Université Ferhat Abbas Sétif 1

Institut d'Architecture et des Sciences de la Terre

Département des Sciences de la Terre

Polycopié de BIOLOGIE I

Destiné aux étudiants de la 1ère année licence Géologie

Réalisé par : Dr. BENSLIM A.

BENSLIM A.

Chapitre I : Notion de cyto-physiologie

Comment pouvons-nous suivre **l'évolution biologique** ?

Deux approches sont possibles : (i) l'observation des fossiles de microorganismes dans les dépôts sédimentaires et la construction d'un arbre de **l'évolution** en se basant sur les connaissances des **organismes vivants** contemporains. Cette première approche nécessite la recherche de microorganismes fossilisés, de leurs traces chimiques ou de leurs activités géochimiques ; en utilisant la **géologie** et la **paléontologie**. (ii) la seconde approche suppose l'analyse des séquences de macromolécules telles que l'acide désoxyribonucléique (ADN) ou les protéines. Les séquences de ces molécules permettent de tracer la **chronologie de l'évolution des organismes**.

Il est utile de rappeler les caractéristiques majeures des organismes vivants sur Terre actuellement. La première caractéristique commune à tous les organismes vivants est leur composition en **unités** élémentaires appelée **cellules** d'où la **théorie cellulaire de la vie**.

Historique

Les cellules ne peuvent pas être observées à l'œil nu en raison de leur très petite taille. L'histoire de la biologie cellulaire est donc étroitement liée au perfectionnement d'un appareil optique agrandissant : le **microscope**. Les premiers microscopes composés ont été mis au point à la fin du XVI^{ème} siècle ce qui a activé les recherches sur les objets microscopiques.

L'histoire de la **biologie cellulaire** peut être résumée comme suit :

- En 1665, l'anglais Robert Hooke propose, pour la première fois, le terme **cellule** (petite chambre) en observant des coupes de liège avec un microscope simple à une seule lentille
- En 1674, le hollandais Antony Van Leeuwenhoek décrit plusieurs microorganismes vivants « **Animalcules** »
- Entre 1838 et 1839, les allemands Mathias Schleiden et Theodor Schwann, suite à l'observation de multiples organismes animaux et végétaux, parviennent à la formulation de la **théorie cellulaire** à travers deux principes :

BENSLIM A.

Principe 1 : Tous les organismes sont constitués d'une ou de plusieurs cellules.

Principe 2 : La cellule est l'unité structurale de la vie.

- En 1855, Louis Pasteur a par la suite réfuté la **génération spontanée**. La même année, l'allemand Rudolph Virchow a énoncé le **3ème principe :**

Principe 3 : Les cellules ne peuvent provenir que de la division d'une cellule préexistante (*omnis cellula ex cellula*)

Ainsi, Les progrès incessants dans les équipements microscopiques ont permis l'identification des principales structures cellulaires.

I- Définition de la cellule

La **cellule** correspond à la plus petite unité **constructive** et **fonctionnelle** de tous les **organismes biologiques**. Elle **synthétise** l'ensemble ou presque de ses **constituants** en utilisant les éléments du milieu extracellulaire : elle **croît** et elle se **multiplie**.

II- Constituants chimiques de la cellule

Les êtres vivants sont composés de trois types de matières qu'on peut découvrir successivement lorsqu'un échantillon vivant est exposé à la chaleur : l'eau, la matière organique et les éléments minéraux.

1- L'eau

L'eau est **indispensable** à toutes les cellules vivantes. Les différentes formes de vie en évolué dans l'eau et sans eau il n'y a pas de vie possible. L'eau est le solvant des cellules vivantes qui sont composées de 60 à 95% d'eau. Par sa nature polaire, l'eau attire les autres molécules polaires et les ions (**hydrophiles**) et repousse les molécules apolaires (**hydrophobes**).

2- Les substances organiques

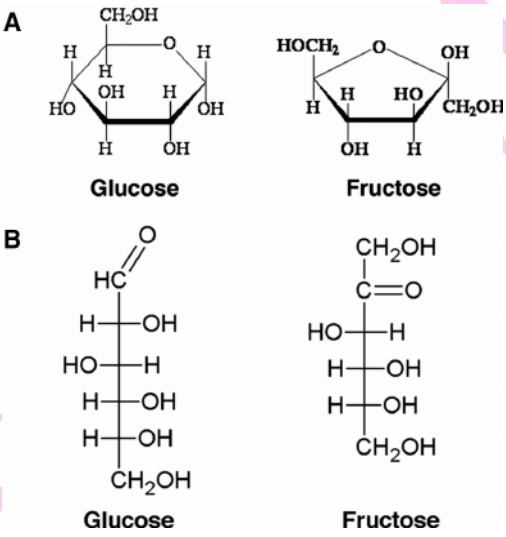
Ce sont des molécules dont l'atome principal est le **carbone**. La molécule la plus simple est le méthane qui comprend un atome de carbone associé à quatre atomes d'hydrogène (CH_4). Il existe quatre types de molécules organiques : les glucides, les lipides, les protéines et les acides nucléiques.

BENSLIM A.

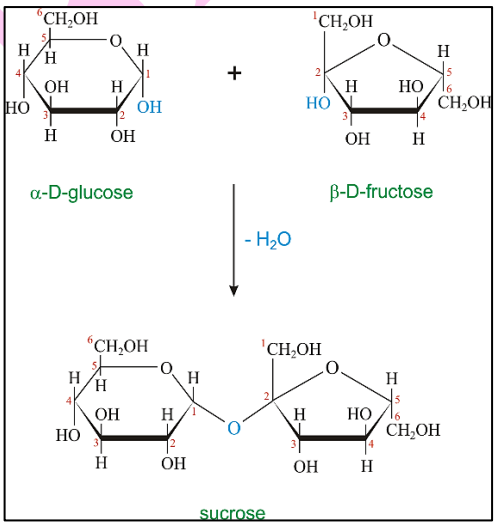
2.1- les glucides

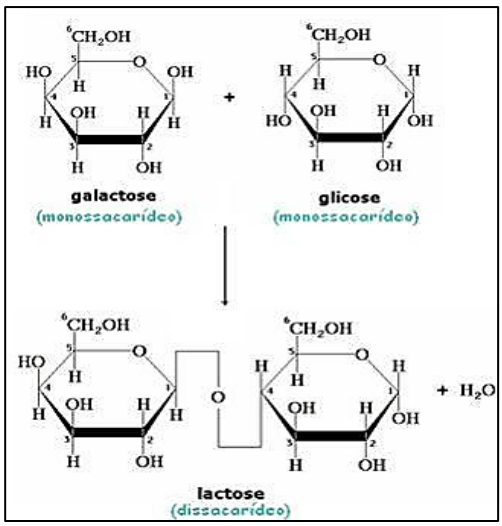
Egalement appelés *sucres, saccharides, hydrates de carbone*,…. Ils constituent la principale source d'énergie pour la plupart des organismes ; et entre également dans la composition d'éléments de structure comme les acides nucléiques, les parois cellulaires, etc. Les glucides contiennent le carbone, l'oxygène et l'hydrogène formant des **monomères** et leurs **polymères**. Le nom des glucides se termine par ose. On distingue :

➢ Les ***monosaccharides*** : ce sont les glucides les plus simples avec une formule chimique constituée d'un multiple de (CH_2O). Les plus connus sont le glucose (sucre du sang) et le fructose (sucre des fruits).

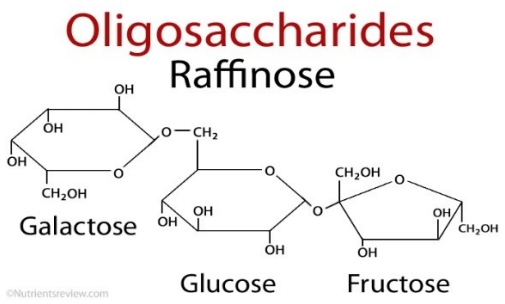


➢ Les ***disaccharides*** : c'est l'association de **deux** monosaccharides par une **liaison osidique**. Les plus connus des disaccharides sont le saccharose et le lactose.





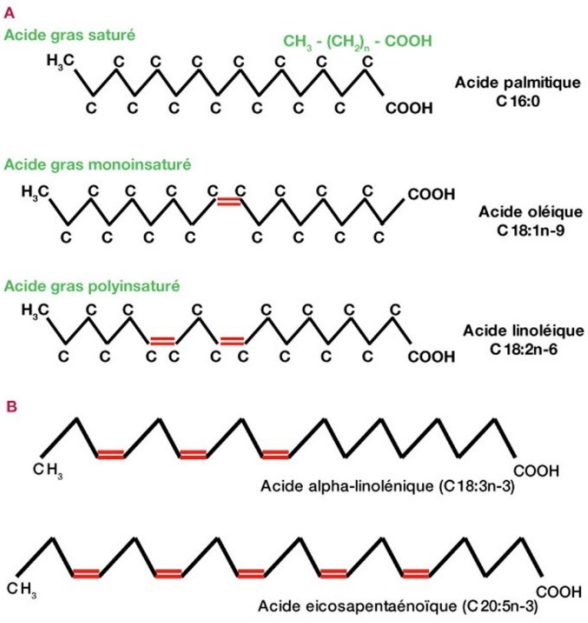
➢ Les ***polysaccharides*** : C'est l'association d'un grand nombre de monosaccharides par des **liaisons osidiques** pour former des **polymères**. Les plus connus sont l'amidon qui constitue la forme de réserve dans les graines (haricot) ou les tubercules ; la cellulose qui est le principal constituant de la paroi végétale et le peptidoglycane de la paroi bactérienne.



2.2. Les lipides

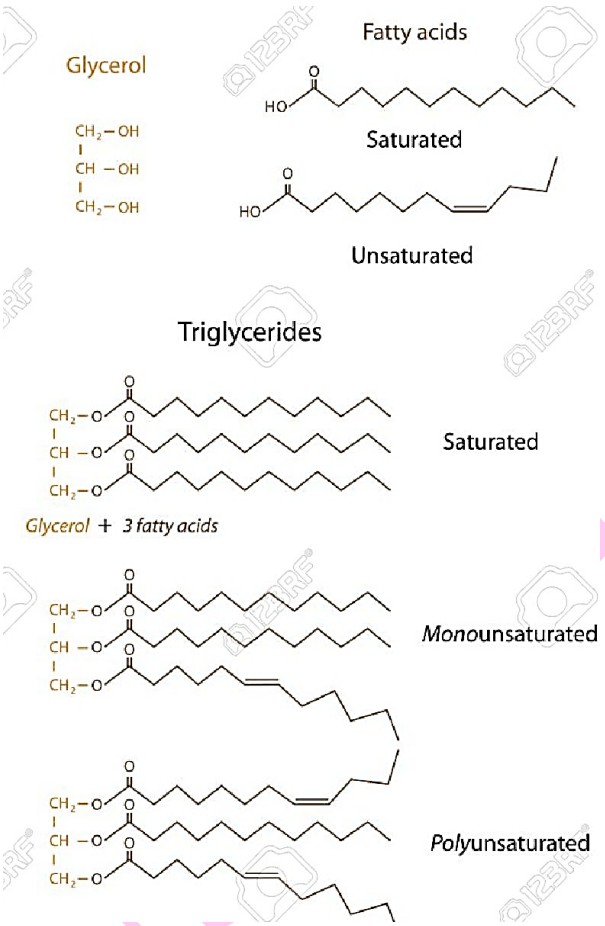
Ce sont des molécules **hydrophobes** ou **amphiphiles** (molécules hydrophobes possédants un domaine hydrophile) très diversifiées. Ils Comprennent entre autres les graisses, les cires, les huiles, les vitamines liposolubles, les triglycérides, ou encore les phospholipides.

Les lipides de la classe des **triglycérides** et des **phosphoglycérides**. sont constitués d'**acides gras** associés généralement à un **glycérol** par une liaison **ester**. Les acides gras sont de longues chaînes carbonées à nombre pair de carbones et portant une **fonction acide** au niveau du carbone1. Ces acides gras peuvent être : (i) **saturés** s'ils ne comprennent que des simples liaisons ou (ii) **insaturés** s'ils portent au moins une double ou triple liaison.

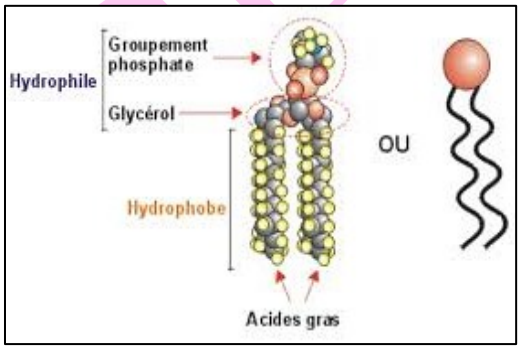


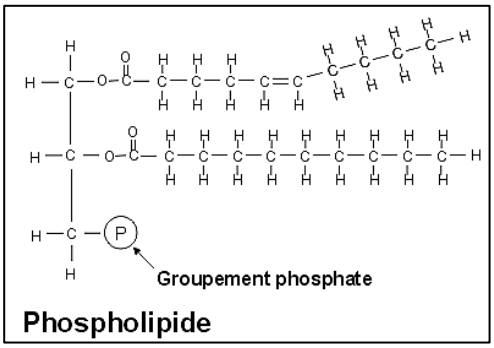
BENSLIM A.

Les acides gras peuvent se lier à une molécule de glycérol par une liaison ester pour former un **triglycéride**.



L'association du glycérol avec deux acides gras et un groupement phosphate donne un lipide amphiphile : c'est un **phospholipide**.



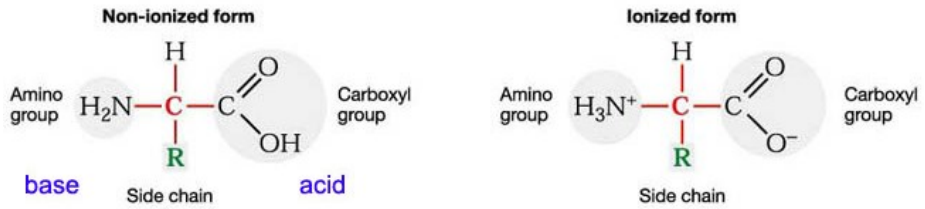


Les rôles des lipides sont multiples : constitution de la bicouche lipidique des membranes, source importante d'énergie pour la cellule, forme de réserves chez les végétaux (graines oléagineuses) et chez les animaux (tissus adipeux), etc.

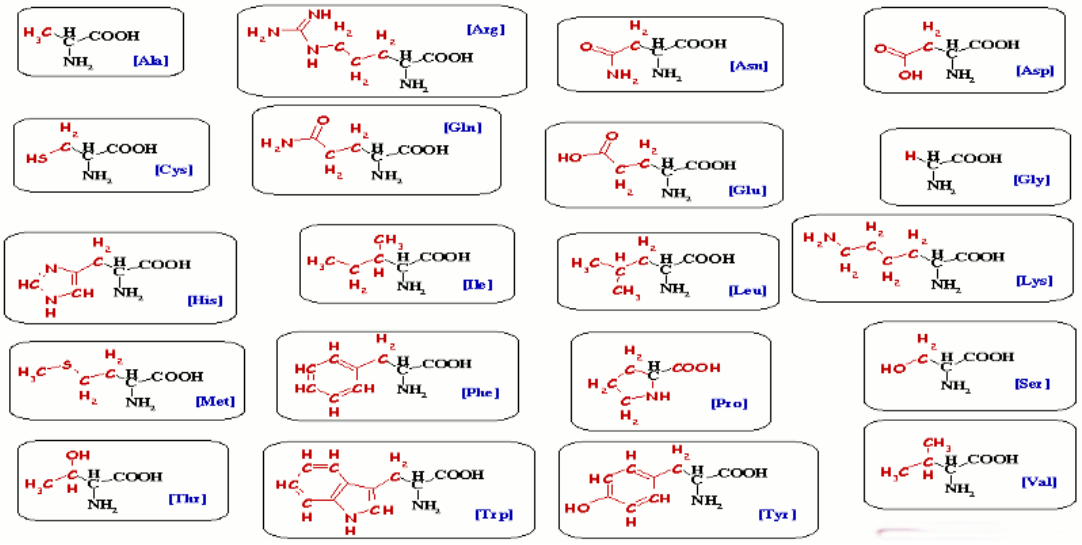
2.3. Les acides aminés et les protéines

Les **protéines** sont des éléments primordiaux pour tous les organismes vivants et elles assurent la plupart des fonctions cellulaires. Elles sont impliquées dans les voies de **biosynthèse**, de **production d'énergie** et sont des éléments de structures. Les monomères qui composent les protéines sont des **acides aminés**.

Un acide aminé est une molécule carbonée comprenant un groupe carboxyle (-COOH), un groupe amine (-NH2) et une chaîne latérale variable (-R) qui diffère entre les 20 acides. Les acides aminés sont des molécules **amphotères**. En milieu acide, ils se comportent comme une base et captent un proton (charge +) ; en milieu basique, ils se comportent comme un acide et perdent un proton (charge -).



Les acides aminés peuvent avoir différentes propriétés selon la nature de leur chaîne latérale.



Les acides aminés se lient entre eux en chaînes peptidiques par des **liaisons** covalentes dites **peptidiques** (CO-NH). On parle de **structure primaire** des protéines. Différentes interactions au sein des chaînes peptidiques donnent une structure **secondaire**, **tertiaire** puis **quaternaire** aboutissant à une **structure tridimensionnelle** particulière permettant la fonctionnalité de la protéine.

III- Organisation générale de la cellule

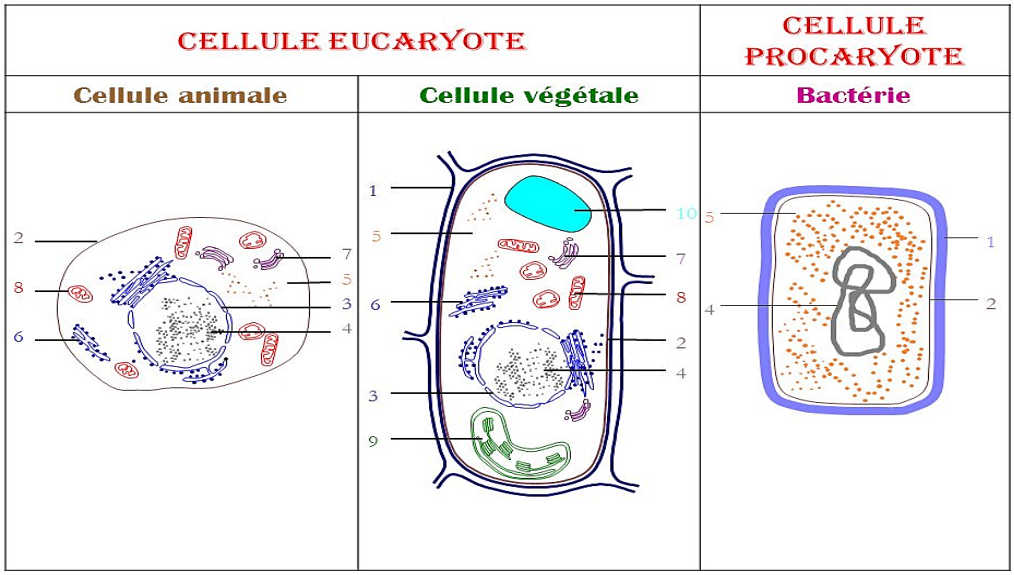
Les cellules possèdent trois groupes majeurs de **composants structuraux** :

- Le **cytoplasme**, milieux aqueux de la cellule dans lequel la majorité des activités enzymatiques et métaboliques se déroulent. Les autres composantes y baignent.
- Un **noyau** central qui contient les acides désoxyribonucléiques (ADN), matériel héréditaire se dupliquant pendant la reproduction.
- Une **membrane** cellulaire, ou membrane plasmique, frontière entre le cytoplasme cellulaire et l'environnement.

