieurs de la chaîne (prédateurs), des pertes analogues sont réalisées et le rendement énergétique, rapporté à l'énergie solaire reçue par la biocénose, peut être inférieur à un millionième.

Ces résultats montrent que le rendement énergétique d'une chaîne est d'autant meilleur que le nombre d'étages de la pyramide est plus faible. La baleine, qui se nourrit exclusivement de plancton, présente un rendement remarquablement élevé. Quand un être à régime mixte, comme l'homme, voit sa densité de population s'accroître au-delà des limites raisonnables, il n'a pas « d'autres solutions que de supprimer un étage de la pyramide des énergies, ce qui revient à adopter un régime à prédominance végétarienne. » F. Bourlière & M. Lamotte

## **II- Rôle du sol.**

### **A. Définition**

« Le sol représente la couche superficielle, meuble, de la croûte terrestre, résultant de la transformation de la roche mère enrichie par des apports organiques. On différencie le sol de la croûte terrestre par la présence de vie.

Le sol est le support des cultures, mais aussi pour partie leur produit, tout particulièrement l'humus dont la perte fragilise le sol

- On considère qu'un bon sol agricole est constitué de 25% d'eau, 25% d'air, 45% de matière minérale et de 5% de matière organique. Le tassement et la semelle de labour peuvent induire une perte de rendement de 10 à 30 %.
- Les pédologues estiment que la partie arable ne constitue que la partie superficielle du sol. Le pédologue Albert Demolon a défini le sol comme étant « la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants ».
- Les responsables de l'aménagement du territoire distinguent les sols agricoles, les sols boisés, les sols bâtis et les autres sols.

La science qui étudie les sols, leur formation, leur constitution et leur évolution, est la pédologie. Plus généralement, aujourd'hui, on parle de science du sol, englobant ainsi toutes les disciplines (biologie, chimie, physique) qui s'intéressent pro parte au sol.

La fraction minérale représente l'ensemble des produits de la dégradation physique puis chimique de la roche mère.

On peut les classer par diamètres décroissants :

- les sables
- les limons
- l'argile granulométrique.

Tous ces éléments constituent le « squelette » du sol. ». fr.wikipedia.org

### **B. Caractéristiques du sol**

« La matière organique du sol peut être définie comme une matière carbonée provenant de la décomposition et du métabolisme d'êtres vivants végétaux, animaux et microbiens. Elle constitue l'humus. Elle est composée d'éléments principaux (le carbone-C, l'hydrogène-H, l'oxygène-O et l'azote-N) et d'éléments secondaires (le soufre-S, le phosphore-P, le potassium-K, le calcium-Ca et le magnésium-Mg).

Elle se répartit en 4 groupes :

- la matière organique vivante, animale, végétale et microbienne, qui englobe la totalité de la biomasse en activité ;
- les débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats), animale (déjections, cadavres) et microbienne (cadavres, exsudats) appelés « matière organique fraîche » ;
- des composés organiques intermédiaires, appelés matière organique transitoire (évolution de la matière organique fraîche) ;
- des composés organiques stabilisés, les matières humiques ou humus, provenant de l'évolution des matières précédentes.

La végétation fournit des débris végétaux qui constituent la litière ou horizon OL. Sa décomposition se fait sous l'action de la microflore et de la faune du sol, et produit l'humus et des composés minéraux. Les deux processus sont d'une part la minéralisation (produisant les composés minéraux tels que le CO<sub>2</sub>, le NH<sub>3</sub>, les nitrates et les carbonates) et l'humification (polymérisation en composés organiques amorphes qui migrent ou se lient aux argiles et aux hydroxydes métalliques). Le processus d'humification aboutit à la formation de l'humus.

### **Les différents types de sols**

Il existe un grand nombre de types de sols, parmi lesquels les sols bruns, les podzols, les sols hydromorphes (à gley ou pseudo-gley), les sols rouges, les sols isohumiques, les sols ferralitiques, les sols ferrugineux. Voir la liste des sols ou la classification française des sols pour plus de détails.

### **Fonctions.**

Les sols ont plusieurs fonctions. Ainsi, selon les critères du Service d'Information des Sols Africains (ASIS) du Centre International d'Agriculture Tropicale (CIAT), un sol est considéré comme sain lorsque il parvient à la fois à :

- héberger un écosystème ;
- produire des récoltes ;
- stocker le carbone et l'azote de l'atmosphère ;
- retenir les eaux de pluie et de ruissellement.

