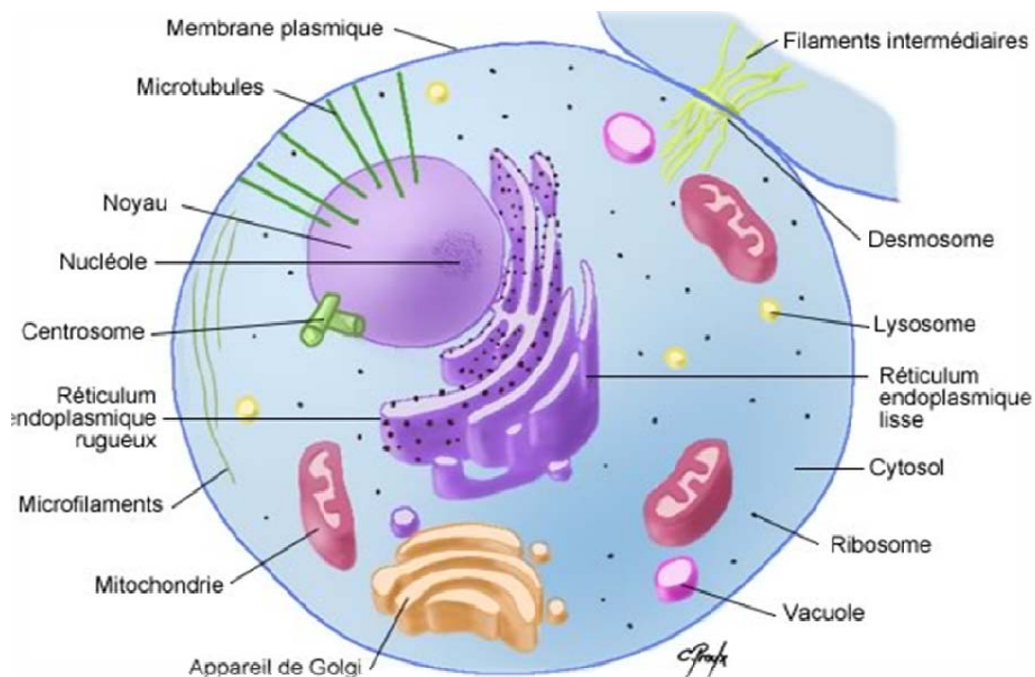


Département de Biologie

Filière "Sciences de la Vie"

Module : Biologie – Géologie

Elément de module : Biologie Cellulaire



Professeurs :
R. BELCADI
H. BERGAYOU
M. ZAAFRANI

Année Universitaire : 2012/2013

1. INTRODUCTION

En biologie la cellule représente l'unité de base structurale et fonctionnelle de toute forme de vie sur la terre. Plus simplement, une cellule est une structure en trois dimensions, un genre de sac clos limité par une membrane et dont le contenu présente une composition différente de celle du milieu environnant. Le maintien de cette différence implique que la membrane joue un rôle de barrière. Cependant, le fonctionnement de la cellule nécessite de nombreux échanges avec le milieu environnant : absorption d'éléments nouveaux pour assurer le métabolisme et la croissance, rejet de déchets.

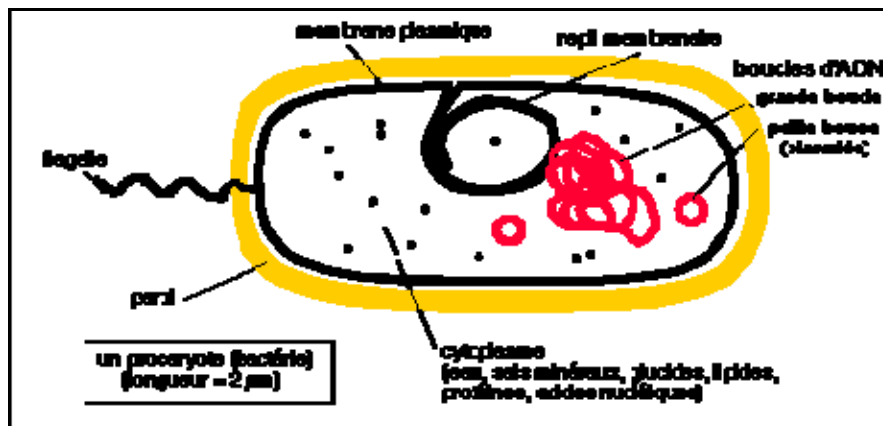
En dépit de leurs nombreuses différences d'aspect et de fonction, toutes les cellules ont un certain nombre de points communs : elles sont entourées d'une membrane dite *membrane plasmique* enveloppant une substance riche en eau, *le cytoplasme*. Toutes les cellules contiennent par ailleurs des informations héréditaires contenues dans l'*ADN* sous forme de chromosomes qui portent les gènes. L'*ADN* contrôle les activités de la cellule et lui permet de se reproduire en transmettant ses caractéristiques à ses descendantes, issues des divisions cellulaires ; il est le support de l'hérédité.