III-1. Différents types de cellules

Il existe deux types fondamentaux de cellules :

1. Les cellules **procaryotes** (**pro** = primitif et **caryon** = noyau) : cellules sans vrai noyau c'est-à-dire que le matériel génétique n'est pas enfermé dans une enveloppe nucléaire.et sans organites à part des replis de la membrane plasmique dits mérostomes.
2. Les cellules **eucaryotes** (**eu** =vrai, **caryon**= noyau) : le **noyau** est **délimité** par une **enveloppe nucléaire**. Des membranes internes délimitent des compartiments cytoplasmiques appelés organites.



INSLIM A.

IV- Cellules procaryote : Eubactéries

Les organismes **Procaryotes** sont des microorganismes généralement unicellulaires. Leurs matériel génétique est libre dans le cytoplasme non limité par une enveloppe nucléaire ; il forme un **nucléoïde**. Ces organismes vivent isolés ou groupés et dans ce cas, **ne constituent jamais un tissu** mais une **colonie** ou un clone. Les procaryotes sont essentiellement représentés par les **Bactéries.**

Les bactéries sont les plus petits organismes connus doués de métabolisme et capables de croitre et de se diviser aux dépens de substances nutritives. Elles sont subdivisées en :

- **Archéobactéries** qui prennent en compte les cellules méthanogènes, les cellules halophiles et les cellules thermo-acidophiles. Les archéobactéries sont les premières à coloniser les roches nues car elles survivent avec le minimum de ressources.
- **Eubactéries** ou « vraie-bactérie » sont les plus proches des actuelles. Elles prennent en compte les bactéries contemporaines, les **Mycoplasmes** et les **Cyanobactéries**.

Cette partie est consacrée à l'étude des **Eubactéries** :

IV-1- Morphologie

A- Taille

La taille des bactéries est très variable. En moyenne, elle est comprise entre 1 et 10 µm (micromètres). Il existe des tailles extrêmes : les nanobactéries (25 à 200 nm), les mycoplasmes (0.1 à 0.2 µm) et les perles de soufre de Namibie (0.1 à 0.3 mm).

B- Formes et Associations (groupements)

Il existe 4 formes fondamentales : formes arrondies dites **Cocci** (singulier Coccus), formes allongées en bâtonnets dites **Bacilli** (singulier Bacillus), formes en vrilles ou hélicoïdales (**Spirilles** et **Spirochètes**) ; et formes incurvées (**Vibrion**). Cependant il existe autres formes plus spécifiques telles que les bactéries filamenteuses (**Actinomycètes**), fusiformes ou encore multicellulaires (**Cyanobactéries**). Enfin, certaines bactéries changent de forme et n'ont pas une seule forme caractéristique qui ; elles sont dites « pléomorphes »/

Les bactéries peuvent être isolées, groupées en chainettes, en amas,… (Voir tableau).

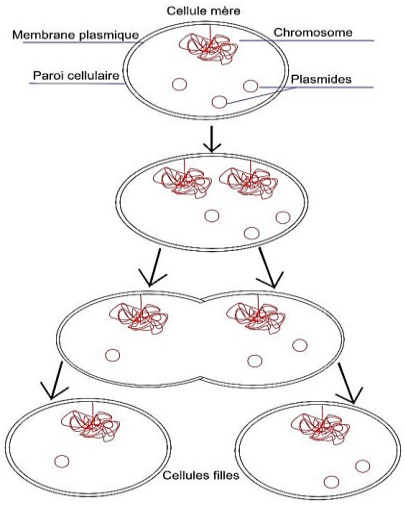
BENSLIMA

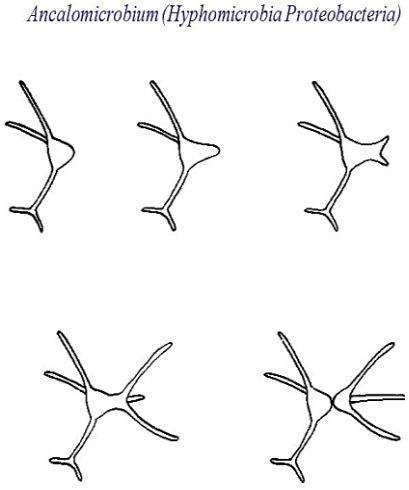
Formes sphériques : coques	Formes allongées
✶Forme ronde : Ex. : *Staphylococcus* ✶Forme ovale (ovoïde) : Ex. : *Streptococcus*	✶ Formes droites : court Long épais fin Bouts ronds bouts carrés Coccobaccile Fusiforme ✶ Formes particulières ➢ Forme incurvée ex : *Vibrio* ➢ Forme spiralée ex : *Treponema*
✶Mode de groupement : ➢ isolé ➢ par deux (diplocoques) ➢ En flamme de bougie ex. : *Streptococcus pneumoniae* ➢ En grain de café ex. : *Neisseria* ➢ Par quatre : tétrade ex : *Micrococcus* ➢ En amas ➢ En chaînette	✶ Modes de groupement : ➢ isolés ➢ diplobacille ➢ En amas ➢ En chaînette ➢ En palissade

C- Reproduction

Les procaryotes unicellulaires se multiplient par reproduction **asexuée** suivant deux voies :

- **La scission binaire** aussi appelée **division** binaire transversale et **fission** binaire. Dans ce processus, la taille de la cellule augmente et l'ADN bactérien se duplique. Ensuite un septum se forme au milieu de la cellule suivant l'axe transversal ; et les deux cellules filles se séparent en deux entités autonomes.
- Le **bourgeonnement :** c'est un processus moins courant chez les procaryotes. Il débute par la formation d'un petit **bourgeon** à la surface de la cellule. Ce bourgeon croit au cours de la croissance cellulaire jusqu'à ce qu'il atteint une taille critique ; il se sépare de la cellule mère (photo : bourgeonnement chez *Ancalomicrobium adetum*).

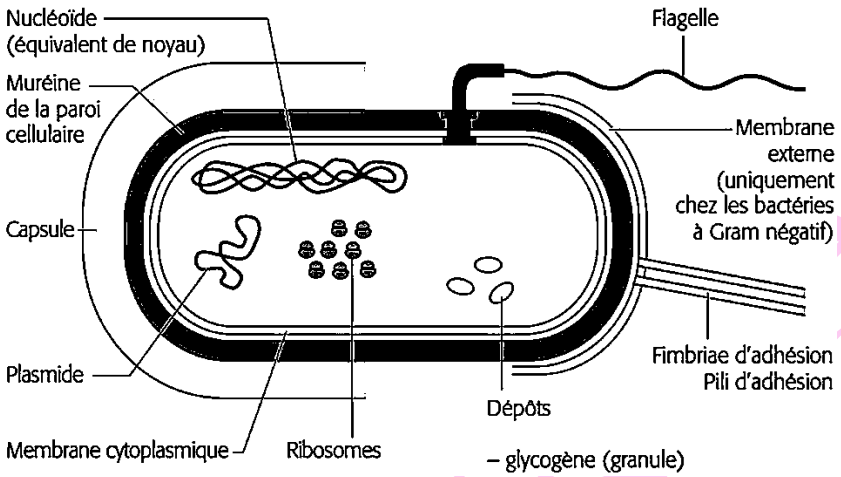




RENSEIM

IV-2-Ultrastructure

Plusieurs structures sont présentes dans les cellules procaryotes. Toutes ces structures ne se trouvent pas dans chaque genre : certaines sont obligatoires, les autres sont facultatives.



IV-2-1- Structures obligatoires

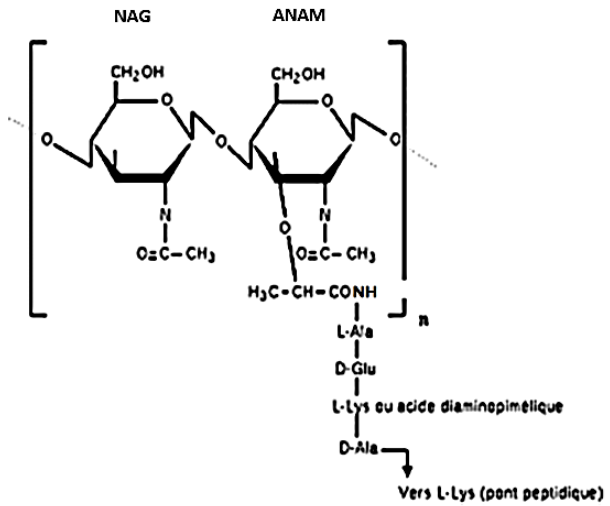
A- La paroi

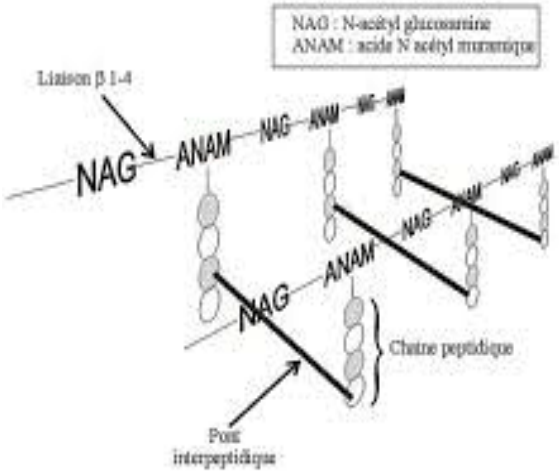
C'est le constituant cellulaire le plus **externe** des procaryotes. Elle est **indispensable** aux microorganismes qui les produisent. Sans cette protection, les organismes ne peuvent pas survivre dans leur habitat naturel sans être rapidement **lysés**. La plupart des ***Bacteria*** contiennent dans leur **paroi** un polymère formant un réseau appelé **peptidoglycane** ou **muréine**. Le peptidoglycane est un **hétéropolymère** composé de deux **osamines** :

- le **N-acétyl glucosamine** (NAG) : formé d'un **glucose** modifié sur le **carbone n°2** où la fonction alcool (OH) est remplacée par un groupement N-acétyl constitué d'une fonction amide et du squelette de **l'acide acétique.**
- l'**acide N-acétyl muramique** (ANAM) : est un **éther** d'**acide lactique** et de *N*-acétyl glucosamine.

Les deux osamines sont liés par une **liaison osidique** β-1,4 pour former un polymère linaire (glycane). Les chaines glucidiques sont liées entre elles par des chaînons oligopeptidiques (**ponts peptidiques**) pour former le **peptidoglycane**. Le groupement amine du premier acide aminé du pont peptidique forme une **liaison peptidique** avec le groupement carboxylique du résidu d'acide lactique de l'acide N-acétyl muramique.

BENSLIMA.





NB : Parmi les acides aminés constituant le pont peptidique se trouvent la lysine (aa à deux groupements amines). Les acides diaminés sont indispensables à la formation des ponts peptidiques ; puisque le 1er groupement amine est engagé dans la formation du polypeptide lié à l'acide muramique et le second est engagé dans le pontage des chaînes glucidiques.

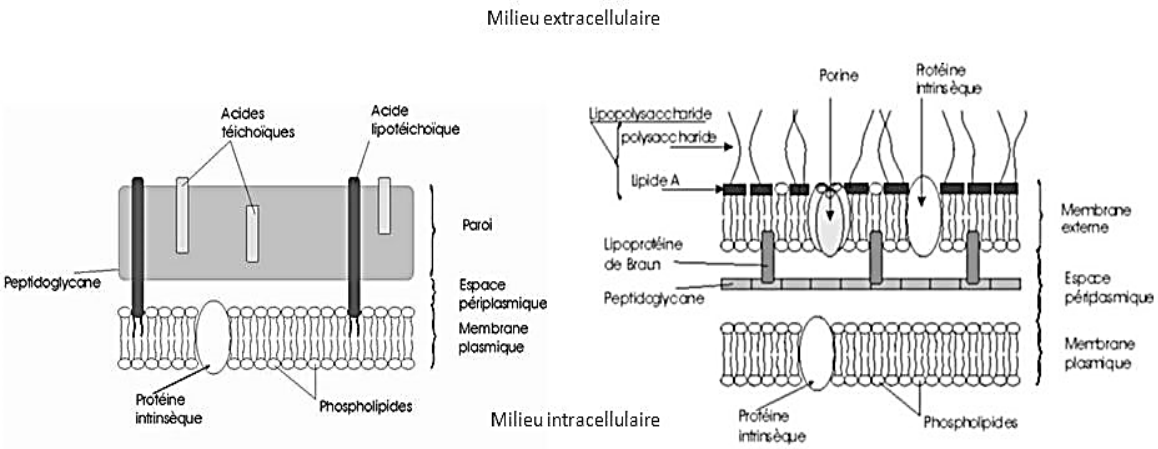
- ***Paroi des Gram-positifs et paroi des Gram-négatifs***

Le domaine des ***Bacteria*** est divisé en deux groupes suivant la réaction des cellules vis-à-vis de la coloration des Gram.

- **Réalisation du frottis** par **séchage** puis **fixation** à la flamme du bec Bunsen ou à l''éthanol à 90°
- **Coloration au violet de Gentiane** : toutes les bactéries sont colorées en violet
- **Mordançage au lugol**: cette étape permet de stabiliser la coloration violette.
- **Décoloration à l'alcool**:
  - si l'alcool traverse la paroi et pénètre dans la bactérie, elle sera décolorée
  - si l'alcool ne traverse pas la paroi, la bactérie ne sera pas décolorée
- **Contre coloration** avec **la Fuchsine ou la Safranine**
  - Les bactéries décolorées reprennent la couleur rose = Gram-négatives
  - Les bactéries toujours colorées en violet = Gram-positives

Les différences entre les bactéries à Gram-positif et à Gram-négatif sont liées à des variations dans la structure de leurs parois :

- La paroi des Gram-positives est constituée de **couches épaisses** de **peptidoglycane**, représentant 60 à 80% de la paroi. Elle contient également des acides teichoïques et des acides lipoteichoïques (Antigènes des Gram^{+})
- La paroi des Gram-négatives est constituée d'une couche très **fine** de **peptidoglycane** et ne contient ni acides teichoïques ni acides lipoteichoïques. De plus, elle se caractérise par la présence d'une **membrane externe** (aspect similaire à celui de la membrane plasmique ; à laquelle sont liés de polysaccharides formant des lipopolysaccarides orientés vers le milieu externe (Antigènes O des Gram^{-}).



Paroi d'une bactérie Gram positif. Paroi d'une bactérie Gram négatif.

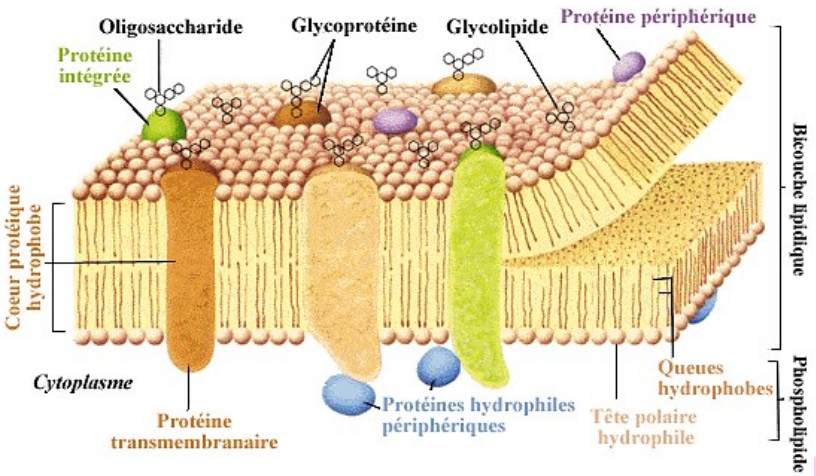
B- <u>La membrane cytoplasmique</u>

C'est la principale **frontière** entre le **cytoplasme** et l'environnement **externe** de la cellule. Elle joue plusieurs rôles primordiaux :

- Rôle **métabolique** majeur : on y trouve la plupart des activités associées aux mitochondries dans la cellule supérieure
- **Perméabilité** sélective et **transport** des substances solubles vers l'intérieur/extérieur de la bactérie
- Fonction **respiratoire** par transport d'électrons et de phosphorylation oxydative pour les bactéries aérobies.
- **Excrétion** d'enzymes hydrolytiques

En microscopie électronique, la membrane des procaryotes représente la structure caractéristique en **deux feuillets** obscurs séparés par un **espace claire**. Au niveau moléculaire, le modèle de la **mosaïque fluide** reflète mieux la composition de la membrane.

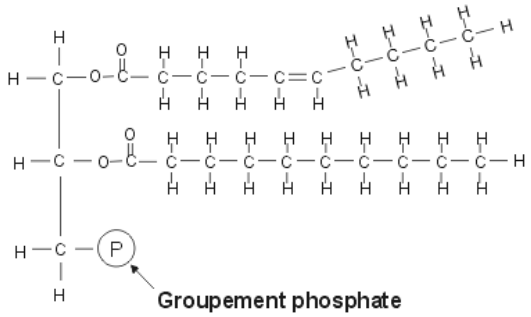
BENS



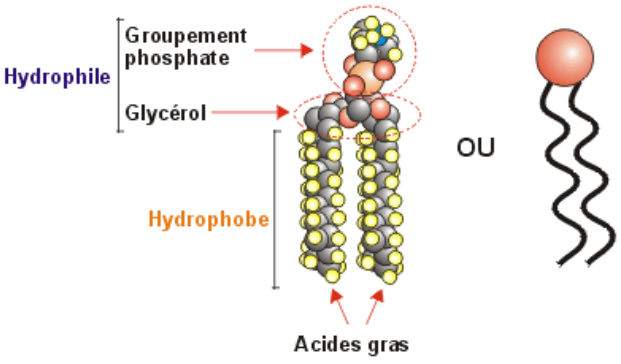
Toutes les membranes biologiques, y compris la membrane plasmique et les membranes internes des cellules eucaryotes, ont une structure globale commune : ceux sont les **assemblages** de molécules de lipides et de protéines.

La membrane des cellules bactériennes sont composées d'une **bicouche** phospholipidique. Le **phospholipide** est composé d'une molécule de **glycérol** associée à deux **acides gras** (**carbone 1 et 2)** par une liaison **ester**, et à un groupement **phosphate** sur le **carbone 3.**

Le phospholipide est **amphiphiles** présentant un **pôle hydrophile** (glycérol + phosphate) orienté vers les milieux aqueux et un **pôle hydrophobe** (chaines carbonées des acides gras) orienté vers l'intérieur de la bicouche lipidique.



Phospholipide



La membrane des cellules bactériennes contient trois types de **protéines** : (i) protéines **périphériques** ou **superficielles** (déposées sur la surface interne ou externe), (ii) des protéines **intégrées** (partiellement ancrées dans l'une des deux couches), et (iii) des protéines **transmembranaires** (traversent la bicouche et ayant une extrémité donnant au milieu externe et l'autre donnant au milieu interne).

C- Le cytoplasme

Toutes les cellules procaryotiques ainsi que les eucaryotiques contiennent une substance aqueuse appelée **cytoplasme**. Ce liquide constitue la plus grande partie du volume de la cellule. Les composantes **intracellulaires** sont en suspension dans le cytoplasme et les matières circulent à travers lui. Il est caractérisé par l'absence totale de noyau, de cytomembranes, mitochondries et de chloroplastes,

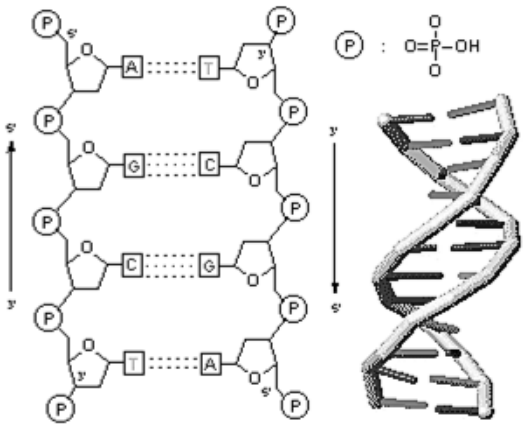
C'est le lieu de toutes les **activités métaboliques** mais aussi le site de la **transcription** et la **traduction**, qui se déroulent en même temps et dans le même lieu, c'est ce que l'on appelle **l'unité de lieu**, caractéristique des procaryotes. C'est aussi dans le cytoplasme que les **déchets** sont conservés jusqu'au moment d'être évacués. Des **réserves** sous forme d'inclusions de glycogène ou des inclusions de lipides peuvent y être présentes.