Le sol a aussi un rôle très important dans la dispersion et la dégradation des polluants.

### **Qualité d'un sol**

Elle concerne les aptitudes d'un sol à remplir ses fonctions de production agricole, sylvicole ou écologique et sa résilience. Elle est mesurée par ses composantes biologiques (bioindicateurs, tels que vers de terre), la fertilité, son état sanitaire (au sens large), à comparer avec un stade climacique ou idéal, qui varie selon la zone biogéographique et l'altitude et le

contexte considérés. On cherche maintenant à mesurer les risques environnementaux portant sur l'eau et l'air et les risques liés aux inondations/sécheresses, nitrates, pesticides, aérosols, etc.

On différencie les impacts de polluants biodégradables (nitrates) de polluants non dégradables (éléments traces métalliques ou ETM), et on s'intéresse à leurs voies de dissémination ou aux synergies qu'ils peuvent développer avec d'autres polluants ou éléments du système sol. ».

fr.wikipedia.org

### **C. Les sols mauritaniens**

« On distingue, en Mauritanie, cinq types de sol :

- Les sols minéraux bruts des déserts, ainsi appelés car ils sont pauvres en matière végétale, occupent la majeure partie du territoire où les pluies insignifiantes et les grands écarts thermiques ne permettent que certaines modifications physiques des roches dures sans attaquer leur composition.

L'absence quasi totale de végétation rend à peu près nulle son action sur les sols.

Ces sols sont classés dans deux types:

- sols d'apport: se rencontrent dans les grands ergs, vastes étendues de sables apportés par le vent (Le Mreyé, Ouarane) qui se superposent et se stratifient sans se cimenter. Cependant, dans le sud, les pluies déposent de fines gouttelettes d'eau qui donnent aux sables une certaine cohésion ;

- sols d'ablation: se développent sur des roches altérées dans le passé. Ils forment des regs de sables grossiers, de graviers ou de cailloux. Ils résultent de l'usure des roches par le vent (érosion éolienne). Mais cette action a été très différente suivant les époques.

- Les sols jeunes en évolution : Plus épais que les précédents, on distingue:

- ceux d'origine climatique qui se forment sur des roches sédimentaires ou sur des terrains sableux apportés par le vent ;

- ceux qui ne sont pas d'origine climatique et qui sont des sols qui se développent sur les sables littoraux ou sur des terrains sableux contenant plus ou moins d'argile ;

- Enfin, il y a aussi des sols encore peu évolués qui se forment sur des dépôts marins ou lacustres et qui sont associés à des sols salins.

- Les sols isohumiques: sont des sols que l'on rencontre dans les zones semi-arides. Ils sont caractérisés par une assez grande teneur d'humus, matière provenant de la décomposition d'éléments végétaux et animaux, qui va en décroissant avec la profondeur. Ils contiennent du fer en quantité suffisante pour leur donner une couleur rougeâtre. Ce sont des sols jeunes ou des sols peu évolués.

- Les sols hydromorphes: sont des sols dont les caractères sont dus, en grande partie, à la présence temporaire ou permanente de l'eau d'ou leur appellation. Ils n'apparaissent que dans le sud du pays sous forme d'une bande qui longe le Sénégal où ils se sont développés sur des alluvions ou, dans la région du Rkiz, sur des terrains argileux.

Lorsque l'eau est en excès, il y a engorgement du terrain et ces sols sont alors appelés sols hydromorphes à gley. Ces sols, très compacts et imperméables, sont traditionnellement plantés de mil et de riz.

- Enfin, les sols halomorphes: c'est-à-dire des sols caractérisés par la présence de sodium, de potassium ou de composés chimiques solubles. On les trouve dans la région littorale ou dans certaines cuvettes sans écoulement vers la mer. Ces sols sont excessivement compacts et imperméables, et la présence des éléments chimiques que l'on vient de citer les rend totalement impropres à la culture. » Christian Barbey avec des modifications.