On peut opposer deux grands types de cellules en termes de taille et d'organisation interne : les cellules procaryotes et les cellules eucaryotes. Parmi les eucaryotes, les cellules végétales et animales sont en revanche très proches, de par leur structure fondamentale.

Cellules procaryotes

Les Procaryotes (du grec, *pro*, avant et *karyon*, noyau) sont des êtres unicellulaires, dépourvus de noyau et bordés d'une membrane. L'*ADN* se présente sous forme d'un *chromosome unique et circulaire replié dans une zone nucléaire*. De plus, très peu de protéines lui sont attachées contrairement à l'*ADN* des cellules eucaryotes. Plusieurs organites cellulaires sont absents (**voir tableau comparatif**). On retrouve cependant des ribosomes de taille et de composition, différentes de ceux des cellules eucaryotes. En plus de la membrane plasmique, les cellules sont entourées d'une *épaisse paroi cellulaire*. Cette paroi protège la cellule, lui donne sa forme et l'empêche d'éclater dans un milieu

hypotonique. On trouve parfois en plus une couche externe appelée **capsule**. Leur reproduction est simple généralement : elles se divisent tout simplement en deux par **fission binaire**, chacune des deux cellules filles étant génétiquement semblables. Leurs formes sont très variées dans le détail mais deux formes simples dominent: les **sphères** ; et les **bâtonnets** plus ou moins allongés (*filaments*). A ces formes générales, il faut ajouter les prolongements comme les **flagelles** qui peuvent être très nombreux.



Cellules eucaryotes

Les cellules des Eucaryotes (*eu*, propre) sont généralement de plus grande taille, avec un noyau bordé d'une membrane. Le noyau contient plusieurs chromosomes. Le plus souvent, les eucaryotes contiennent aussi des membranes internes qui cloisonnent la cellule en y délimitant des **organites** qui ont des fonctions biologiques spécialisées. Ce sont des cellules plus perfectionnées et on les rencontre chez les animaux et les végétaux.

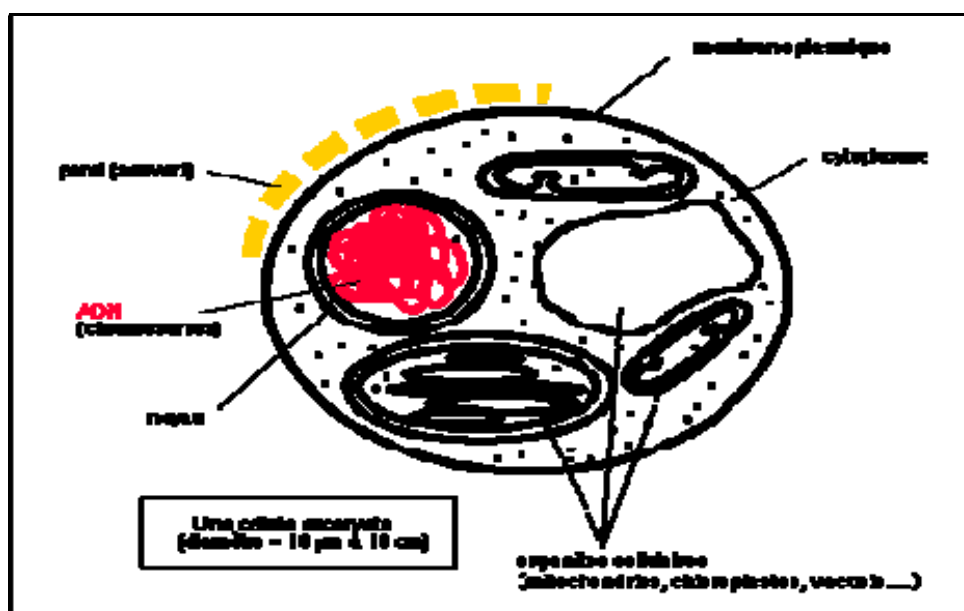
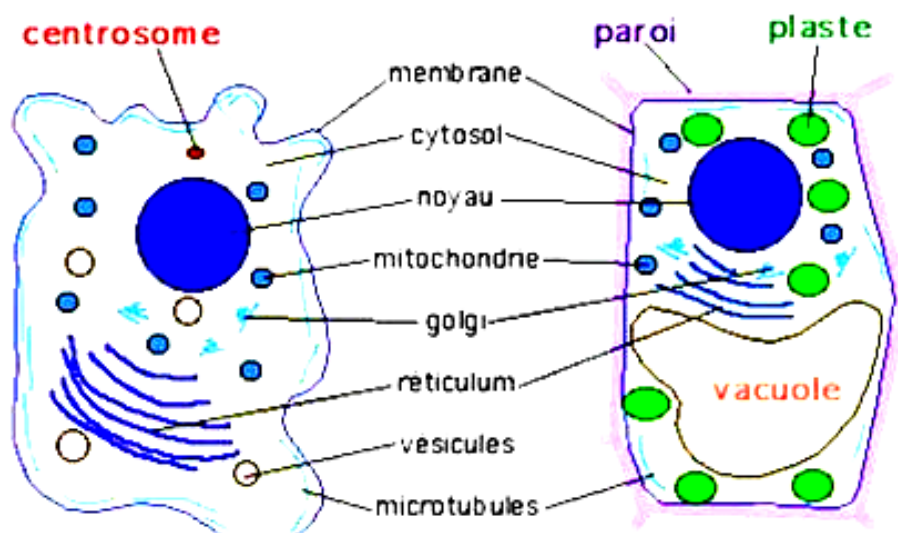