D- L'acide désoxyribonucléique (ADN)

C'est le support de l'hérédité chez les cellules. Chez les bactéries, l'ADN est diffus dans le cytoplasme dont l'espace occupé est appelé **nucléoïde**, formé d'une molécule **hélicoïdale, bicaténaire** (double brin), **circulaire**.

Les deux brins sont **superenroulés** et formant plusieurs boucles grâce à des enzymes et à son association avec des protéines (histone like) semblables aux histones des cellules eucaryotes. Lorsqu'il est complètement déroulé il a une longueur d'environ 1.4mm, alors que la cellule procaryote a une taille qui varie selon les espèces de 0.1µm à l0µm.

Les deux brins sont formés par une succession de **nucléotides**, et sont liés par des liaisons hydrogène établies entre les bases complémentaires positionnées sur les brins opposés : l'adénine interagit avec la thymine et la guanine avec la cytosine.



BENSLIM A.

E- les ribosomes

Petits organites **libres** dans le cytoplasme, de taille voisine de 20 nm. Ils sont constitués d'une fraction protéique (35%) associée à un ARN particulier appelé ARN ribosomal (ARNr ; 65%). les ribosomes assurent la synthèse des protéines par mécanisme de **traduction**. la structure des ribosomes en **deux sous-unités**, une petite de 30S et une grande de 50S, forme un ribosome de 70S.

IV-2-1- Structures facultatives

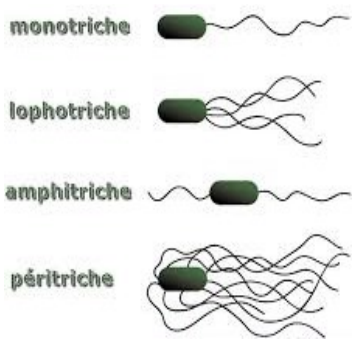
Les éléments facultatifs sont des éléments propres à certaines espèces de procaryotes et absents chez d'autres : le plasmide, la capsule, le flagelle, le pilus, la spore, la vacuole à gaz et les inclusions de réserve en sont des exemples.

A- Le plasmide

En plus de l'ADN chromosomique, les procaryotes contiennent souvent des molécules d'ADN **extrachromosomique**, **double brin**, **circulaire**, localisée dans le cytoplasme. leur nombre est variable selon les espèces (1 à plusieurs). Les plasmides portent des gènes utiles mais non essentiels à la croissance normale et à la division des cellules procaryotes. Ils se dupliquent **indépendamment** du nucléoïde et un certain nombre d'entre eux ont la capacité de **se transférer** d'une bactérie à l'autre, ils sont alors appelés **plasmides de fertilité** (F) s'ils portent les gènes de fertilité ou de **résistance** (R) s'ils portent des gènes de résistance aux antibiotiques.

B- Le flagelle

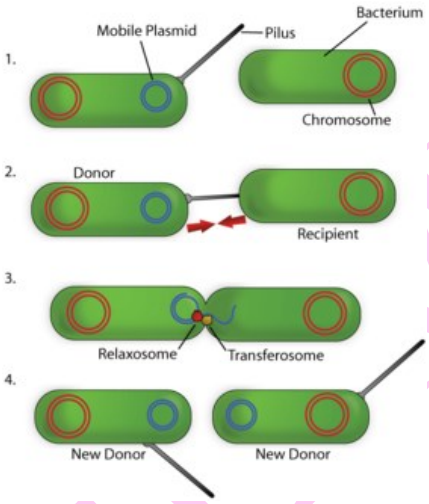
Les procaryotes qui se déplacent dans le milieu aqueux produisent de longs **appendice** protéiques flexibles appelés flagelle. Il s'étend à **l'extérieur** de 1a membrane plasmique et de la paroi, de structure rigide, cylindrique et de longueur variable selon l'espèce. Il y a plusieurs types de flagellation permettant le déplacement rapide des bactéries mobiles :



BENSLIM A.

C- Le pilus (pili au pluriel)

Ce sont des **extensions** de la membrane plasmique rigides, non flexibles et plus courtes que les flagelles. Il existe 2 types : les **pili somatiques** servent à l'adhésion des bactéries aux différentes **surfaces**. Si le pilus sert à l'adhésion aux autres cellules bactériennes, dans ce cas il est appelé **pilus sexuel**. Ce dernier facilite le **transfert du matériel génétique** (par exemple une copie du plasmide) d'une bactérie (donneuse ou mâle) à une autre (réceptrice ou femelle).



D- La capsule

C'est la structure la plus externe à la paroi chez certaine espèce. Elle est représentée par des couches de nature polysaccharidique (dextrane : polymère de glucose ; levulose : polymère de fructose) ; ou polypeptidique. Elles assurent la protection de la bactérie contre l'environnement externe, assurent leur adhésion à des surfaces comme l'émail des dents, et empêchent la fixation des particules virales sur la cellule bactérienne (bactériophages).

E- la Vésicule à gaz

Les vésicules gazeuse des espèces **aquatiques** sont de petites vacuoles ne contenant que de l'air, Elles sont présentes dans le cytoplasme des bactéries photosynthétiques vivant en milieu aquatique Elles permettent à ces dernières de se déplacer verticalement et de flotter.

F- Granules de réserve

Les procaryotes **stockent** diverses substances organiques ou inorganiques sous forme de polymères dans des **granules de stockage** telles que les granules de glycogènes et d'amidon, les granules de poly-β-hydroxybutyrate (lipide), granules de polyphosphates, etc,…

BENSLIMA.

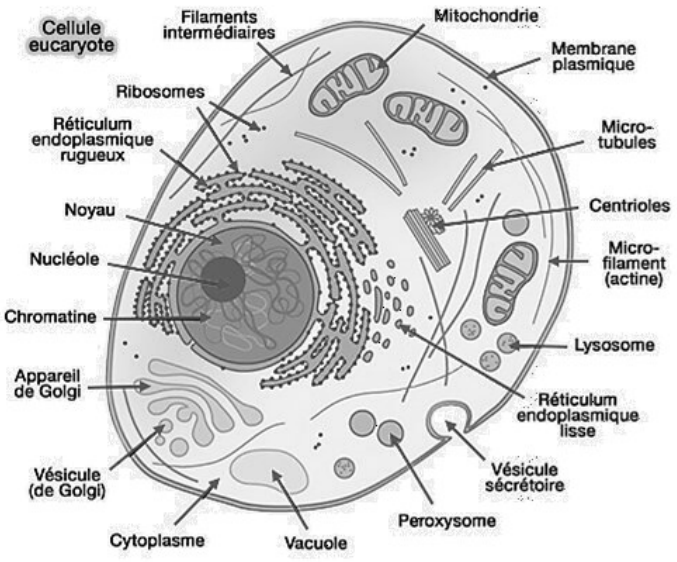
V- Cellules Eucaryotes

Les organismes sont dit **Eucaryotes** lorsque leurs matériel génétique est isolé du cytoplasme par une enveloppe nucléaire ; formant un **noyau**. Ces organismes peuvent être :

- ***Unicellulaires***: tels que les **Paramécies** et les **Amibes**. Ils sont **libres** et **mobiles** et la cellule représente la **totalité** de l'organisme.
- ***Pluricellulaires***: différenciés en **tissu** ou non. L'homme, les animaux et les végétaux sont formés de variété de cellules et tissus. Chez l'homme, il y a environ 200 **types cellulaires** ; formant des **tissus différenciés** ayant des **fonctions spécifiques**.

Les cellules eucaryotes ont une taille comprise entre 10 et 100µm (moyenne 20µm). Elles sont délimitées par une membrane plasmique séparant le milieu externe du cytoplasme.

V.1- la cellule animale et ses spécificités

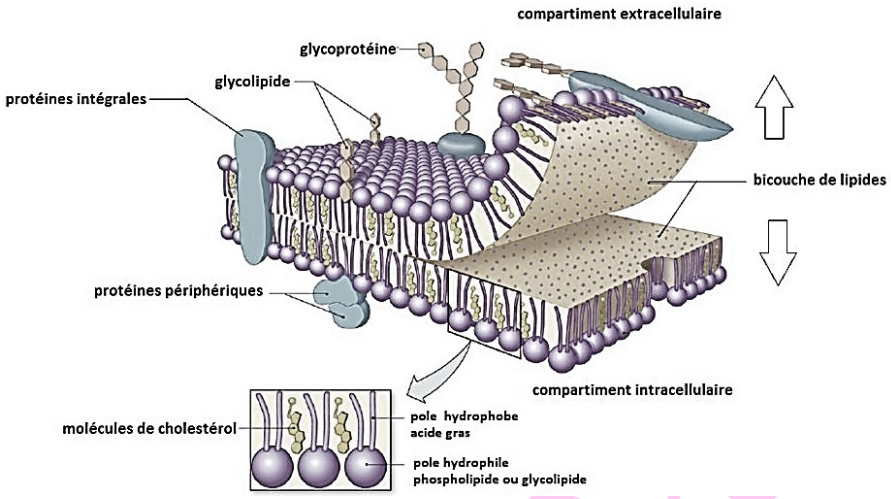


V.1.1- la membrane plasmique

C'est la membrane qui **limite** la partie vivante de la **cellule** et la sépare du **milieu externe**. Son épaisseur est de 75 Å donc il est impossible à l'observer au microscope optique. Un grossissement fort (>150000x) au microscope électronique révèle une structure **tri-laminaire** : 2 feuillets denses (20Å) entourant un feuillet clair (35Å)

V.1.1.1- Structure membranaire

La membrane est formée de l'**assemblage** de : 40% **lipides**, 52% **protéines** et de 8% **glucides**.



- ***Les lipides : phospholipides, cholestérol et glycolipides***

-Les phospholipides représentent 55% des lipides membranaires ; disposés en **bicouche**. ceux sont des molécules **amphiphiles**: hydrophile et hydrophobe.

-Le cholestérol : représente 25% des lipides membranaires. Il est présent dans les deux feuillets et peut basculer entre eux. Il maintient la **stabilité mécanique** de la membrane, **diminue** la **fluidité** et la **perméabilité** aux **petites** molécules.

-Les glycolipides : représentent 18% des lipides membranaires. Ils sont présents du coté **exoplasmique**; et sont formés d'une chaîne d'acide gras liée à une chaîne glucidique.

- ***Les protéines***

Elles sont composées de deux **extrémités hydrophiles** : amine (–NH2) et carboxyle (-COOH) ; et d'un **corps hydrophobe** d'acides aminés. Selon la disposition dans la membrane : on distingue:

- Des protéines **périphériques** : sur la face interne ou externe de la membrane
- Des protéines **intramembranaires** : transmembranaires ou intégrées.

Les protéines membranaires sont mobiles. Ceci a été mis en évidence par l'expérience de Frye et Edidin (1970).

BENSLIM

- ***Les glucides***

Se trouvant uniquement sur le **feuillet externe**, les glucides membranaires sont des **polysaccharides** ramifiés de 15 monomères. Ils ne sont jamais libres mais associés aux autres molécules constitutives de la membrane :

- Association aux protéines => glycoprotéines.
- Association aux lipides => glycolipides

V.1.1.2-Fonctions de la membrane plasmique

- Maintenir des concentrations différentes d'ions entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule
- Echanges et régulation du transport des ions et du métabolisme
- Assurer les mouvements cellulaires (endocytose-exocytose)
- les phénomènes de reconnaissance intercellulaire à travers les antigènes de surface ; à titre d'exemple le système ABO des globules et la différentiation des tissus
- Echanges d'information avec d'autres cellules (récepteurs hormonaux)

V.1.1.3-Le transport à travers la membrane plasmique

La perméabilité (transport) se fait par deux de processus :

1. Processus perméatif : au niveau moléculaire, n'entraînant par la déformation de la membrane plasmique, il se fait lui-même par deux manières :
    - Passive et Active : transport des ions et molécules à petit poids moléculaire
2. Processus cytotique : au niveau cellulaire, entraînant la déformation de la membrane, il comprend lui-même deux types :
    - Endocytose et Exocytose : transport des molécules à haut poids moléculaire et les bactéries

- ***Transports perméatifs***

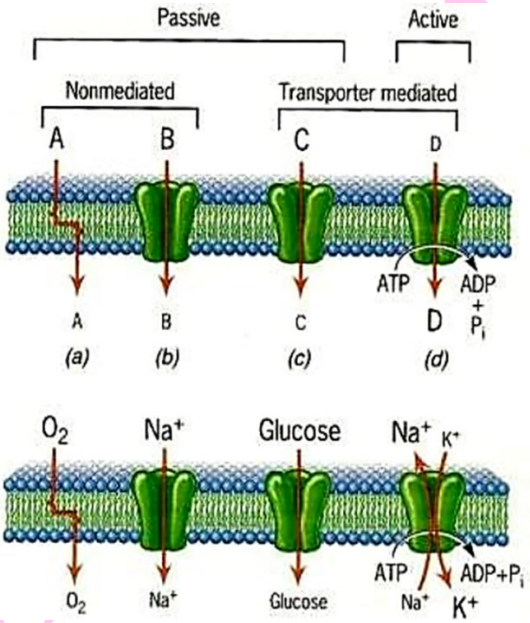
A- Diffusion simple à travers la bicouche lipidique : elle concerne un nombre limité de molécules : les gaz (N2, O2, CO2), alcool, anesthésiques, etc. C'est un transport **passif** ne nécessitant **ni dépense énergétique ni perméase.**

BENSLIM A.

B- Diffusion simple à travers les canaux : elle concerne les ions ou les molécules de petite taille. Leur passage se fait à travers des pores formés par des protéines de transport transmembranaire appelées « **protéines canaux** » ou encore des « **porines** » ; telles que les aquaporines d'où passe l'eau. C'est un transport **passif** ne nécessitant **ni dépense énergétique ni perméase**.

C- Diffusion facilitée : ce type de transport nécessite la présence d'une « **perméase** ». Cette dernière est une protéine transmembranaire responsable. C'est un transport **passif** ne nécessitant **pas de l'énergie.**

D- Transport Actif : ce type nécessite une **perméase et** un **apport énergétique**. L'exemple le plus fameux est la Pompe Na^+/K^+ dans la cellule épithéliale de l'intestin.



Passif/actif : par rapport à la dépense d'énergie

Nonmédiated/médiated : par rapport à l'intervention de la perméase comme intermédiaire de transport

En Haut : les types de transport perméatif ; En bas : des exemples de chaque types

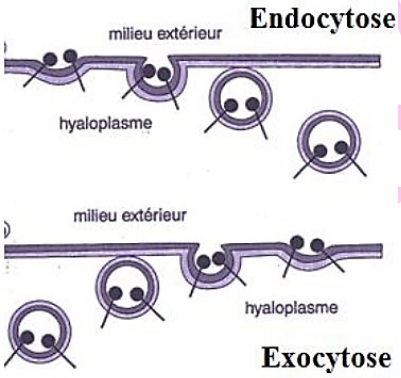
- ***Transports cytotiques***

Les substances **absorbées** par **l'endocytose** ou **sécrétées** par **l'exocytose** sont toujours enfermées dans une membrane. Donc ne se mélangent jamais avec les autres constituants du cytoplasme.

A- Endocytose : les éléments **entrant** dans le **milieu intracellulaire** sont enfermés dans une membrane ; et donc ne se mélangent jamais avec les autres constituants du cytoplasme. On distingue :

- la pinocytose : elle concerne l'**absorption** de **fluides** ou de **macromolécules**, au moyen de **petites vésicules** de diamètre autour de 150 nm.
- la phagocytose : elle concerne l'**ingestion** de **grosses particules** ou de **cellules**, au moyen de **grandes vésicules** de diamètre toujours supérieur à 250 nm

B- Exocytose : c'est la **sécrétion** (excrétion ou libération) dans le **milieu extracellulaire** de **matériaux synthétisés** par la cellule ou **déchets cellulaires** ; qui sont **contenus** dans les compartiments membranaires intracellulaires (**vésicules**).



V.1.2- le noyau interphasique

C'est La structure la plus importante des cellules eucaryotes constituant généralement **l'organite** le plus visible d'une cellule eucaryote. C'est un **gros** organite dont la taille varie selon le type de cellule et son activité (taille moyenne de 5µm). Il renferme le **matériel génétique** déterminant la structure de la cellule, dirigeant ses **fonctions** et lui donnant la possibilité de se **reproduire**.

V.1.2.1- Principales structures du noyau interphasique

- ***l'enveloppe nucléaire***

C'est une **double membrane** dont les deux membranes sont formées d'une double couche lipidique associée à des protéines ; et elles sont séparées par un **espace intermembranaire** de 20-40nm. L'enveloppe est interrompue par des endroits appelés **pores nucléaires** ; dont le rôle est de faciliter le passage de certaines particules et de réguler les **échanges** entre le **cytoplasme** et le **noyau**.

BENSMA.

La **face interne** de **l'enveloppe nucléaire** est tapissée par une **couche protéique filamenteuse** de 10 à 20 nm d'épaisseur appelée **« lamina nucléaire ».** Elle donne au noyau sa **forme** et sert aussi à **reconstituer** l'enveloppe nucléaire après la **mitose**.

- ***la chromatine***

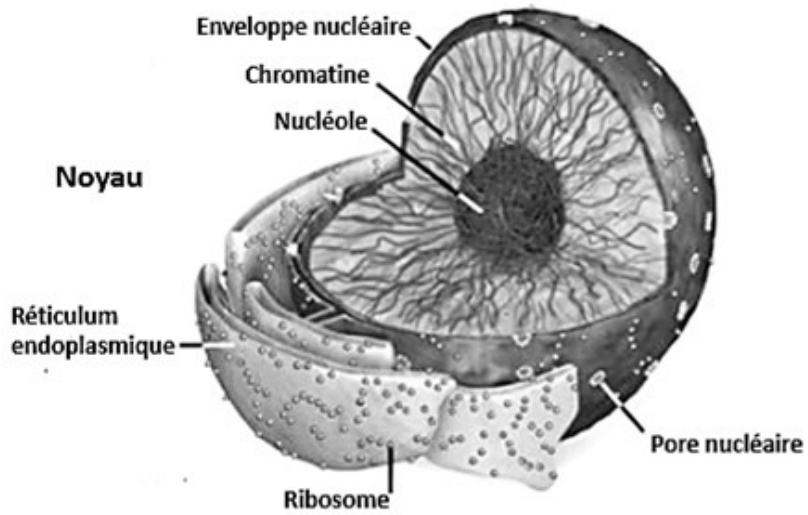
A l'intérieur du noyau, **l'ADN** et les **protéines** forment une matière **fibreuse** « **la chromatine** ». C'est la forme sous laquelle se présente le matériel génétique pendant **l'interphase**. Au moment où la cellule se prépare à se diviser, les fibres de chromatines se condensent formant des structures distinctes dites **chromosomes**.

- ***Le nucléole***

C'est une structure dense, bien individualisée et de **forme sphérique**. Il n'est pas entouré d'une membrane lipidique. Au microscope électronique, on le voit sous la forme d'une masse opaque de granules et de fibres **associés à la chromatine**. Le rôle des nucléoles est la **formation des ribosomes.** L'**ARN ribosomique** synthétisé dans le nucléole s'associent avec des protéines importées du cytoplasme pour former les **sous-unités** du **ribosome**. Celles-ci sortent par les pores au cytoplasme.

- ***le nucléoplasme***

C'est la substance fondamentale du noyau formée par une matrice gélatineuse contenant des ions, des protéines, des enzymes et des nucléotides. Elle assure une continuité entre les divers constituants moléculaires du noyau.