### III. Cycles de quelques éléments chimiques

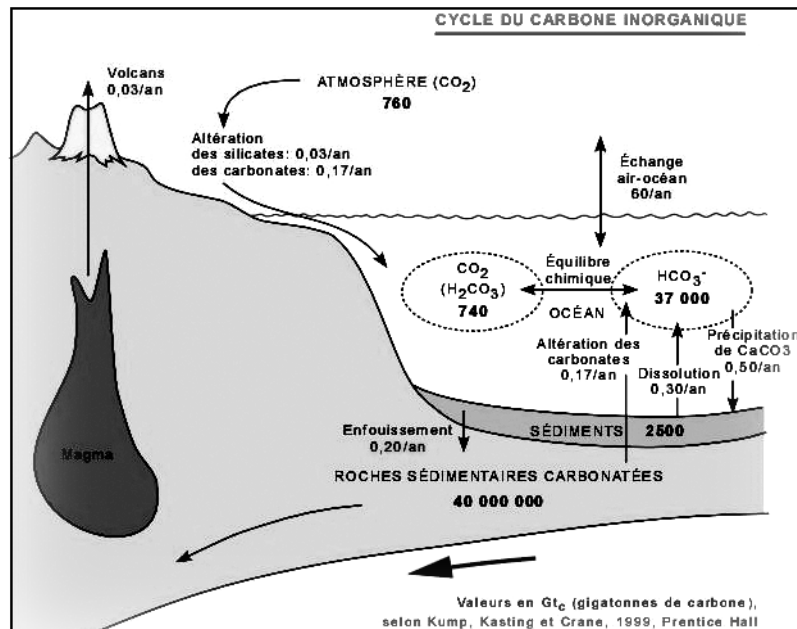
#### A. Cycle du carbone

« Il y a des processus de recyclage du carbone qui impliquent le carbone inorganique, entre autres, celui qui est contenu dans le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et dans les calcaires ( $\text{CaCO}_3$ ).

Les réservoirs importants de  $\text{C}_{\text{inorg}}$  sont l'atmosphère, les océans, ainsi que les sédiments et roches carbonatées, principalement les calcaires  $\text{CaCO}_3$ , mais aussi les dolomies  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ .

Pour bien comprendre ce cycle, il est essentiel d'avoir d'abord quelques notions de base sur la chimie du carbone inorganique dans l'eau.

La figure ci-contre résume le cycle du carbone inorganique, en indiquant la dimension des réservoirs et les flux entre ces réservoirs.



L'échange entre le  $\text{CO}_2$  atmosphérique et le  $\text{CO}_2$  de la surface des océans a tendance à se maintenir à l'équilibre. L'altération chimique des roches continentales convertit le  $\text{CO}_2$  dissout dans les eaux météoriques (eaux de pluies et des sols) en  $\text{HCO}_3^-$  qui est transporté dans les océans par les eaux de ruissellement. Les organismes combinent ce  $\text{HCO}_3^-$  au  $\text{Ca}^{2+}$  pour sécréter leur squelette ou leur coquille de  $\text{CaCO}_3$ . Une partie de ce  $\text{CaCO}_3$  se dissout dans la colonne d'eau et sur les fonds océaniques; l'autre partie s'accumule sur les planchers océaniques et est éventuellement enfouie pour former des roches sédimentaires carbonatées. Ces dernières sont ramenées à la surface après plusieurs dizaines de millions d'années par les mouvements tectoniques liés à la tectonique des plaques.

Une partie du carbone des roches carbonatées est recyclée dans les magmas de subduction et retournée à l'atmosphère sous forme de  $\text{CO}_2$  émis par les volcans. ».