PENSUM A.

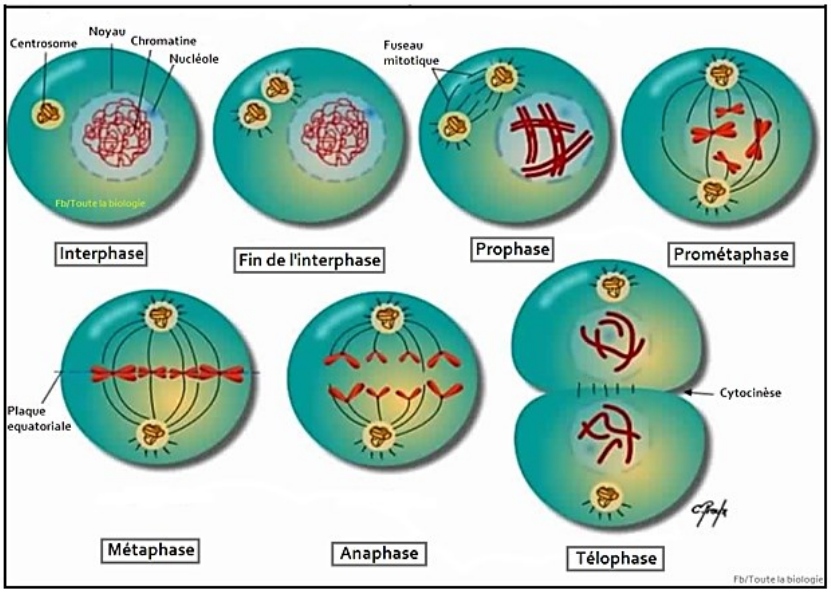
V.1.2.2- Cycle cellulaire et mitose

Un cycle cellulaire est l'ensemble de **transformations** structurales et métaboliques **successives et répétitives**. Sa durée est en général entre 20 et 24 heures. Durant ce cycle, la cellule grossit, son **ADN se réplique**, se préparant pour la division tout en assurant ses activités (**Interphase**) ; puis elle disparait en donnant deux cellules filles identiques (**Mitose**).

- ***Déroulement de la mitose***

1. Prophase : La chromatine se condense en **chromosomes** à **deux chromatides**. L'enveloppe nucléaire et le nucléole disparaissent. Un **fuseau de division** apparaît entre les deux pôles.
2. Métaphase : Les chromosomes s'alignent à l'équateur du fuseau pour former la **plaque équatoriale.**
3. Anaphase : Le fuseau tire sur les deux chromatides sœurs entrainant le **clivage** des **centromères** des chromosomes et la **séparation** des deux chromatides, chacune migre vers un pôle de la cellule.
4. Télophase : **Décondensation** des **chromosomes à une chromatide**, l'enveloppe nucléaire se reforme autour de chaque lot de chromosomes. Ainsi, deux noyaux fils sont formés, le fuseau mitotique disparaît et le cytoplasme se sépare.
5. Cytodiérèse **:** Elle sépare les deux nouvelles cellules et marque la fin de la mitose. Chez les cellules animales, la cytodiérèse s'effectue par un simple **étranglement** du cytoplasme dans la **région équatoriale**. Chez les végétaux, cette séparation se fait par **formation d'une paroi** à **l'équateur**, puis formation de nouvelles membranes.

Cycle cellulaire: Interphase+ Mitose



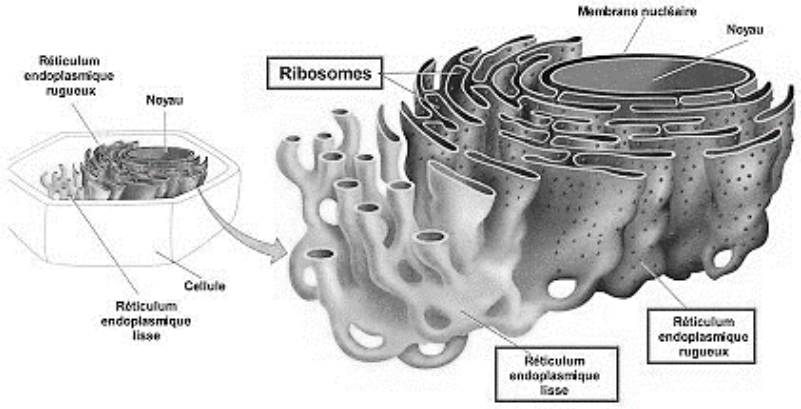
PENSUM A.

V.1.3-Les systèmes endomembranaires

Beaucoup de membranes d'une cellule eucaryote font partie intégrante d'un « **réseau intercellulaire de membranes** » ou encore un « **système endomembranaire** ». Ces membranes **n'ont pas** pour autant la même **structure** ni la même **activité**. Le système endomembranaire se compose de : l'enveloppe nucléaire, le réticulum endoplasmique (rugueux et lisse), l'appareil de Golgi, les lysosomes, les peroxysomes et les vacuoles.

V.1.3.1- le réticulum endoplasmique (RE)

Le terme « **endoplasmique** » signifie « **à l'intérieur du cytoplasme** », et le terme « **réticulum** » est un mot latin qui signifie « **réseau** ». Sa membrane est en continuité avec l'enveloppe nucléaire. Le réticulum endoplasmique se divise en **deux régions** présentant certaines **différences moléculaires et fonctionnelles** : **RE rugueux** et **RE lisse**.



- ***Le réticulum endoplasmique rugueux et synthèse des protéines de sécrétion***
  - Il **prolonge de l'enveloppe nucléaire**. Sa membrane se replie pour former des sacs membraneux appelés « **citernes** ». Il a un aspect **granuleux** dû à la présence de **ribosomes** sur sa face cytoplasmique.
  - Les **ribosomes** attachés au RE rugueux **produisent** les protéines sécrétées par beaucoup de cellules spécialisées ; par exemple les cellules du pancréas sécrétrices de l'insuline dans le sang.
  - la **chaîne peptidique** synthétisée par les ribosomes **pénètre** dans la membrane du RE et entre dans une **citerne** et elle se replie. Un petit polysaccharide se lie à la protéine pour former une **glycoprotéine**.
  - Cette glycoprotéine sera **emballée** dans des **vésicules de transition** (qui se détachent du RE rugueux). Ces vésicules se dirigent vers **l'appareil de Golgi**.

- ***Le réticulum endoplasmique lisse***

Il est ainsi appelé parce qu'il ne porte **pas de ribosomes**. Il prolonge du RE rugueux mais ayant une structure différent : il est formé d'un **réseau de tubules ramifiés** et non pas de citernes. Le RE lisse ne joue aucun rôle dans la synthèse des protéines ; par contre il participe à **divers processus**, à savoir :

- Métabolisme des lipides, synthèse du cholestérol et des parties lipidiques des lipoprotéines
- Synthèse d'hormones stéroïdiennes comme les hormones sexuelles (testostérone)
- Absorption, synthèse et transport de lipides (dans les cellules de l'intestin)
- Détoxication des médicaments, des drogues et des poisons
- Les cellules des muscles squelettiques et cardiaques ont un RE lisse très complexe qui joue un rôle important dans le stockage des ions calcium et leur libération lors de la contraction musculaire.

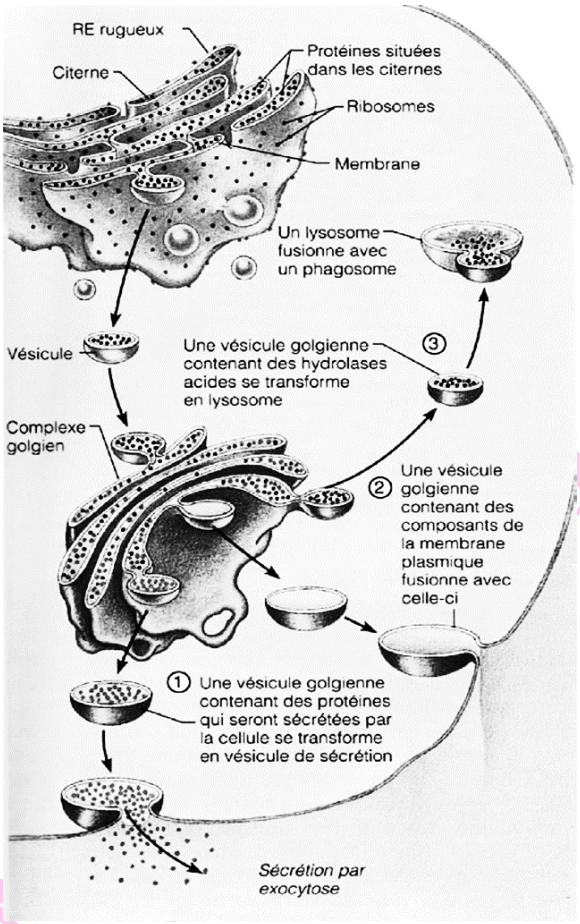
V.1.3.2- L'appareil de Golgi

Il est composé de **saccules membraneux** aplatis, empilés et entourés de petites **vésicules**. La membrane de l'appareil de Golgi sépare le contenu de ce dernier du cytoplasme. Les vésicules de transition sortant du RE rugueux se dirigent vers l'appareil de Golgi et leurs membranes fusionnent avec celles de ce dernier. L'appareil de Golgi peut être comparé à un centre de fabrication, d'entreposage, de triage et d'expédition.

- Sa principale fonction est de **modifier**, de **concentrer** et **d'emballer** les **protéines** et les molécules organisées en membranes selon leur destination finale.
- Au niveau de l'appareil, les glycoprotéines sont modifiées : certains groupements de sucre sont retirés, d'autres sont ajoutés et, dans certains cas, des groupements phosphate ou sulfate sont également ajoutés.
- Les diverses **protéines** sont « **étiquetées** » selon l'adresse de livraison, **triées**, puis **emballées** dans au moins trois différents types de vésicules reliées au côté **expédition** de l'appareil de Golgi :
  - Type 1 : Migration en direction de la membrane plasmique et libèrent leur contenu à l'extérieur de la cellule par exocytose (Exocytose)
  - Type 2 : vésicules contenant des protéines transmembranaires et des lipides destinés à la membrane plasmique ou à d'autres organites membraneux.

BENSLIMA.

- Type 3 : emballage des hydrolases (enzymes digestives) dans des sacs membraneux appelés lysosomes qui demeurent à l'intérieur de la cellule (macrophages)



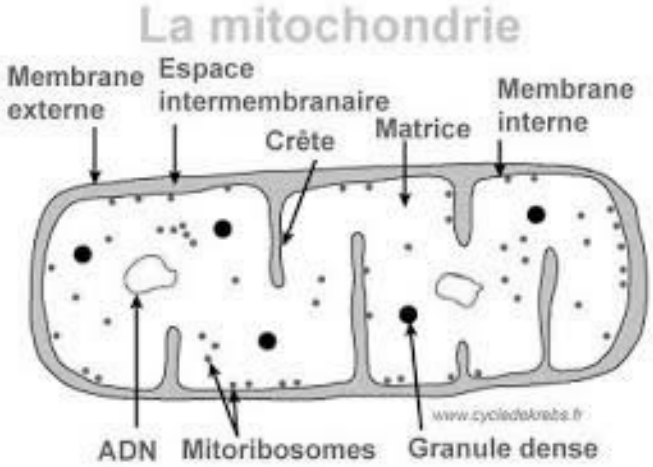
V.1.4-Organite semi autonome : Mitochondrie

V.1.4.1-Ultarstructure

On trouve des mitochondries dans presque toutes les cellules Eucaryotes, dont celles des Végétaux, des Animaux, des Eumycètes et des Protistes. Certaines cellules n'en contiennent qu'une seule qui est grosse, mais la plupart en contiennent des centaines ; dépendant de l'activité métabolique des cellules. La mitochondrie mesure 1 à 10µm. C'est un organite membraneux entouré par une double membrane phospholipidique :

- Une membrane **externe lisse** de 60 Å d'épaisseur, formée de 60% protéines/ 40% lipides.
- Un espace intermembranaire d'environ 100 Å de largeur séparant les deux membranes.

- Une membrane **interne** de 60 Å d'épaisseur plus riche en protéines (80%) et imperméable à la diffusion des protons H^+. Elle se replie sur elle-même et forme des **crêtes**. perpendiculaires au grand axe de la mitochondrie. La surface des crêtes du côté de la matrice est tapissée d'**ATP synthase** qui **catalyse** la **synthèse de l'ATP**.



L'espace interne délimité par la membrane interne est **occupé** par une **matrice** mitochondriale, contenant de l'eau, des sels minéraux, différentes molécules organiques et des enzymes.

La mitochondrie est un **organite semi-autonome** possédant son propre **ADN** (ADN mt ou mitochondrial ; circulaire) et ses propres **ribosomes** (70S). Ayant des caractéristique d'un microorganisme procaryote ; ceci suggère la possibilité d'une **endosymbiose** entre une bactérie productrice d'énergie et une cellule eucaryote non productrice d'énergie.

La mitochondrie joie un rôle important dans le **métabolisme de la cellule**, c'est le siège de :

- ✓ Déroulement de la **respiration cellulaire**
- ✓ **Fabrication de l'ATP** (énergie indispensable aux réactions métaboliques cellulaires).

V.1.4.2-Production de l'énergie

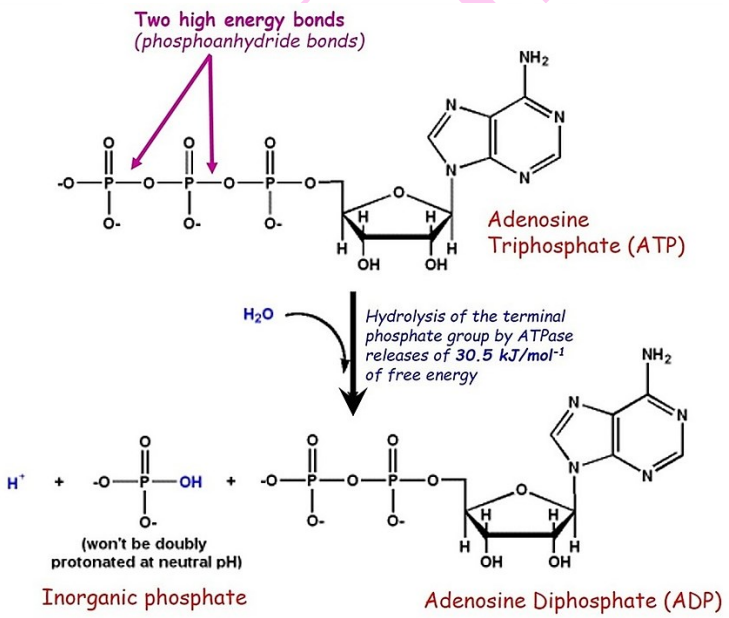
L'énergie **emmagasinée** dans les **composés organiques** provient de l'arrangement de leurs atomes. A l'aide **d'enzymes**, la cellule **dégrade** les molécules organiques complexes, contenant beaucoup d'énergie **potentielle**, en des produits plus simples, contenant moins d'énergie. Une partie de cette énergie sert à accomplir du **travail**, et le reste se dissipe sous forme de **chaleur**. L'énergie est produite au niveau **cellulaire** par deux processus majeurs : la **fermentation** est la **respiration**.

BENSLIMA.

La **fermentation** est définie comme étant une **dégradation partielle** de la matière organique en l'**absence de l'oxygène**. Seule, une partie de l'énergie chimique **potentielle** dans le **substrat** est libérée, l'autre partie restant stockée dans les **produits** de la fermentation : alcool, acide organique, etc. Par contre, la **respiration** cellulaire déroulant dans la **mitochondrie**, est une **oxydation complète** (dégradation en **présence de l'oxygène**) ; toute l'**énergie potentielle** est **libérée**, les produits de la respiration n'en contiennent plus.

a- L'ATP : Adénosine Triphosphate

Composé de la base azotée **Adénine** liée au **ribose**, et de **trois groupements phosphates** liés à ce dernier. Les liaisons entre les groupements phosphates de l'ATP peuvent être rompues par **hydrolyse**. Lorsque l'eau brise la liaison du phosphate terminal, une molécule de phosphate inorganique (**Pi**) est libérée ; et **l'ATP** devient **ADP** (Adénosine diphosphate). L'hydrolyse d'une molécule d'ATP **libère** alors **30.5KJ d'énergie** ; qui sera utilisée dans les **processus** cellulaires nécessitant une **dépense énergétique**.



b- La Respiration cellulaire aérobie

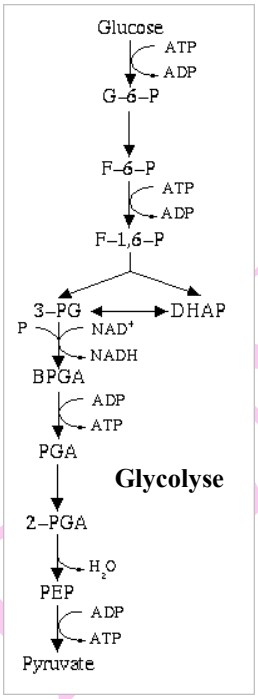
Il s'agit d'un ensemble de réactions de dégradation de la matière permettant à la cellule de produire de l'énergie (ATP) avec absorption d'O2 et dégagement de CO2. On peut la diviser en trois étapes métaboliques qui fonctionnent simultanément.

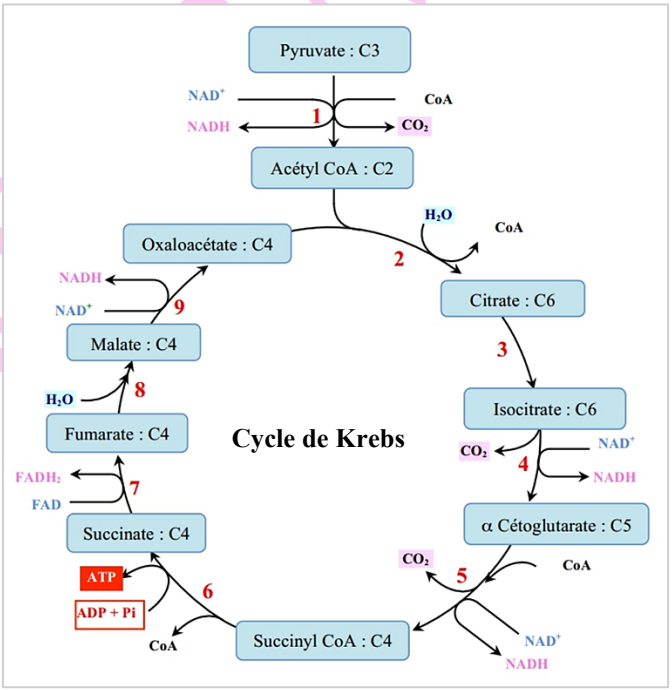
✓ Première étape : la glycolyse :

Le mot glycolyse signifie « **dégradation du glucose** ». Ayant lieu dans le **cytoplasme**, durant laquelle le **glucose** est **scindé** en **deux** molécules de **pyruvate**. Le **bilan** global de la glycolyse est : **2 pyruvates, 2 ATP** est **2** transporteurs d'hydrogène réduits (**NADH,H$^+$**). L'énergie chimique contenue dans le pyruvate va être libérée dans le cycle de Krebs.

✓ Deuxième étape : oxydation des substrats ou cycle de Krebs

C'est un ensemble de **réactions** en forme de **cycle** se déroulant dans la **matrice** de la mitochondrie. Il est **alimenté** principalement par le **pyruvate** ou l'acetyl-CoA. La matière organique subit des **oxydations** par perte d'H_2 (**déshydrogénation**) pour former des NADH,H$^+$ et des FADH2 tout en **dégageant** des **CO2** (**décarboxylation**). Le bilan d'un Cycle de Krebs est : 4 NADH,H$^+$, 1 FADH2 et 1 GTP.





✓ Troisième étape : chaîne de transport d'électrons

La chaîne est un ensemble de **molécules** (**enzymes**) incluses dans la **membrane interne** de la mitochondrie. Les enzymes impliquées dans cette voie constituent **trois** grands **complexes :**

✓ Complexe NADH déshydrogénase : déshydrogénation des NADH,H$^+$.
✓ Complexe cytochrome b-c 1 : transporteur d'électrons.
✓ Complexe cytochrome oxydase : formation de l'eau H_2O

La chaîne respiratoire débute par la **déshydrogénation** du NADH,H+ par le complexe **NADH déshydrogénase** dans la membrane interne mitochondriale :

$$NADH,H^+ \rightarrow NAD^+ + 2H^+ + 2\ e^-$$

Les **électrons** seront **transportés** le long de la chaîne respiratoire à travers les différents complexes jusqu'à **l'accepteur final** qui est **l'oxygène** ; alors que les protons **H^+** sont **pompés** vers l'**espace intermembranaire.**

$$2H^+ + 2e^- + ½\ O_2 \rightarrow H_2O$$

✓ <u>Quatrième étape : formation d'ATP : phosphorylation oxydative</u>

Une **chute** importante de **l'énergie** est enregistrée lors du transport d'électrons et le pompage de protons (H^+) de la matrice vers l'espace intermembranaire. Ce **transport actif** de protons met en place un **gradient électrochimique** de protons à travers la membrane interne : l'espace intermembranaire est plus concentré en **H** (gradient **chimique**) et en + (gradient **électrique**) par rapport à la **matrice** qui a une concentration **moindre** en protons chargés (**H^+**).

Ce gradient favorise le **retour** des **H^+** dans la matrice **à travers** les canaux à protons au niveau des sphères (**ATP synthase**) liées à la membrane interne et donnant sur la matrice. L'ATP synthase utilise **l'énergie** du flux protonique pour synthétiser **l'ATP** à partir **d'ADP** et **Pi** dans la matrice. C'est la **phosphorylation oxydative** puisque **l'énergie** provient des **H_2** des substrats par **oxydation**

$$ADP + Pi + énergie_{\ électrique} \rightarrow ATP$$

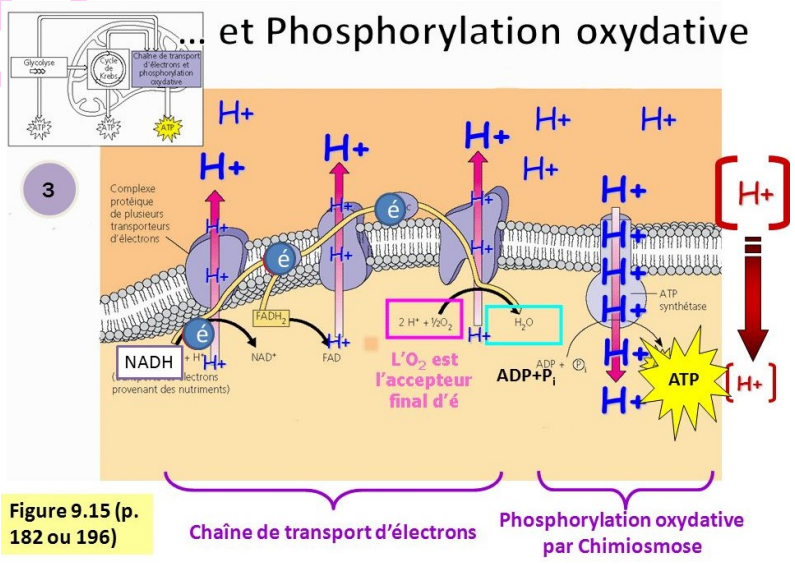
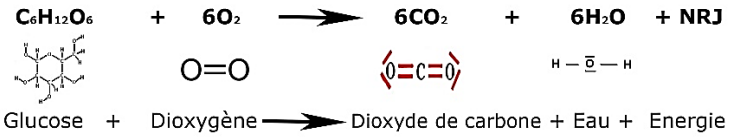


Figure 9.15 (p. 182 ou 196)

BENSLIMA.

Donc l'équation globale de la respiration aérobie est



et le bilan total de la respiration aérobie comparé à celui de la fermentation sera :

METABOLISME	RESPIRATION	FERMENTATION ALCOOLIQUE
Substrat	Glucose $C_6H_{12}O_6$	Glucose $C_6H_{12}O_6$
Energie potentielle initiale	2840 kJ par mole de glucose	
Conditions	aérobies (O_2)	anaérobies
Produits	6 CO_2 + 6 H_2O	2 CO_2 + 2 CH_3 - CH_2OH
Energie potentielle finale	0 kJ	1 360 kJ par mole d'éthanol
ATP produit	36 moles par mole de glucose	2 moles par mole de glucose

V.2- la cellule végétale (Principales spécialisations)

On dit « végétal » à tout être vivant :

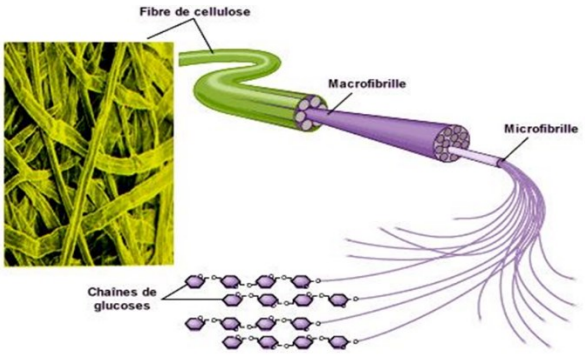
- Chlorophyllien,
- Capable de transmettre l'énergie qu'il reçoit du soleil par ses feuilles,
- Se nourrir principalement des sels minéraux et de gaz carbonique.

V.2.1-La paroi végétale et principales modifications

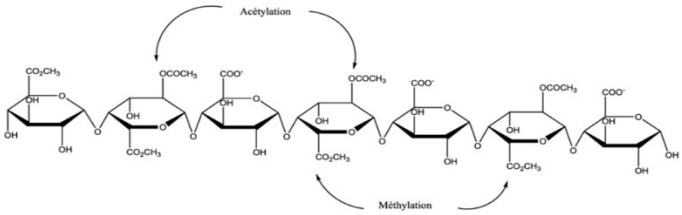
La paroi fait partie des caractéristiques distinctives des cellules végétales. Elle la protège, maintient sa forme et prévient son absorption excessive d'eau. Elle mesure de 0.1 à plusieurs micromètres.

C'est **l'enveloppe** la plus **externe,** composée essentiellement de **polymères** glucidiques (**Cellulose**, **pectine**), de **protéines** et d'autres **composés phénoliques** (lignine et subérine).

BENSLI



Cellulose: polymère de glucose

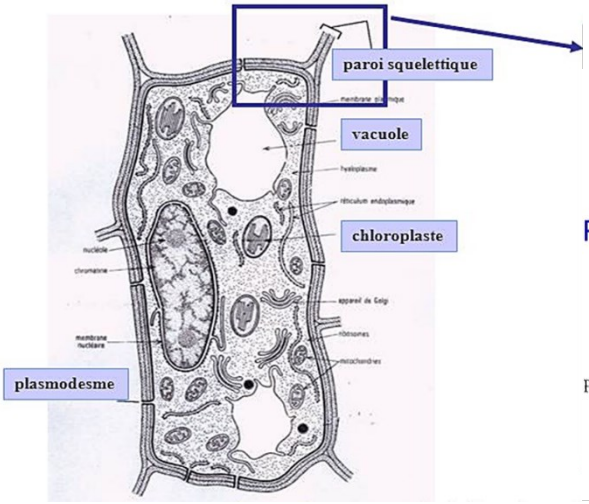


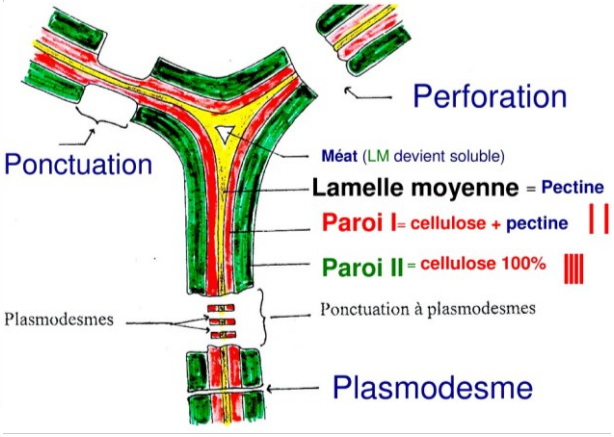
Pectine: polymère d'acide galacturonique

a- <u>Composante de la paroi squelettique</u>

Elle est composée de trois parties essentielles :

1. <u>La lamelle moyenne</u> : c'est la partie la plus **externe** de la paroi, commune à deux cellules contigües donc **colle les cellules** les unes aux autres. Elle se forme la **première**, et elle est constituée de matière **glucidique adhésive** appelée **« pectine ».**
2. <u>La paroi primaire</u> : les **cellules jeunes immatures commencent par secréter une paroi primaire** de nature **pecto-cellulosique** (Pectine + cellulose). Cette paroi est mince et **extensible** ce qui permet la croissance cellulaire (**élongation**).
3. <u>La paroi secondaire</u> : elle apparaît plus tard chez les **cellules** plus **âgées** lors de la **différenciation** cellulaire. Elle est formée entre la membrane cytoplasmique et la paroi primaire. Contrairement à cette dernière, la paroi secondaire est constituée uniquement de fibres cellulosiques (**cellulose**). C'est une matrice résistante et durable qui protège et soutient la cellule.





PENSUM A.

b- Modifications de la paroi végétale

La paroi squelettique des végétaux peut subir **deux** types majeurs de **modifications** :

1. Modifications assurant la rigidité : par :
   - *lignification* : **imprégnation** de la paroi par de la **lignine** dans les espaces **inter-fibrillaires** (espace entre les fibres cellulosiques et pectiques). Elle peut être **totale** (lignification de la paroi primaire, secondaire, ainsi que la lamelle moyenne) ; ou **partielle** (lignification de la paroi secondaire).
   - *minéralisation* : **dépôt** d'éléments **minéraux** au niveau de la **paroi** de certaines cellules. Si ces dernières sont imprégnées par des **carbonates de calcium** ($CaCO_3$), il s'agit de la **calcification.** Dans le cas d'imprégnation par des **oxydes de silice** (SiO_4), il s'agit de la **silicification**.
2. Modifications assurant l'imperméabilité : par :
   - *cutinisation :* **imprégnation** de la **paroi externe** des cellules **épidermiques** par de la **cutine**. Cette dernière est une **substance imperméable** formée d'un mélange complexe de substances **lipidiques riches en acide gras**. La cutine se dépose sur la **lamelle moyenne** et entre deux cellules contiguës ; pour former une **couche** imperméable dite « **cuticule ».**
   - *subérification*: **transformation** des tissus âgés par **dépôt** de **subérine** en lamelles successives sur la **face interne** de la **paroi secondaire** tout **autour** de la **cellule** (près de la membrane cytoplasmique). Les parois riches en suber servent à **isoler la cellule** du reste de l'organisme, ce qui entraîne la **mort cellulaire**.

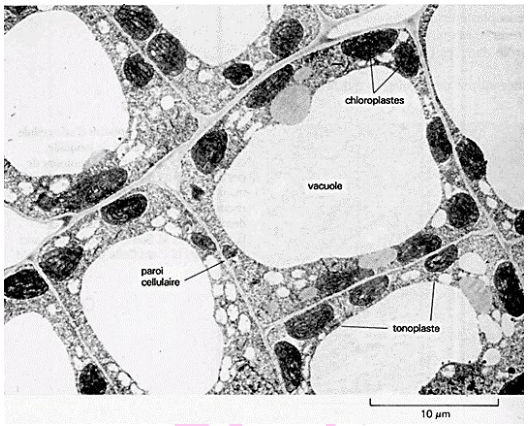
V.2.2-La vacuole

Les vacuoles sont des **sacs intercellulaires** délimités par une membrane. Les cellules végétales matures contiennent généralement une **grande vacuole centrale (**80 à 90 % du volume et du poids) ; délimitée par une membrane lipidique appelée « **tonoplaste** » Les cellules jeunes contiennent plusieurs petites vacuoles **dérivées** des **vésicules** du **réticulum** endoplasmique et de l'appareil de **Golgi** ; c'est pour cela qu'elles font partie du **réseau intracellulaire de membranes.**

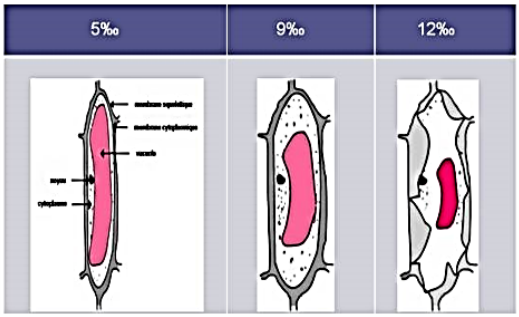
BENSLIMA.

La vacuole centrale de la cellule végétale est un compartiment **polyvalent**. Tout d'abord, elle sert à **emmagasiner** des composés organiques cruciaux : **réserves** de **protéines** dans les cellules nutritives des graines, réservoir principal **d'ions organiques** (potassium, chlorure). De plus, elle sert souvent à isoler les **sous-produits** du **métabolisme**, qui deviendront nocifs s'ils s'accumulaient dans le cytoplasme. Certaines vacuoles contiennent des **pigments**, tels que les pigments rouge et bleu qui attirent les insectes pollinisateurs vers les pétales des fleurs. En outre, elles jouent un **rôle** majeur dans la **régulation** des grandes fonctions physiologiques (pH, pression osmotique, concentrations ioniques,...), par le phénomène de **l'osmose**.

L'osmose est défini comme étant le **passage** de **l'eau** un milieu **moins** concentré (**hypotonique**) vers un milieu **plus** concentré (**hypertonique**) à travers une membrane **semi-perméable**. Grâce à ce phénomène, la cellule peut se trouver dans trois états : **plasmolyse limite**, **plasmolyse** ou, **turgescence** (Voir figure).



Cellule végétale en solution saline:



- Vacuole remplie d'eau.
- La cellule gonfle
- La cellule en **turgescence.**

- La vacuole perd beaucoup d'eau
- Diminution du volume
- décollement de la membrane
- Cellule en **plasmolyse**

V.2.3-Les plastes : Chloroplaste et photosynthèse

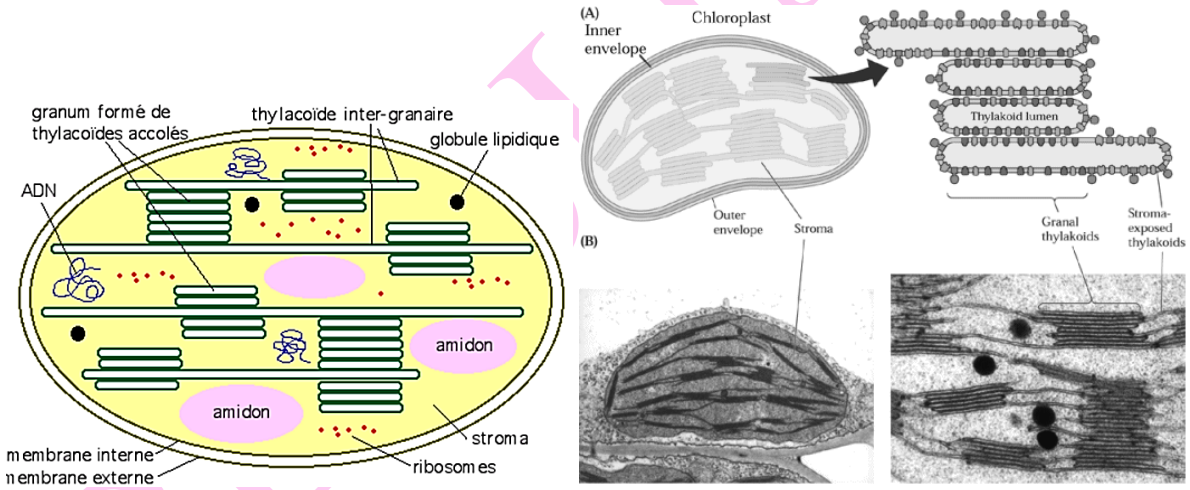
V.2.3.1. Le chloroplaste

Le chloroplaste est un membre **spécialisé** d'une famille d'organites **végétaux** étroitement apparentés appelés « **plaste** ». Il contient le **pigment** vert appelé « **chlorophylle** » ainsi que d'autres pigments, des **enzymes** et des molécules nécessaires à la **production** de **glucides** lors de la **photosynthèse**.

Les chloroplastes sont **bi-convexes** (convexes sur les deux faces) mesurant environ 2µm sur 5µm ; ils se trouvent dans les feuilles et dans les autres **organes verts** des végétaux et les algues.

Le contenu d'un **chloroplaste** est isolé du cytoplasme par **deux membranes** séparées par un **espace intermembranaire** très mince. A l'intérieur du chloroplaste, se trouve un autre réseau membraneux organisé en sacs aplatis « les **thylakoïdes** ». Dans certaines régions du chloroplaste, les thylakoïdes **s'empilent** pour former des structures appelées « **grana** » (**granum** au singulier). Le **liquide** où baignent les thylakoïdes « **stroma** » contient de **l'ADN** et des **ribosomes**, et de nombreuses **enzymes**.

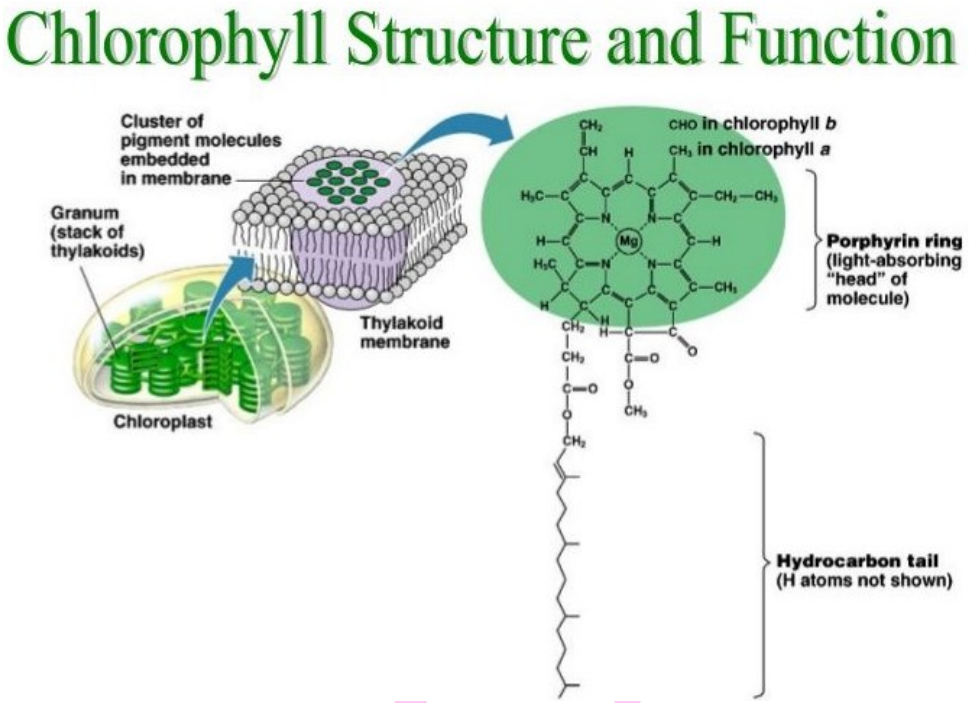
De même que pour la mitochondrie, le chloroplaste est un **organite semi-autonome** possédant son propre **ADN plastidial** (ADN ct) et ses propres ribosomes (**Plastoribosomes** à 70S). Ayant des caractéristique d'un microorganisme **procaryote** ; ceci suggère la possibilité d'une **endosymbiose** entre une bactérie photosynthétique (**cyanobactérie** ou bactérie bleu-verte) et une cellule eucaryote **non photosynthétique**. Chaque thylakoïdes comprend une membrane thylakoïdienne et un espace intrathylakoïdien. La membrane porte des sphères du côté du stroma (ATP synthase) identiques à celles de la mitochondrie



Elle porte également des pigments photosynthétiques colorés capables d'absorber la lumière. Ils sont de deux types :

- ***Pigments principaux*** : représentés par les **chlorophylles a** et **b**. Elles possèdent un **pôle hydrophile** contenant un atome de **Mg**, et un **pôle hydrophobe** contenant une **chaîne carbonée** à 20 C. Elles **absorbent** la **lumière** à 650nm (rouge) et à 450nm (bleu).
- ***Pigments accessoires*** : représentés par les **caroténoïdes**. Ceux sont des pigments jaunes-orangés, comprenant une **chaîne carbonée** avec des cycles aux deux extrémités. ils absorbent à 500nm (vert).