#### B. Cycle de l'azote

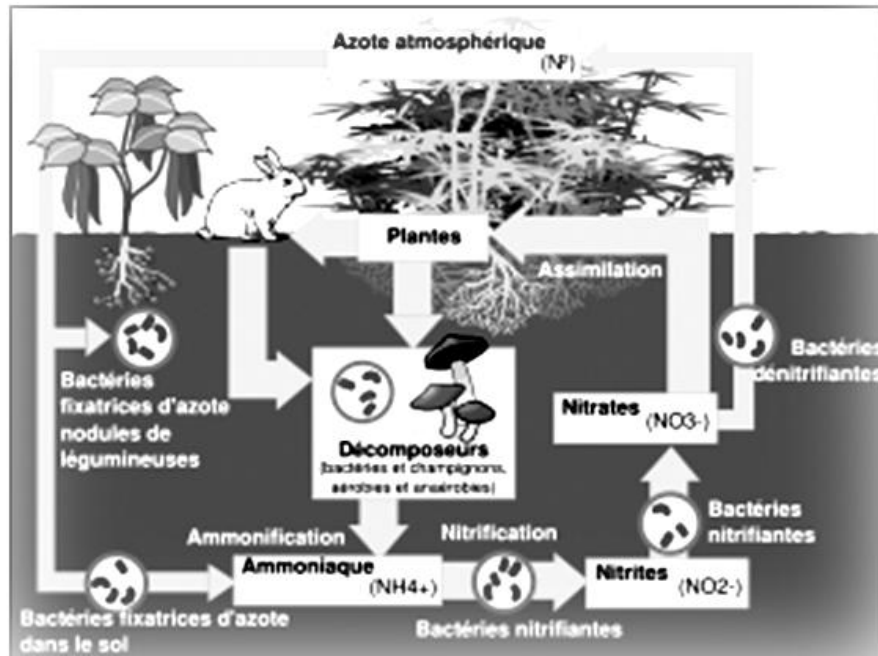
« L'atmosphère est la principale source d'azote, sous forme de diazote, puisqu'elle en contient 79 % en volume. L'azote, composé essentiel à de nombreux processus biologiques, se retrouve entre autres dans les acides aminés constituant les protéines, et dans les bases azotées présentes dans l'ADN. Des processus sont nécessaires pour transformer l'azote atmosphérique en une forme assimilable par les organismes. L'azote atmosphérique est fixé par des bactéries présentes dans le sol, telles qu'*Azobacter vinelandii*, grâce à une enzyme, la nitrogénase. Celle-ci qui produit de l'ammoniac  $\text{NH}_3$  à partir de l'azote atmosphérique et de l'hydrogène de l'eau. Certaines de ces bactéries, comme *Rhizobium*, vivent en symbiose avec des plantes, produisant de l'ammoniac et puisant des glucides de la plante dans la rhizosphère. L'ammoniac peut aussi provenir de la décomposition d'organismes morts par des bactéries saprophytes sous forme d'ions ammonium  $\text{NH}_4^+$ .

Dans les sols bien oxygénés, mais aussi en milieu aquatique oxygéné, des bactéries transforment l'ammoniac en nitrite  $\text{NO}_2^-$ , puis en nitrates  $\text{NO}_3^-$ , au cours du processus de nitrification.

On peut décomposer cette transformation en nitrification et nitratisation.

Les végétaux absorbent grâce à leurs racines les ions nitrate  $\text{NO}_3^-$  et, dans une moindre mesure, l'ammonium présent dans le sol, et les incorporent dans les acides aminés et les protéines. Les végétaux constituent ainsi la source primaire d'azote assimilable par les animaux.

En milieu Anoxique, (sol ou milieu aquatique non oxygéné) des bactéries dites dénitrifiantes transforment les nitrates en gaz diazote, c'est la dénitrification. ». fr.wikipedia.org



## Bilan

Dans un milieu, on désigne sous le nom de **production primaire**, la production de matière par les végétaux chlorophylliens, organismes autotrophes. La **production secondaire** est celle d'êtres vivants hétérotrophes des divers niveaux trophiques. Elle dépend de la production primaire.

En milieu aquatique, les principaux producteurs primaires sont des algues unicellulaires microscopiques : elles constituent le phytoplancton.

Le terme de réseau trophique désigne l'ensemble des relations trophiques existant à l'intérieur d'une biocénose entre les diverses catégories écologiques d'êtres vivants constituant cette dernière (producteurs, consommateurs, décomposeurs).

Une chaîne alimentaire est une suite d'êtres vivants de différents niveaux trophiques dans laquelle chacun mange des organismes de niveau trophique inférieur dans le but d'acquérir de l'énergie.

On distingue trois catégories d'organismes :

- les producteurs (surtout les végétaux chlorophylliens, capables, grâce à la photosynthèse, de fabriquer de la matière organique à partir de dioxyde de carbone et de lumière solaire, mais aussi d'autres organismes autotrophes, certains étant à la base de chaînes alimentaires totalement indépendantes de l'énergie solaire.)
- les consommateurs (les animaux) ; il existe trois types de consommateurs :
  - les *herbivores* qui se nourrissent des producteurs, on les appelle aussi consommateurs primaires
  - les *carnivores primaires* ou encore consommateurs secondaires qui se nourrissent des herbivores
  - les *carnivores secondaires* appelés également consommateurs tertiaires qui se nourrissent des carnivores primaires
- les décomposeurs (les bactéries, champignons) qui dégradent les matières organiques de toutes les catégories et restituent au milieu les éléments minéraux.