Tous ces pigments sont groupés dans des complexes appelés photosystèmes ; les plus fameux sont le photosystème (PSI), et le photosystème (PSII).



V.2.3.2. La photosynthèse

Les chloroplastes (des plantes, des algues et des cyanobactéries) **captent l'énergie lumineuse** qui a parcouru les 149.5 millions de kilomètres environ qui nous séparent du Soleil. Ensuite, ils la **convertissent** en **énergie chimique**, et ils l'emmagasinent dans des **glucides** et d'autres **molécules organiques**. Ce processus s'appelle « la **photosynthèse ».**

Les végétaux photosynthétiques sont « **autotrophes** » (du grec *autos*, « soi-même », et *trophê*, « nourriture ») : les seuls **nutriments** dont ils ont besoin sont le dioxyde de carbone (**CO_2**) de l'air ainsi que l'eau (**H_2O**) et les sels minéraux du sol. Plus précisément, ils sont photoautotrophes, c'est-à-dire ils utilisent la lumière comme source d'énergie pour synthétiser des matières organiques.

- ***Etapes de la photosynthèse***

La photosynthèse se déroulent dans toutes les parties vertes d'une plante, y compris les tiges vertes et les fruits non encore mûrs qui comprennent des chloroplastes, mais ce sont généralement les feuilles sui en renferme le plus (environ 0.5 millions de chloroplastes par 1mm^2 de feuilles).

1- *La phase claire : Phase photochimique*

Elle se déroule au niveau de la **membrane** du **thylakoïde**. L'énergie **lumineuse** est **captée** par les pigments photosynthétiques et plus précisément par les **photosystèmes** I et II. L'absorption d'un photon par la molécule (PSI et PSII), provoque la **délocalisation** d'un **électron** de son orbite vers l'orbite supérieure : on dit que la molécule est excitée. La phase claire débute par cet acte **photochimique** où la molécule de chlorophylle a perdu un électron qui est transféré à différents accepteurs.

Le PSI **récupère** son électron par la **scission** d'une molécule **d'eau**, c'est la **photolyse**.

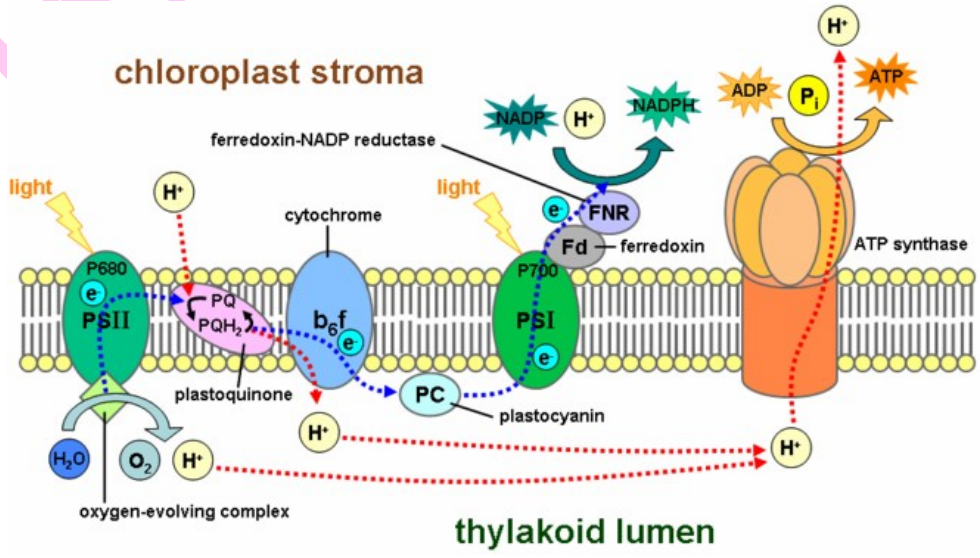
$$H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- + ½\ O_2$$

L'électron libéré par le PSI, trouve son chemin à l'aide des **transporteurs d'électrons** jusqu'au PSII qui **récupère** alors son électron **libéré** lors de son **excitation**. Ce dernier entre dans la réaction de **réduction** de NADP par l'enzyme **ferredoxin-NADP réductase**, c'est la **photoréduction**

$$NADP^+ + 2H^+ \rightarrow NADPH + H^+$$

Au cours du **transfert des électrons**, les **protons** H^+ issus de la photolyse de l'eau sont **pompés** vers **l'extérieur** du thylakoïde à travers la **sphère** ancrée dans la membrane. Ceci crée un **gradient** de pH (énergie électrochimique) qui **active l'ATP synthase** à synthétiser l'ATP à partir de l'ADP : c'est la **photophosphorylation**.

$$ADP + Pi \rightarrow ATP$$

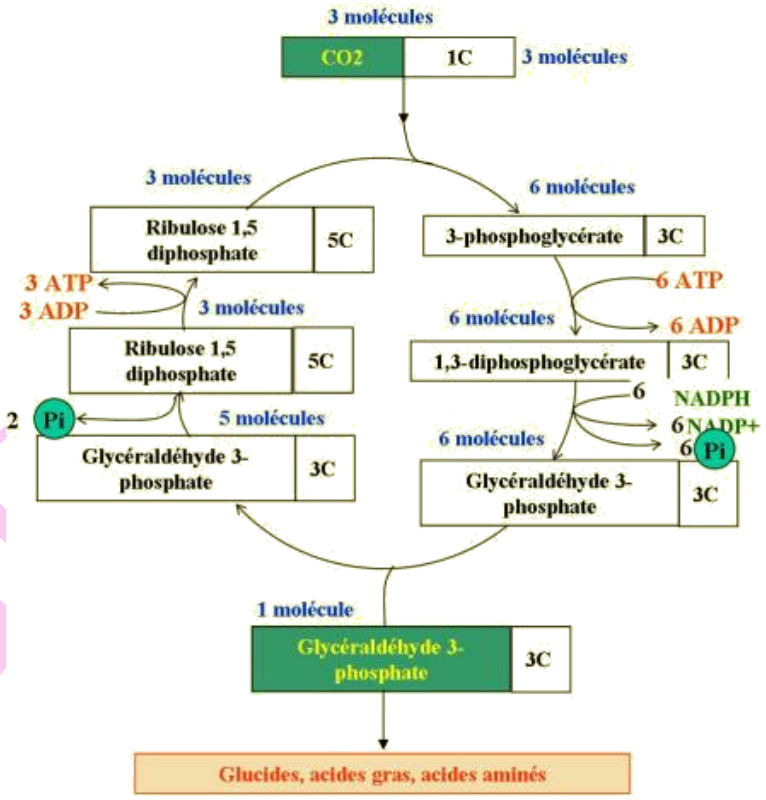


PENSLIM A.

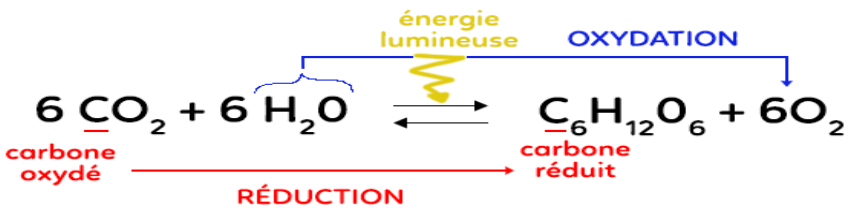
2- *La phase sombre : Cycle de Calvin*

Egalement appelée phase de **réduction** du CO_2 ou encore **fixation** du CO_2. Cette phase a lieu dans le **stroma** du **chloroplaste**, et est dite **sombre** car elle ne **nécessite pas** de la **lumière** pour déclencher la succession des évènements. Par contre, elle **utilise les produits** de la phase **claire** pour la **synthèse** des **glucides**.

Le cycle de Calvin commence par **l'intégration** (incorporation) du **CO_2** atmosphérique dans une **molécule** organique **déjà présente** dans le chloroplaste. Cette incorporation est **catalysée** par une **enzyme** très abondante chez les végétaux. Ce **CO_2** est ensuite **réduit** par l'ajout **d'électron** et de **protons** H^+ (grâce au $NADPH_2$), en utilisant **l'ATP** comme source **d'énergie**. Le **CO2 inorganique** est alors **transformer** en glucide (**matière organique**) riche en énergie potentielle.



Donc le bilan final de la photosynthèse sera :



Chapitre II : Notion de cyto-génétique

II.1. Généralités

L'**information génétique** est la source de la **transmission** des **caractères héréditaires**. Cette information est **codée** dans le matériel génétique ou dans un segment particulier de matériel génétique, qu'il s'agisse d'acide désoxyribonucléique (**ADN**) pour la plupart des êtres vivants ou d'acide ribonucléique (**ARN**) pour les rétrovirus.

L'étude de la transmission de cette information de génération en génération ainsi que l'étude du lien entre **génotype** (gènes) et **phénotype** (caractères), nous mènent à l'étude de **l'ADN** qui en est le **support** de **l'information** génétique et l'ARN qui permet sa **traduction** en **caractères** bien **visibles**.

II.2. Structure et organisation du matériel génétique

II.2.1. Acide désoxyribonucléique (ADN)

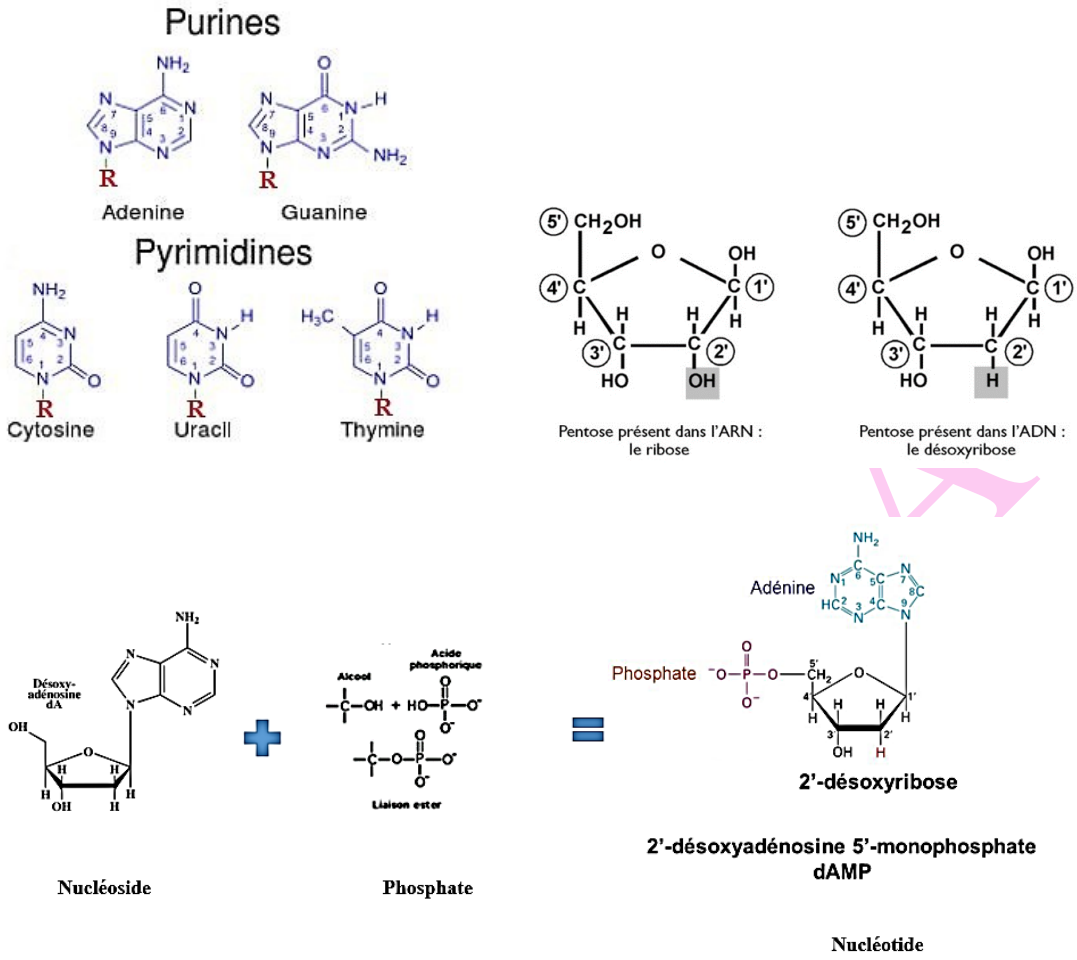
a- Présentation

L'acide désoxyribonucléique (ADN) est une molécule, présente dans toutes les cellules vivantes. Il renferme l'ensemble des informations nécessaires au développement et au fonctionnement d'un organisme. C'est aussi le support de l'hérédité car il est transmis lors de la reproduction, de manière intégrale ou non. Il porte donc l'information génétique (génotype) et constitue le génome des êtres vivants.

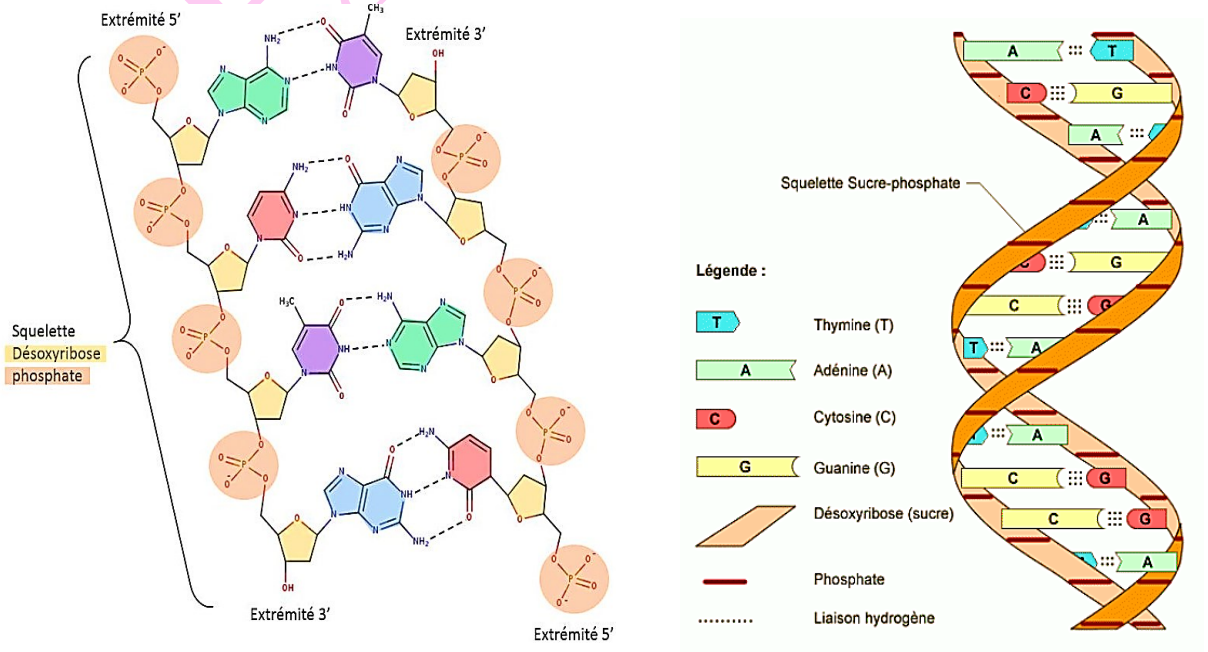
b- Nature chimique et structure

L'ADN est formé par des **bases azotées : purines** (A et G), ou **pyrimidines** (T, C) ; associées à un **sucre** : le **désoxyribose**, formant ainsi des **nucléosides**. Ces **nucléosides** s'associent à leur tour à des groupements **phosphates** pour former des **nucléotides**. Les nucléotides (GMP, AMP, TMP, CMP) **s'enchaînent** l'une après l'autre pour former un **brin** d'ADN. Ils sont liés avec des **liaisons phospho-diester** entre le **carbone 3'** d'un premier nucléotide et le **carbone 5'** du nucléotide suivant. De sorte que ces liaisons définissent un **sens** à la molécule : le **début** étant le nucléotide dont le phosphate **en 5'** ne serait lié à aucun autre nucléotide et la **fin** correspond au nucléotide dont la fonction alcool **en 3'** n'est pas estérifiée **(sens 5'=> 3').**

BENSLIMA.



L'ADN se trouve le plus souvent en **double hélice**, formée suite à **l'enroulement** de deux brins **complémentaires** par des liaisons **hydrogènes** entre les bases azotées : **l'adénine** se lie à la **thymine** avec **trois** liaisons, et la **guanine** se lie à la **cytosine** avec **deux** liaisons.



II.2.2. Acide ribonucléique (ARN)

a- Présentation

L'ARN est d'ailleurs en général **synthétisé** dans les cellules **à partir** d'une **matrice d'ADN** dont il est une **copie**. Les cellules vivantes utilisent en particulier l'ARN comme un **support intermédiaire** des gènes (génotype) pour **synthétiser** les **protéines** dont elles ont besoin (phénotype).

b- Nature chimique et structure

L'ARN est une molécule biologique très **proche** chimiquement de **l'ADN**. Il est constitué également de **bases azotées** (Adénine, **Uracile**, Cytosine et Guanine), d'un sucre (**ribose**) et de groupement **phosphate**. Contrairement à l'ADN, l'ARN se trouve le plus souvent en **simple brin** constitué de la succession de **nucléotides**. Il se **diffère** également par la présence de **l'Uracile** au lieu de la **Thymine**

c- Principaux types d'ARN

Il existe plusieurs types d'ARN impliqués dans différentes réactions. Les plus importants sont :

- **ARNm ou messager**

L'ARNm est la **copie** d'une partie de **l'ADN**, **synthétisée** à partir d'un brin d'ADN grâce à **l'ADN polymérase**. Ce processus est connu sous le nom de **transcription** qui a lieu dans le **noyau** (chez les eucaryotes). L'ARNm se trouve en **simple brin** capable de franchir les pores nucléaires. Son **rôle** principal est donc le **transfert** de **l'information** génétique du **noyau** vers le **cytoplasme** (chez les eucaryotes). Il sert de **support** à la **synthèse** de **protéines**.

- **ARNt ou transporteur**

Facilement reconnaissable grâce à sa **structure** en forme de **trèfle**. Il contient quatre sites différents. Il se trouve dans le cytoplasme et a pour rôle le transport des acides aminés lors de la traduction.

- **ARNr ou ribosomique**

C'est un ARN constitué de deux sous unités, une grande et une petite. Les deux sous-unités se trouvent libre dans le cytoplasme, on dit que l'ARNr est inactif. Son activation dépend de la

BENSLIMA.

présence d'un ARNm pour la traduction. Les ribosomes représentent 80% des ARN d'une cellule, leur rôle est la lecture de l'information génétique transcrite par l'ARNm.