Le **rendement écologique** est le rapport entre l'énergie totale contenue dans un **niveau trophique** donné et la quantité d'énergie solaire absorbée par les producteurs primaires.

Le sol renferme un réseau trophique constitué essentiellement de détritivores dont les éléments les plus originaux et les plus efficaces sont des microorganismes décomposeurs : bactéries et champignons.

Les propriétés physico-chimiques d'un sol, et donc sa fertilité, dépendent de l'activité de ces organismes du sol, moteurs des transformations qui s'y déroulent, et, en particulier :

- libération d'ions minéraux à partir de la dégradation de la matière organique du sol,
- synthèse de l'humus, véritable réserve nutritive pour les plantes et élément indispensable à l'établissement d'une structure assurant au sol un bon drainage et une bonne aération.

Le **cycle du carbone** est un cycle biogéochimique qui correspond à l'ensemble des échanges d'éléments carbone sur une planète.

Le **cycle de l'azote** est un cycle biogéochimique qui décrit la succession des modifications subies par les différentes formes de l'azote (diazote, nitrate, nitrite, ammoniac, azote organique).

## Exercices

### Exercice 1

Il existe dans le sol deux genres de Bactéries fixant l'azote atmosphérique ; cette fixation a lieu en culture en présence de sucres. Ce sont :

- les *Azotobacter*, aérobies, qui fixent au maximum 20 mg d' $N_2$  par g de sucre consommé ;
- les *Clostridium*, anaérobies, qui fixent au maximum 12 mg d' $N_2$  par g de sucre consommé.

1- Compte tenu de la comparaison entre respiration et fermentation anaérobie, pouvez-vous interpréter la différence de rendement (en fonction des quantités de sucres consommées) entre les deux bactéries dans la fixation de l'azote ?

2- Un sol tassé ou inondé est-il favorable à la fixation de l'azote? Si cette fixation se produit tout de même, est-elle alors diminuée ? Quel est la bactérie qui reste active alors ?

3- Pouvez-vous justifier que l'*Azotobacter* ait une activité maximale dans un sol relativement sec, alors que celle de *Clostridium* se poursuive dans un sol humide ?

### Exercice 2

La nitrification :

1. Ces courbes permettent-elles de formuler des hypothèses quant aux facteurs limitant la nitrification ? La nature du phénomène permet-elle d'expliquer l'influence de ces facteurs ?

2. On souhaite agir sur la nitrification (dans une culture) :

a- à quel moment est-il souhaitable de l'intensifier ?

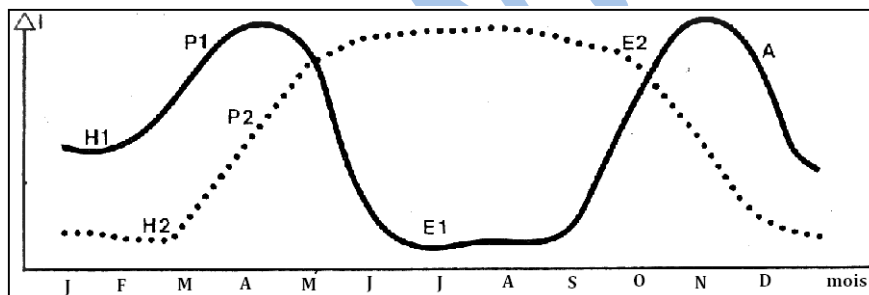
b- sur quel facteur peut-on le plus facilement agir ?

3. Si l'on estime que le manque d'eau peut être une cause bloquant la nitrification, faut-il apporter cette eau :

a- par une inondation permanente du sol avec de l'eau non renouvelée ?

b- par un apport important d'eau circulante (ex. : irrigation forte par canaux), l'excès d'eau étant dirigé vers les rivières ?

-par l'apport d'une quantité d'eau juste suffisante pour rendre humide les couches superficielles du sol, sans écoulement en dehors de la culture (l'irrigation par aspersion ou l'arrosage réalisent bien cette condition).



I : intensité de nitrification (unités arbitraires)

H<sub>1</sub> : hiver doux

P<sub>1</sub> : printemps précoce

E<sub>1</sub> : été chaud et sec

A : pluies d'automne

H<sub>2</sub> : hiver froid

P<sub>2</sub> : printemps tardif.

E<sub>2</sub> : été chaud et humide

### Exercice 3

Rôle des détritivores (Lombrics) dans l'enrichissement minéral du sol :

Éléments minéraux immédiatement disponibles pour la plante	Partie superficielle d'un sol (pour mille de sol sec.)	Tortillons de Lombrics (même sol) (pour mille sol sec.)
Ca <sup>2+</sup>	1,990	2,790
Mg <sup>2+</sup>	0,162	0,492
N (sous forme NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,004	0,022
P (sous forme P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>3-</sup> )	0,009	0,067
K <sup>+</sup>	0,032	0,358
pH	6,4	7,0

1. D'où peut provenir l'enrichissement en substances minérales des excréments du Ver ?

2. Compte tenu de cet enrichissement, pouvez-vous expliquer les différences de pH observées ici ?

#### Exercice 4

« De façon générale, on constate que, si 1 000 kcal/j/m<sup>2</sup> sont fixées par les producteurs, 10 kcal/j/m<sup>2</sup> passent dans la biomasse des herbivores, 1 kcal dans celle des carnivores... Il existe cependant d'importantes variations dans le règne animal. L'efficacité de la conversion d'énergie varie beaucoup d'une espèce à l'autre. Il faut par exemple 10 kcal d'aliments pour obtenir une kcal de bœuf, mais seulement 5 kcal pour 1 kcal de porc et 3,5 kcal pour 1 kcal de poulet... ». On peut traduire ces conversions énergétiques en une « pyramide des énergies » qui peut être complétée à sa base par l'indication de l'énergie reçue par la surface de terrain qui a permis la réalisation de 1 kcal de tissu vivant de Carnivore, le rendement moyen de la production primaire étant de l'ordre de 1 % pour la végétation terrestre (1 kcal = 4,18 kJ).

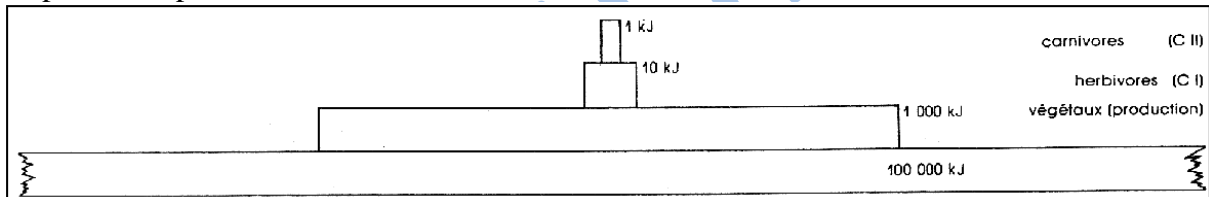
Établissons le bilan de la quantité d'énergie utilisable pour la croissance d'un enfant (calcul bien entendu théorique, car cet enfant a besoin d'une nourriture variée, animale et végétale) à partir de 1 000 kcal de végétaux (ou de 100 000 kcal d'énergie solaire) :

- une alimentation végétale permettrait, du seul point de vue énergétique, la fabrication de 10 kcal de tissus humains ;

- pour une alimentation uniquement à base d'herbivores (bœuf, poissons...) : 1 kcal dans le meilleur cas, 0,1 en appliquant les valeurs moyennes.

• Calculez ce bilan dans le cas (réel) où la consommation porte sur de la volaille nourrie avec de la farine de poissons, avec les rendements approximatifs suivants à chaque niveau : phytoplancton : 10 % ; zooplancton : 10 % ; poisson : 15% ; volaille : 10%.

**N.B.** Pour le lecteur, une telle « pyramide » est considérée comme un volume (pyramide à base carrée ou cône de révolution). Il s'ensuit que la largeur des différents étages doit être proportionnelle à la racine carrée des grandeurs représentées : la dimension exacte de la base n'a pu être respectée.