II.3. Transmission de l'information génétique

Les **êtres vivant** se caractérisent par leur capacité à se **reproduire**. Un organisme n'engendre que des êtres qui lui sont **semblables**. De plus, chaque individu **ressemble** plus à ces propres **parents** qu'aux autres représentants de son **espèce** avec lesquels il a moins de **liens de parenté.** Cette **transmission** de **caractères** d'une **génération** à la **suivante** est appelée « **hérédité** ». Bien que celle-ci **entraîne** des **ressemblances**, elle produit également des **variations** : chaque individu est différent de ces parents et de ses frères et sœurs.

On vous dit peut-être que vous avez les cheveux roux de votre mère ou le nez de votre père ?

Au sens strict, les parents ne « donnent » pas à leur descendance leurs cheveux ou leurs nez ou d'autres traits.

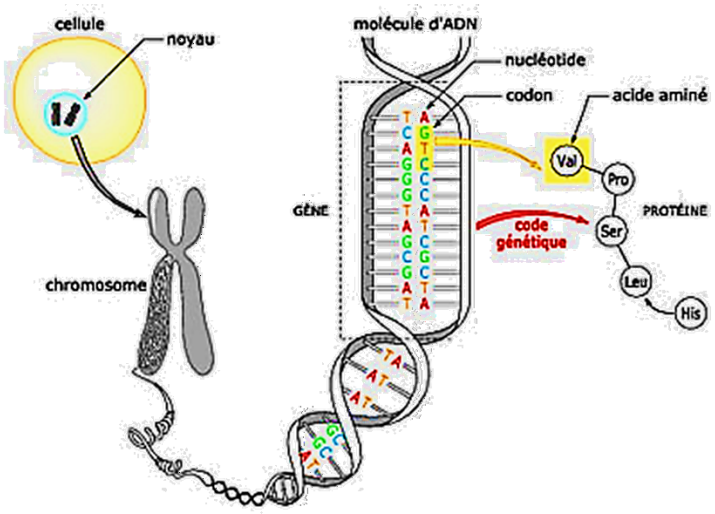
Alors, qu'est-ce qui est transmis ?

Ce que les enfants **héritent** de leurs parents, c'est une **information codée** contenue dans des unités héréditaires appelées « **gènes** ». Les dizaines de milliers de **gènes** que vous recevons de notre **mère** et de notre **père** constituent notre « **génome** ».Il est possible que le génome contienne un gène de cheveux roux qui a été transmis par la mère. Ce sont les **gènes** qui **déterminent** l'apparition des **caractères** de chaque individu.

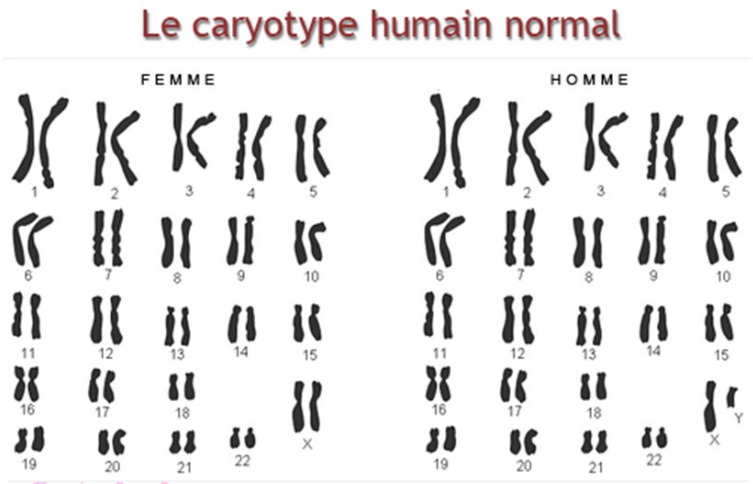
II.3.1. ADN, gène et chromosome

Les **gènes** sont des **segments d'ADN**, ayant une **séquence** nucléotidique **spécifique** pour chaque gène. Les gènes d'une cellule sont **répartis** en un ou plusieurs **chromosomes**. Chez les cellules **eucaryotes**, les chromosomes sont **inclus** dans le **noyau**. Un **chromosome** est constitué d'une seule molécule **d'ADN enroulée** de façon complexe et associée aux **protéines**. **L'emplacement** exact d'un gène sur un chromosome est appelé « **locus** ».

BENSLIM A.



Chez **l'Humain**, chaque **cellule somatique** (toute cellule qui n'est pas reproductrice), renferme **46 chromosomes**, groupés en **23 paires** dont l'image obtenue est dite « **caryotype** ».



Les deux chromosomes formant une **paire** ont la **même longueur**, leurs **centromères** situés au **même endroit**, sont dits « **homologue** » (22 paires de **chromosomes homologues**). Cependant, deux chromosomes font **exception** à la règle des chromosomes homologues : les chromosomes **X** et **Y**. la **femelle** de l'espèce humaine possède une paire (23) de chromosomes homologues (**XX**), tandis que le **mâle** a un chromosome X et un chromosome Y (**XY**). Les chromosomes de la **23ème** paire déterminent le sexe de l'individu, on les nomme « **chromosomes sexuels** ».

Encadré 1 :

Hérédité : Transmission des caractères d'une génération à la suivante. Elle entraine des ressemblances et des variations entre les générations

Génétique : Etude scientifique de l'hérédité et de la variation chez les individus.

Reproduction : Processus durant lequel les caractères sont transmis. Il existe deux types : Sexuée et asexuée

II.3.2. la reproduction asexuée

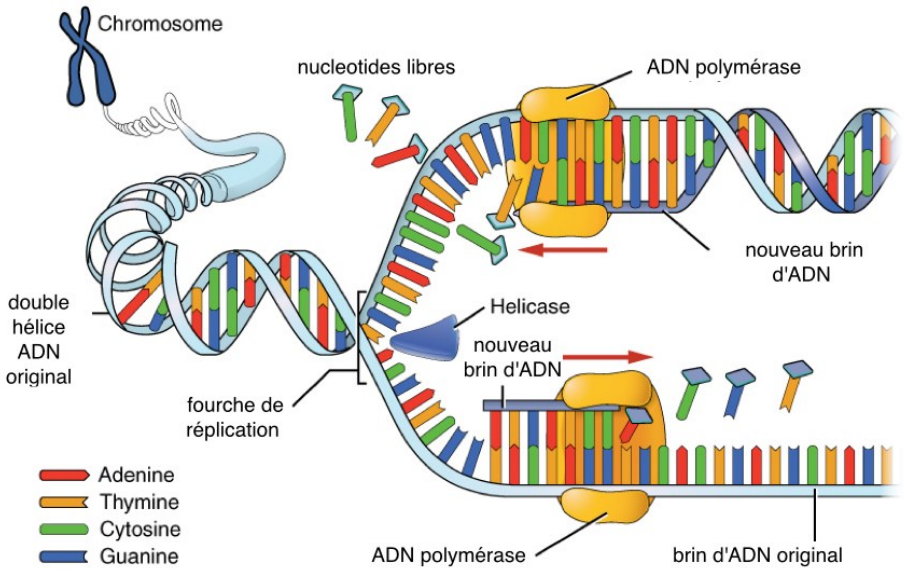
Dans la reproduction asexuée, un **seul individu** joue le rôle de **parent**, et **transmet** une **copie** de **tous ses gènes** à chacun de ses descendants. Par exemple, les organismes **unicellulaires** peuvent se reproduire de façon **asexuée** grâce au processus de **division cellulaire** appelée « **mitose** » ; où **l'ADN** de la cellule d'origine se **réplique** en **deux copies** qui sont **réparties** entre **deux cellules** filles.

Encadré 2:

La duplication de l'ADN permet l'obtention de deux molécules identiques entre elles et identiques à la molécule de base. Ce processus peut se résumer dans les étapes suivantes :

- Ouverture de la double hélice d'ADN par une enzyme dite ADN hélicase.
- Formation des brins complémentaires de chacun des deux brins de la molécule grâce à l'ADN polymérase.
- Vérification de l'ADN au cours de la phase G2 de l'interphase (Revoir segment mitose).

Malgré la vérification de l'ADN, il arrive que des erreurs dans la duplication aient lieu spontanément ou sous l'influence de l'environnement. C'est modifications sont connues sous le nom de Mutations génétiques (voir plus loin dans le chapitre).



Réplication de l'ADN :
action de quelques protéines enzymatiques

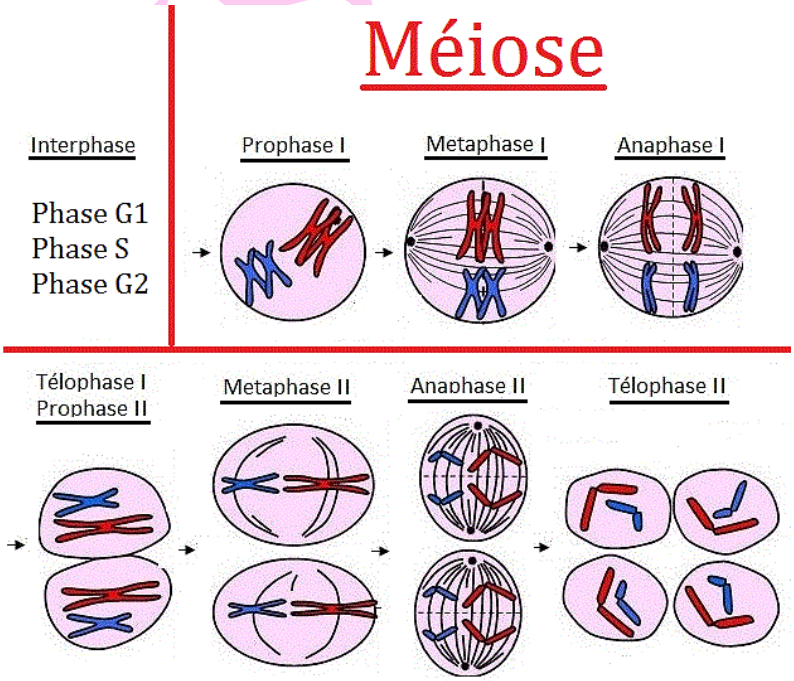
II.3.3. la reproduction sexuée

Elle crée une plus **grande variété** que la reproduction asexuée : chaque individu reçoit une **combinaison** unique de **gènes** provenant de ses **deux parents**. Les **individus** nés de la reproduction sexuée sont **génétiquement différents** de leurs parents. Pour mieux comprendre le mécanisme de la variation génétique, il faut examiner le comportement des chromosomes pendant le cycle de la reproduction sexuée.

Le **cycle de développement** des organismes à reproduction sexuée se caractérise par **l'alternance** de deux processus majeur : la **méiose** et la **fécondation**.

1- La méiose

Elle concerne les cellules reproductives (gamètes) seulement. Elle consiste en la **réduction** de la **moitié** du nombre des **chromosomes** et le passage du stade **diploïde (2n=46)** au stade **haploïde (n=23)**. **Avant** la méiose comme avant la mitose, les **chromosomes** se **répliquent**. Cependant, dans le cas de la méiose, cette duplication est **suivie** par **deux divisions** cellulaires consécutives : **méiose I** et **méiose II** ; qui produisent quatre cellules filles (au lieu deux cellules dans le cas de la mitose). Celles-ci contiennent chacune la moitié de la quantité de l'ADN de la cellule mère (moitié du nombre de chromosomes).



- pendant la Prophase I de la méiose, les **chromosomes répliqués** s'apparient avec leurs homologues, formant des paires

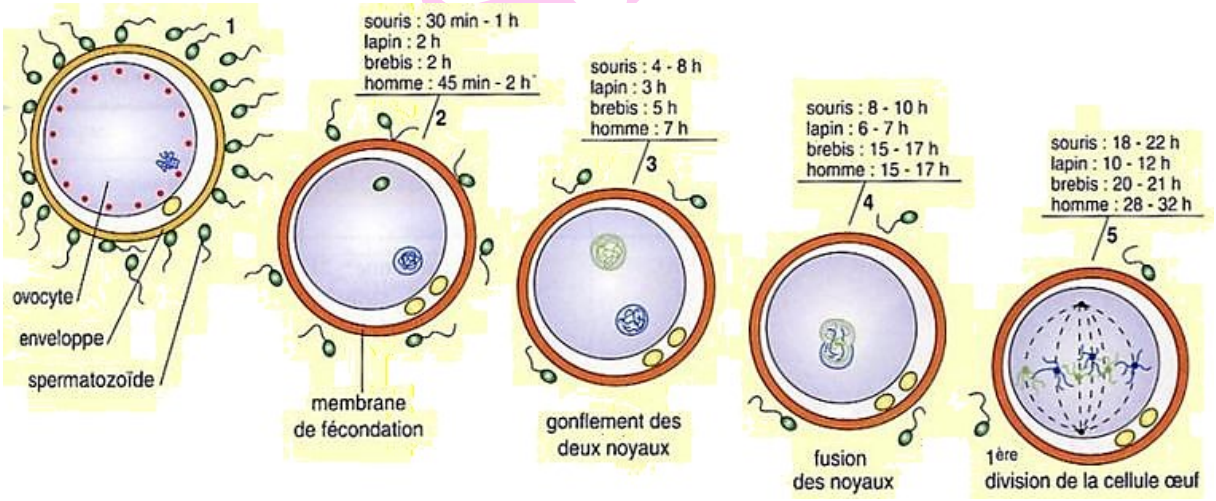
RISLIM A.

- A la métaphase I de la méiose, ce sont les paires de chromosomes homologues qui s'alignent sur la plaque équatoriale.
- A l'anaphase I de la méiose, les deux paires de chromosomes homologues se séparent, tirées par les fibres du fuseau de division vers chaque pôle de la cellule.
- A la télophase I, les paires sont complètement séparées, et la fin de la méiose I est achevée par formation de deux cellules filles identiques.
- les chromatides sœurs, se séparent au cours de la méiose II (durant les étapes : prophase II, métaphase II, anaphase II et télophase II).

La méiose se solde donc par une réduction de la moitié du nombre de chromosomes présents dans chaque cellule.

2- *la fécondation*

Dans le cas de l'homme, c'est au moment des rapports sexuels qu'un **spermatozoïde haploïde** venant du **père** peut atteindre un **ovule haploïde** de la **mère** et **fusionne** avec lui. Cette **union** des gamètes se nomme « **fécondation** » ou « **syngamie** ». L'œuf fécondé qui en résulte nommé « **zygote** », contient **deux jeux haploïdes** des chromosomes (n=23 du père+ n=23 de la mère) ; le zygote est alors **diploïde**.



II.4. Du gène au caractère

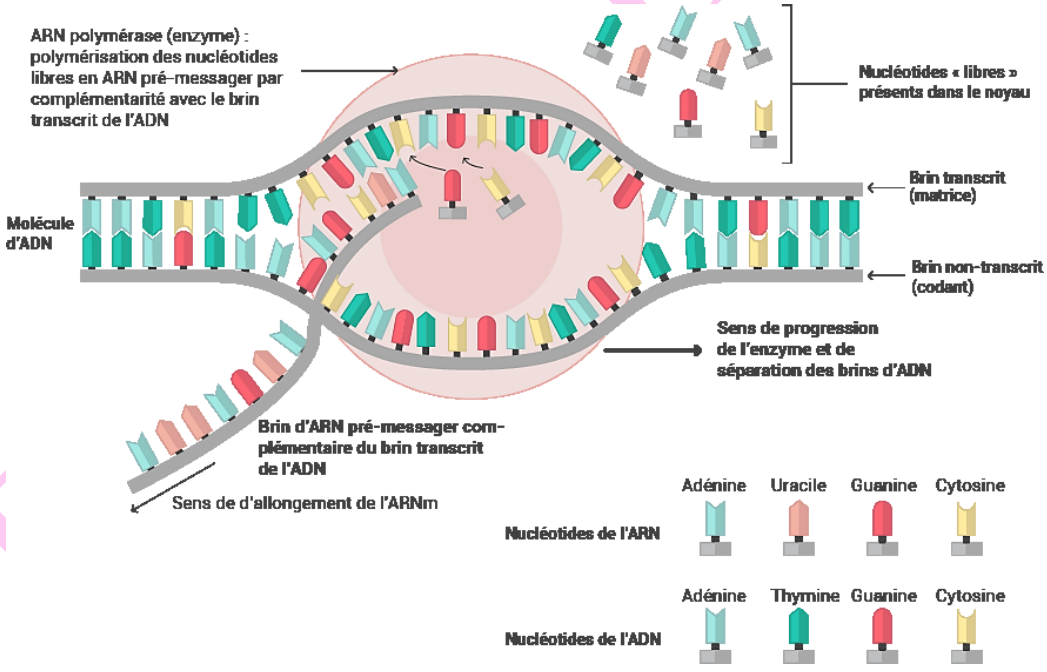
L'information génétique contenue dans le matériel génétique (ou gènes), se présente sous la forme de **séquences nucléotidiques précises**, alignée sur les brins **d'ADN**. Mais comment s'opère le lien entre cette information et les caractères héréditaires d'un organisme donné ?

Les **protéines** représentent le **lien** entre **l''information** codée (génotype) et le **caractère** (phénotype). Un caractère héréditaire n'est observable qu'après **Expression** du génome spécifique que possède chaque personne. La **transcription** et la **traduction** sont les mécanismes principaux de **l'expression génétique** qui aboutit à la **synthèse de protéines**.

II.4.1 Transcription de l'ADN en ARN

Le processus débute par la **synthèse** d'une **copie** du **gène** sous forme d'une molécule d'ARN appelé **ARN messager (ARNm)**. Ce dernier est synthétisé par **complémentarité** grâce à **l'ARN polymérase** qui utilise l'un des brins de **l'ADN** comme **matrice** (brins transcrit). L'**ARNm** obtenu a une séquence **complémentaire** par rapport au brin **d'ADN transcrit** et **identique** par rapport au **brin non transcrit** à part T qui est remplacé par U. Le brin non transcrit est le brin « **codant** » dont son information va être **traduite**.

Les **ARNm** synthétisés se détachent de l'ADN et **migrent** dans le **cytoplasme** par les **pores** de l'enveloppe nucléaire.

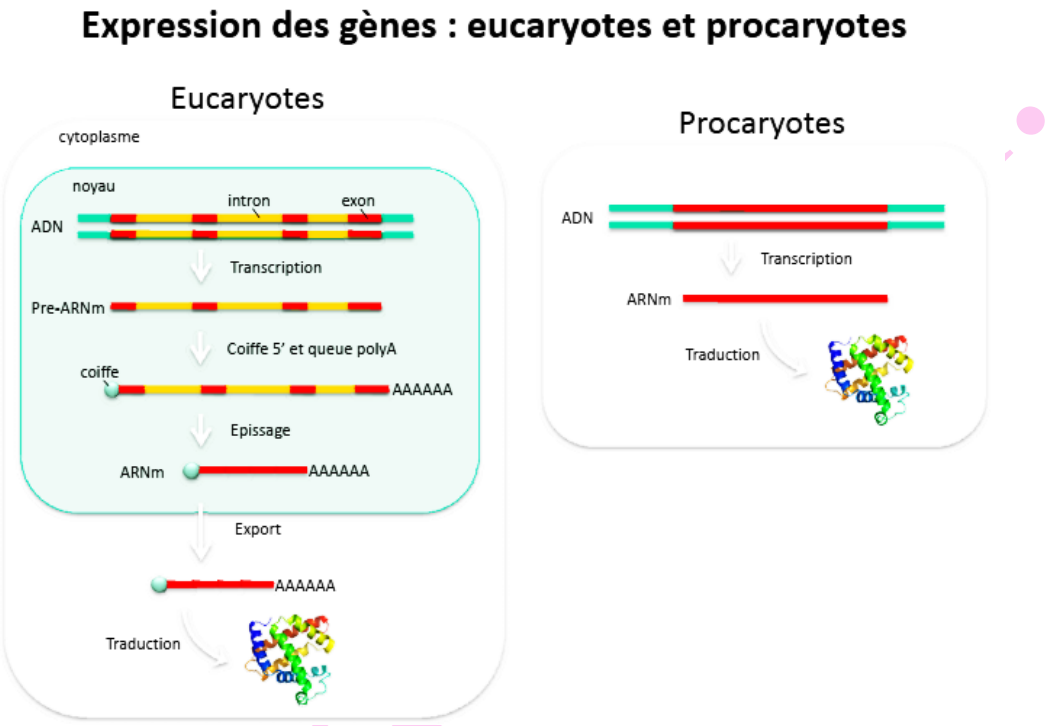


Les gènes des **eucaryotes** se caractérisent par la présence deux types de séquence nucléotidiques : des séquences **codantes** appelées « **exons** », et des séquences **non codantes** appelées « **introns** » ; contrairement aux gènes **procaryotes** qui ne contiennent **pas d'introns.**

Chez les **procaryotes**, la **transcription** permet de former directement un **ARN messager immédiatement utilisable** pour l'étape suivante. Par contre, chez les eucaryotes, la transcription forme un **ARN** dit **pré-messager** (prématuré ou encore Pré-ARNm).