## **BIBLIOGRAPHIE :**

- **R. Tavernier : Biologie Géologie, Première S, Bordas, 1988.**
- **P. Vincent : Sciences Naturelles, 1<sup>ère</sup> D, Vuibert, 1976.**
- **J.C. Hervé : Sciences et techniques biologiques et géologiques, 2<sup>de</sup>, Hatier, 1987.**
- **R. Tavernier : Biologie Géologie 3<sup>e</sup>, Bordas, 1980.**
- **J. Escalier : Biologie Terminale D, Hachette Lycée, 1989.**
- **C. Camara : Sciences de la vie et de la terre 2<sup>de</sup>, Hachette, 1997.**
- **G. Godet : Nature & Science 3<sup>e</sup>, istra, 1989.**
- **C. Leroy: Biologie 3<sup>e</sup>, Belin, 1989.**
- **C. Fauré: Sciences de la vie et de la terre, 2<sup>e</sup>, Belin, 1993.**
- **J. Escalier : Biologie Terminale D, Fernand Nathan,1981.**
- **A. Delettré : Biologie 3<sup>e</sup>, Nathan, 1989.**
- **R. Tavernier : Biologie Terminale C, Bordas, 1989.**
- **C. Calamand : Biologie Géologie Terminale S, hachette, 1994.**
- **R. Tavernier : Biologie Premières L & ES, Bordas, 1988.**
- **A. Noël : Biologie Géologie, abc, Nathan, 1985.**
- **P. Vincent : Biologie Terminale D, Vuibert, 1980.**
- **Ch. Désiré : Sciences Naturelles Terminale C, Bordas, 1980.**
- **M. Breuil : Dictionnaire des sciences de la vie et de la terre, Nathan, 1997.**

## **TABLE DES MATIÈRES**

<b>AVANT-PROPOS</b>	<b>5</b>
<b>PREMIÈRE PARTIE : BIOLOGIE /PHYSIOLOGIE.</b>	
<b>Chapitre I : Constituants de la matière vivante</b>	
<b>I- Substances minérales</b>	
<b>A. Constituants fondamentaux</b>	<b>6</b>
<b>B. Sels minéraux</b>	<b>6</b>
<b>II- Substances organiques</b>	
<b>A. Glucides</b>	
<b>1. Les oses</b>	
<b>a. Propriétés</b>	<b>7</b>
<b>b. Autres oses</b>	<b>7</b>
<b>c. Formules développées</b>	<b>8</b>
<b>2. Les diholosides</b>	
<b>a. Propriétés</b>	<b>8</b>
<b>b. Autres diholosides</b>	<b>8</b>
<b>c. Formules développées</b>	<b>9</b>
<b>3. Les polyholosides</b>	<b>10</b>
<b>B. Protides</b>	
<b>1. Propriétés</b>	<b>10</b>
<b>2. Classification</b>	<b>11</b>
<b>C. Lipides</b>	
<b>1. Propriétés</b>	<b>12</b>
<b>2. Classification</b>	<b>12</b>
<b>Bilan</b>	<b>13</b>
<b>Exercices</b>	<b>14</b>
<b>Chapitre II : Nutrition des végétaux chlorophylliens</b>	
<b>I- Absorption de l'eau et des sels minéraux</b>	
<b>A. Absorption de l'eau</b>	<b>15</b>
<b>B. Absorption des sels minéraux</b>	<b>15</b>
<b>C. Besoins nutritifs</b>	
<b>1. Milieux de culture</b>	<b>16</b>
<b>2. Cultures sur milieux carencés</b>	<b>16</b>
<b>II- Echanges gazeux chlorophylliens</b>	
<b>A. Mise en évidence de l'absorption du CO<sub>2</sub></b>	<b>17</b>
<b>B. Mise en évidence du dégagement de l'oxygène</b>	<b>17</b>
<b>C. Intensité et quotient chlorophylliens</b>	
<b>1. Définitions</b>	<b>17</b>
<b>2. Influence des facteurs</b>	<b>18</b>
<b>III- La chlorophylle</b>	
<b>A. Localisation</b>	<b>19</b>
<b>B. Extraction des pigments bruts</b>	<b>19</b>
<b>C. Séparation de pigments</b>	<b>19</b>
<b>D. Absorption des radiations</b>	<b>20</b>
<b>IV- Les étapes de la photosynthèse</b>	
<b>A. Réactions photochimiques</b>	<b>21</b>
<b>B. Réactions chimiques dites « sombres »</b>	<b>21</b>
<b>V-Importance écologique de la photosynthèse</b>	<b>21</b>
<b>Bilan</b>	<b>22</b>
<b>Exercices</b>	<b>23</b>

### **Chapitre III : Alimentation de l'homme : digestion.**

#### **I- Etude d'aliments**

**A. Le lait** 25

**B. Le pain** 27

#### **II- Etude d'une digestion**

**A. Notion d'enzyme** 28

**B. Caractères des enzymes** 28

**C. Etapes de la digestion** 29

#### **III- Absorption intestinale**

**A. Villosités** 31

**B. Mécanisme de l'absorption** 31

**C. Voies d'absorption** 32

**Bilan** 33

**Exercices** 34

### **Chapitre IV : Utilisation des nutriments pour la production d'énergie.**

#### **I- Echanges gazeux respiratoires**

##### **A. Mise en évidence**

**1. Chez les animaux** 35

**2. Chez les végétaux** 35

**3. Respiration tissulaire** 35

##### **B. Mesure des échanges respiratoires**

**1. Méthodes** 36

**2. Intensité et quotient respiratoires** 36

#### **II- Transport des gaz respiratoires**

**A. Transport de l'oxygène** 36

**B. Transport du CO<sub>2</sub>** 37

#### **III- Oxydations cellulaires**

**A. Localisation** 37

**B. Mécanisme** 38

#### **IV- Fermentations**

##### **A. Exemples**

**1. Fermentation alcoolique** 38

**2. Fermentation lactique** 39

**B. Caractères généraux des fermentations** 39

**V- Comparaison** 39

**Bilan** 40

**Exercices** 41

### **Chapitre V : Alimentation rationnelle de l'homme.**

#### **I- Besoins qualitatifs**

##### **A. Aliments bâtisseurs**

**1. Eau et sels minéraux** 43

**2. Protides** 43

##### **B. Aliments énergétiques**

**1. Glucides** 44

**2. Lipides** 44

**C. Vitamines** 45

#### **II- Besoins quantitatifs**

**A. Calorimétries** 46

**B. Métabolisme basal** 47

<b>III- Alimentation équilibrée</b>	
<b>A. Notion de ration alimentaire</b>	<b>48</b>
<b>B. Types de rations alimentaires</b>	<b>49</b>
<b>Bilan</b>	<b>51</b>
<b>Exercices</b>	<b>52</b>
<b>Chapitre VI : L'information génétique et sa transmission.</b>	
<b>I- Notion d'information génétique</b>	
<b>A. Localisation</b>	<b>54</b>
<b>B. Support de l'information génétique</b>	
<b>1. Chromosomes</b>	<b>54</b>
<b>2. Réaliser un caryotype</b>	<b>54</b>
<b>3. ADN</b>	<b>55</b>
<b>4. ARN</b>	<b>57</b>
<b>C. Expression de l'information génétique</b>	
<b>1. Code génétique</b>	<b>57</b>
<b>2. Biosynthèse des protéines</b>	<b>57</b>
<b>D. Mutations</b>	<b>59</b>
<b>II- Transmission de l'information génétique</b>	
<b>A. Mitose</b>	
<b>1. Déroulement</b>	<b>60</b>
<b>2. Evolution de la quantité d'ADN</b>	<b>61</b>
<b>B. Méiose</b>	
<b>1. Déroulement</b>	<b>61</b>
<b>2. Evolution de la quantité d'ADN</b>	<b>62</b>
<b>C. Gamétogenèse</b>	
<b>1. Déroulement</b>	<b>62</b>
<b>2. Gamètes</b>	<b>64</b>
<b>D. Fécondation</b>	<b>64</b>
<b>E. Cycles chromosomiques</b>	
<b>1. Cycle diplophasique</b>	<b>66</b>
<b>2. Cycle haplophasique</b>	<b>67</b>
<b>3. Cycle haplo-diplophasique</b>	<b>68</b>
<b>Bilan</b>	<b>69</b>
<b>Exercices</b>	<b>70</b>
<b>DEUXIÈME PARTIE : ECOLOGIE.</b>	
<b>I- Productivité des écosystèmes</b>	
<b>A. Chaînes alimentaires</b>	<b>73</b>
<b>B. Rendement écologique</b>	<b>74</b>
<b>II- Rôle du sol</b>	
<b>A. Définition</b>	<b>74</b>
<b>B. Caractéristiques du sol</b>	<b>75</b>
<b>C. Les sols mauritaniens</b>	<b>76</b>
<b>III- Cycles de quelques éléments chimiques</b>	
<b>A. Cycle du carbone</b>	<b>77</b>
<b>B. Cycle de l'azote</b>	<b>77</b>
<b>Bilan</b>	<b>79</b>
<b>Exercices</b>	<b>80</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>82</b>
<b>Table des matières</b>	<b>83</b>