L'ARN pré-messager subit des **modifications** dites « **post-tanscriptionnelles** » :

- Cet ARN comprend des parties codantes qui persisteront dans le futur ARNm, et les parties non codantes qui seront éliminées. Lors d'un processus appelé **épissage**, les **introns** sont coupés et **éliminés** et les **exons** sont **raccordés** entre eux pour former **l'ARN messager mature**.



- le Pré-ARNm subit d'autres **modifications** sur les **extrémités** : une **coiffe GTP** (Guanosine Tri Phosphate) est ajoutée à l'extrémité **5'**, et une **queue Poly(A)** est ajoutée à l'extrémité **3'**.

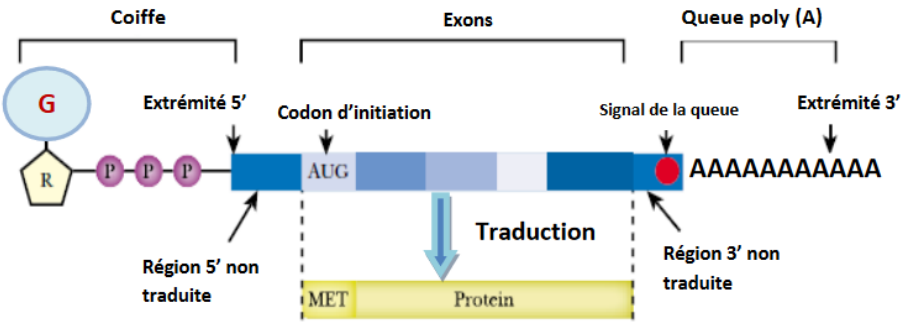


Fig.15: ARNm eucaryote mature prêt à être traduit. Coiffe ajoutée (CAP ADDED), La queue polyA ajoutée (TAIL ADDED), introns éliminés (INTRONS REMOVED).

L'**ARNm** maintenant **mature**, sort du **noyau** au **cytoplasme** pour être **traduit**.

II.4.2. Traduction

La traduction est la **synthèse** de **chaînes peptidiques** au niveau du cytoplasme selon le message **porté** par **l'ARNm** issu de la transcription.

1- Le code génétique

La relation entre séquence de **nucléotides** et la séquence **d'acides aminés** nécessite un **système de correspondance** entre les deux langages. Ce système de correspondance entre **triplets** nucléotidiques (**codon**) et acides aminés est appelé « **code génétique** » présentant les caractéristiques suivantes :

- Il est **dégénéré** : certains acides aminés sont codés par plusieurs codons.
- Il est **univoque** : chaque codon ne code que pour un seul acide aminé.
- Il est **universel** : le code génétique est le même pour tous les êtres vivants. Cette universalité est en faveur d'une origine commune à toutes les espèces.

Nucleotide base					
First	Second				Third
	Uracil (U)	Cytosine (C)	Adenine (A)	Guanine (G)	
Uracil (U)	F Phenylalanine (Phe)	S Serine (Ser)	Y Tyrosine (Tyr)	C Cysteine (Cys)	U
	F Phenylalanine (Phe)	S Serine (Ser)	Y Tyrosine (Tyr)	C Cysteine (Cys)	C
	L Leucine (Leu)	S Serine (Ser)	Stop Codon	Stop Codon	A
	L Leucine (Leu)	S Serine (Ser)	Stop Codon	W Tryptophan (Trp)	G
Cytosine (C)	L Leucine (Leu)	P Proline (Pro)	H Histidine (His)	R Arginine (Arg)	U
	L Leucine (Leu)	P Proline (Pro)	H Histidine (His)	R Arginine (Arg)	C
	L Leucine (Leu)	P Proline (Pro)	Q Glutamine (Gln)	R Arginine (Arg)	A
	L Leucine (Leu)	P Proline (Pro)	Q Glutamine (Gln)	R Arginine (Arg)	G
Adenine (A)	I Isoleucine (Ile)	T Threonine (Thr)	N Asparagine (Asn)	S Serine (Ser)	U
	I Isoleucine (Ile)	T Threonine (Thr)	N Asparagine (Asn)	S Serine (Ser)	C
	I Isoleucine (Ile)	T Threonine (Thr)	K Lysine (Lys)	R Arginine (Arg)	A
	Start (Methionine)	T Threonine (Thr)	K Lysine (Lys)	R Arginine (Arg)	G
Guanine (G)	V Valine (Val)	A Alanine (Ala)	D Aspartic acid (Asp)	G Glycine (Gly)	U
	V Valine (Val)	A Alanine (Ala)	D Aspartic acid (Asp)	G Glycine (Gly)	C
	V Valine (Val)	A Alanine (Ala)	E Glutamic acid (Glu)	G Glycine (Gly)	A
	V Valine (Val)	A Alanine (Ala)	E Glutamic acid (Glu)	G Glycine (Gly)	G

2- Les ribosomes

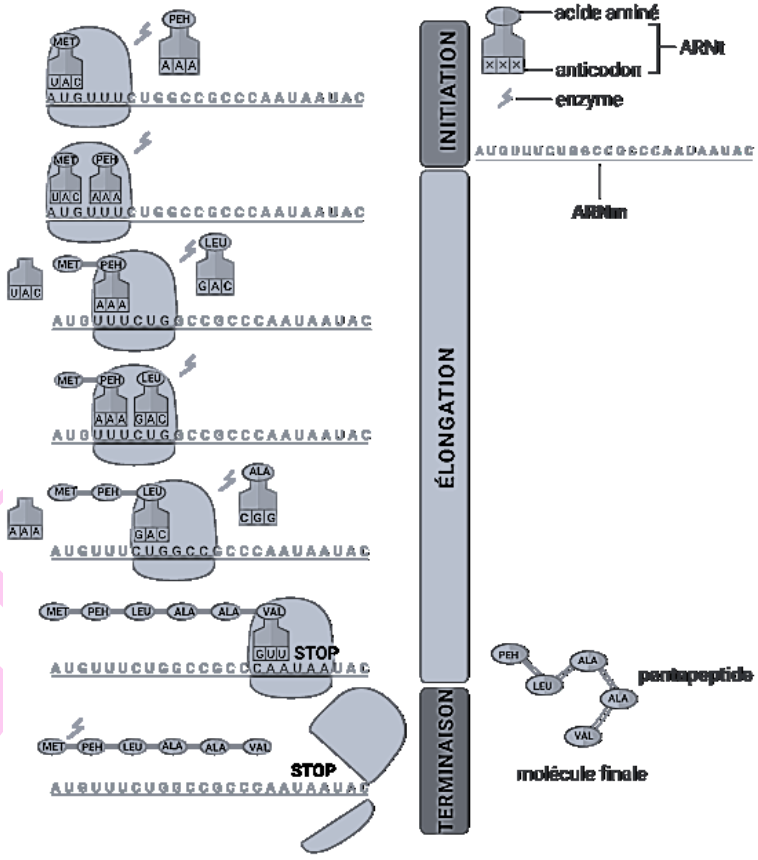
Ce sont des organites **hyaloplasmiques** de taille voisine de 20 nm. Ils sont soit **libres**, soit **accolés** aux membranes du **réticulum** endoplasmique. Ils sont constitués de **2 sous-unités** de tailles différentes, la **petite** et la **grosse** sous-unité qui peuvent se détacher. Ils sont constitués **d'ARN** (65%) et de **protéines** (35%). Les ribosomes des **procaryotes** ont un facteur de sédimentation de**70S**, par contre ceux des **eucaryotes** ont un facteur de sédimentation de **80S**.

3- ***Déroulement de la traduction***

Ce processus a lieu dans le cytoplasme Pendant la traduction, **l'information** portée par l'ARNm est **traduite** en une séquence précise **d'acides aminés** (AA) pour constituer une **protéine**. C'est un processus qui se déroule au niveau des **ribosomes** qui s'associent avec l'**ARNm** pour **lire** le **message** et lui faire correspondre les acides aminés selon le code génétique.

La traduction fait intervenir aussi des ARN particuliers dits **ARN de transfert** d'acides aminés (ARNt). L'ARNt est donc **l'adaptateur** qui associe un triplet de l'ARNm (**codon**) avec l'acide aminé correspondant selon le code génétique grâce à son **anticodon**.

La synthèse d'une chaîne peptidique se fait en 3 étapes : l'initiation, l'élongation et la terminaison.



a- L'initiation : la **petite sous-unité** du ribosome se **lie** ainsi en **premier** à l'ARN **messager**, pour aboutir à l'interaction entre le **codon de début** (AUG) et l'anticodon d'un ARNt initiateur qui porte le **premier acide aminé** qui sera incorporé dans la protéine (**méthionine**). La **grande sous-unité** se **fixe** sur la petite, le **ribosome** est ainsi formé et est **activé**. Cet événement déclenche la traduction.

b- L'élongation : le ribosome **progresse** alors de codon en codon au niveau de l'ARNm, en **polymérisant** un à un les **acides aminés** de la protéine. Les ARNt qui diffusent dans le **site A** (aminoacid) portent **l'acide aminé** correspondant dans le code génétique à leur anticodon. Une liaison **peptidique** se forme de la entre l'acide aminé fixé à **l'ARNt du site P** (peptide) et **l'acide aminé** de l'ARNt **au site A**. Ceci aboutit au transfert de la chaîne peptidique en cours de synthèse.

c- la terminaison : quand le ribosome arrive au **codon stop** (UGA, UAG ou UAA), la traduction s'achève. Les **sous-unités** du ribosome se **dissocient** complètement, **l'ARNm** sera **hydrolysé** en nucléotides libres qui pouvant être réutilisés.

Le **peptide** synthétisé est **libéré** subit plusieurs **modification** dites « **post-traductionelles** », selon la destination finale et la fonction de la protéine mature. Parmi ces modifications : la méthylation, l'acétylation, la phosphorylation, l'hydrolysation, la glycosylation, la désamination, liaison d'un cofacteur, etc.

II.4. Mutations

II.4.1. Définition

Une **mutation** est une **modification** (changement permanent) **héréditaire** dans la **séquence nucléotidique** du matériel génétique (dans le génome d'une cellule eucaryote ou procaryote ou d'un virus), qui peut engendrer des **modifications phénotypiques**. C'est donc une **modification de la séquence de l'ADN**, ou bien dans **l'ARN** pour un virus à ARN. C'est l'une des causes principales de l'évolution des espèces.

II.4.2. types de mutation :

Les mutations peuvent être **naturelles** ou **induites**. Les premières surviennent **naturellement** dans la cellule, en **l'absence** de toute **induction externe**. Alors que, les mutations **induites** surviennent **suite à une induction** (stimulation) externe, sous l'influence de facteurs environnementaux, physiques ou chimiques.

1- ***Mutations naturelles*** **:** Les modifications des bases peuvent entraîner des mutations.
   - Les mutations spontanées apparaissent suite aux erreurs de la réplication de l'ADN**.**
   - Désamination spontanée **:** certaines bases sont spontanément désaminées (perte d'un groupement amine). Par exemple : l'adénine désaminée s'apparie préférentiellement avec la cytosine au lieu la thymine.

BENSLIM A.

- Les formes réactives d'oxygène tels que **:** les radicaux superoxydes (O_2), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), et les radicaux hydroxyles (OH), sont des sous-produits du métabolisme aérobie qui altèrent les bases d'ADN en provoquant leurs oxydation.

2- ***Mutation Induite*** Le taux de mutation peut être augmenté par l'action de produits ou facteurs mutagènes

a- Mutagènes chimiques :

- *Désamination* : de nombreux agents chimiques interagissent avec l'ADN de manière à produire des altérations de sa séquence.
- *Analogues des bases* : certains analogues de base sont aussi à l'origine de mésappariement. Ainsi le 5-bromo-uracile, un analogue de la cytosine s'hybride préférentiellement à l'Adénine ; et le 2-amino-purine un analogue de l'adénine s'apparie avec la cytosine.
- *Agents alkylants* : ces agents qui réagissent avec les bases en ajoutant des radicaux alkyles tels que le méthyle-guanine qui s'apparie avec la thymine au lieu de s'apparier avec la cytosine.
- *Agents intercalants* : ces agents sont des molécules qui s'intercalent entre les bases créant des déformations qui peuvent causer décalages du cadre de lecture. C'est le cas de l'acridine orange, du bromure d'éthidium, et de l'actinomycine D.

b- Mutagènes physiques :

- *Chaleur* : engendre des réactions d'hydrolyse des bases, surtout des purines.
- *Rayons UV* : sont à l'origine de mutations résultant de liaisons anormales entre les bases de pyrimidines voisines (sur le même brin), comme les dimères de thymine (T=T)
- *Rayons X* : en interagissant avec l'ADN donnent naissance à des radicaux libres (molécules d'oxygène réactives) qui peuvent rompre la double hélice.

II.4.3. Mécanismes de la mutation

Tout changement dans la séquence nucléotidique d'un gène constitue une **mutation**. Ce changement peut se faire par :

BENSLIMA.

1- Substitutions

La **substitution** est le **remplacement** d'un nucléotide par un autre dans la structure primaire de l'acide nucléique. Une substitution **ne change pas le cadre de lecture** mais elle aboutit à des **résultats** très différents après la **traduction**. Cela dépend de sa position par rapport au cadre de lecture. Une substitution dans un codon peut se traduire par :

- Le **même acide aminé** : on dit que c'est une **mutation silencieuse** (grâce à la dégénérescence du code génétique).
- Acide aminé est **différent** : on dit que c'est une **mutation faux-sens**.
- Si la substitution est traduite par un **codon de terminaison** (codon Stop) : on dit que c'est une mutation t **non-sens**. La **traduction** sera **arrêtée** et la **protéine** traduite sera **tronquée** à cet endroit.

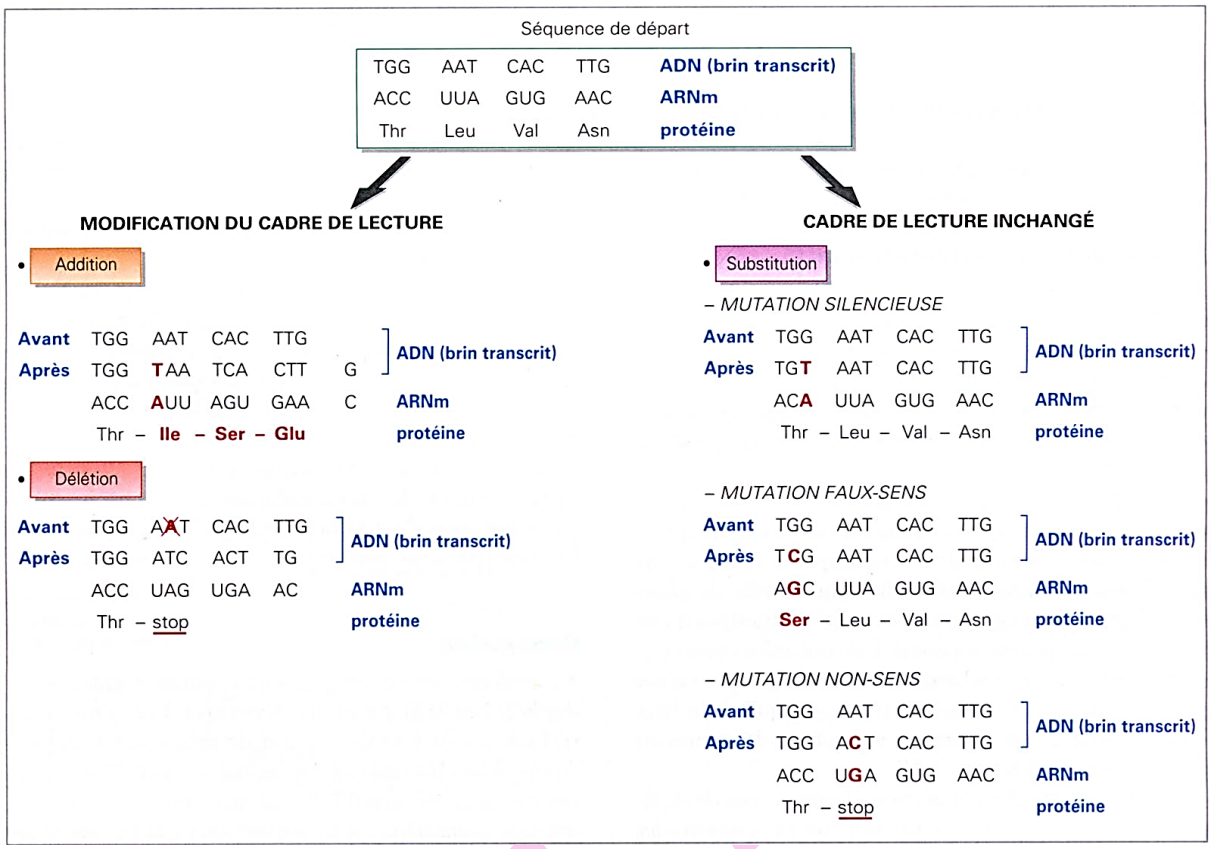
2- Délétions et Insertions

La **délétion** est la suppression de nucléotides, et **l'insertion** est **l'addition** de **nucléotides** dans la séquence primaire d'un acide nucléique. Ces mutations sont d'importance **variable selon** leurs **longueurs** :

- Lorsqu'il s'agit de **1** ou **2 nucléotides**, le **cadre** de lecture est **décalé**
- Quand elles atteignent **3 nucléotides**, elles aboutissent à la **suppression** (délétion) ou à une **addition** d'un **codon** entier est donc d'un **acide aminé** dans la protéine exprimée (**décalage** par un codon).
- Lorsqu'elles les délétions/additions sont plus **longues**, elles peuvent **supprimer l'expression** d'une ou de plusieurs protéines.

Ces délétions et insertions **ne sont pas réversibles**.

BENSLIM A.


Séquence de départ
TGG AAT CAC TTG ADN (brin transcrit)
ACC UUA GUG AAC ARNm
Thr Leu Val Asn protéine
MODIFICATION DU CADRE DE LECTURE
CADRE DE LECTURE INCHANGÉ
Addition
Avant TGG AAT CAC TTG
Après TGG TAA TCA CTT G
ACC AUU AGU GAA C
Thr – Ile – Ser – Glu
ADN (brin transcrit)
ARNm
protéine
Délétion
Avant TGG AAT CAC TTG
Après TGG ATC ACT TG
ACC UAG UGA AC
Thr – stop
ADN (brin transcrit)
ARNm
protéine
Substitution
– MUTATION SILENCIEUSE
Avant TGG AAT CAC TTG
Après TGT AAT CAC TTG
ACA UUA GUG AAC
Thr – Leu – Val – Asn
– MUTATION FAUX-SENS
Avant TGG AAT CAC TTG
Après TCG AAT CAC TTG
AGC UUA GUG AAC
Ser – Leu – Val – Asn
– MUTATION NON-SENS
Avant TGG AAT CAC TTG
Après TGG ACT CAC TTG
ACC UGA GUG AAC
Thr – stop
ADN (brin transcrit)
ARNm
protéine

BENSL