Tableau comparatif des cellules eucaryotes et procaryotes

Caractéristiques	cellule Procaryote	cellule Eucaryote
Taille typique	1-10 µm	10-100 µm
Type de <u>noyau</u>	Nucléoïde (pas de véritable noyau)	vrai noyau avec double membrane
Division de la cellule	division simple	mitose (réplication de cellule) ; méiose (formation de gamètes) ; conjugaison.
Organisation cellulaire		
Membrane nucléaire	non	oui
Nombre de chromosomes	généralement 1	> 1
Chromosome circulaire	oui	non
Histones	non	oui
Nucléole	non	oui
Echange génétique	transfert unidirectionnel	fusion de gamètes
ARN et synthèse des protéines	couplé au cytoplasme	synthèse d'ARN dans le noyau. synthèse de protéines dans le cytoplasme
Premier acide aminé initiant la synthèse d'une chaîne polypeptidique	méthionine ou formylméthionine	N-méthionine
Structures cellulaires		
Réticulum endoplasmique	non	oui
Appareil de Golgi	non	oui
Lysosomes	non	oui
Mitochondries	non	oui
Chloroplastes	non	oui chez les plantes
Microtubules	non	oui
Paroi cellulaire avec peptidoglycane	oui	non
Taille des <u>ribosomes</u>	70 S	80 S, sauf mitochondries et chloroplastes
Constantes de sédimentation des ARN ribosomaux	16S, 23S, 5S	18S, 28S, 5,8S, 5S
Attributs fonctionnels		
Phagocytose	non	oui, parfois
Pinocytose	non	oui, parfois
Flux cytoplasmique	non	oui
Mouvement de la cellule	flagelles faites de flagelline	de flagelle et cils faits de tubuline

Comparaison entre la cellule végétale et la cellule animale

Les cellules des végétaux et des animaux sont des **eucaryotes** très proches dans leur structure. Les différences se situent principalement au niveau de la paroi qui entoure (ou non) la membrane plasmique et de la présence ou absence de chloroplastes. Les cellules végétales sont ainsi entourées d'une paroi rigide de cellulose et contiennent, outre tous les organites communs aux autres eucaryotes, des chloroplastes capables de réaliser la photosynthèse. Par ailleurs, leur cytoplasme est en grande partie occupé par une vaste vacuole. Les cellules animales, elles, sont dépourvues de paroi, de chloroplastes et les vacuoles, quand elles sont présentes, elles sont petites et dispersées dans le cytoplasme.



Cellule animale

Cellule végétale

2. Membrane plasmique

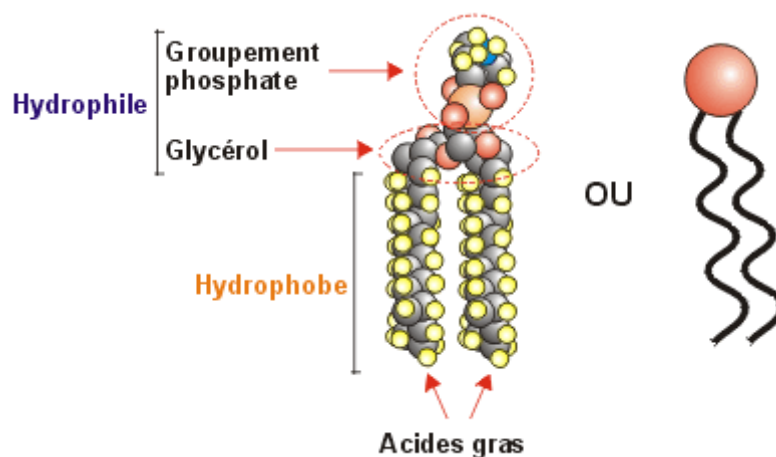
2.1 Structure

La membrane plasmique constitue l'interface entre la cellule et son milieu. Elle assure donc à la fois un rôle de barrière en empêchant les molécules cellulaires de partir et les molécules extérieures d'entrer librement, et un rôle de barrière en sélectionnant les éléments qui peuvent entrer ou sortir. Toutefois, ses fonctionnalités ne s'arrêtent pas là. C'est le premier élément rencontré par les molécules porteuses d'information, comme les hormones, les neurotransmetteurs ou diverses espèces chimiques importantes pour la cellule. C'est principalement la membrane qui permet à la cellule de connaître son environnement et d'agir sur lui. La membrane est donc un organe fondamental aux fonctions multiples. Les constituants principaux de la membrane plasmique sont **les lipides, les protéines** et, **les glucides**.

A) Les lipides

Les lipides sont les constituants fondamentaux de la membrane ; ils sont représentés principalement par **les phospholipides, les glycolipides et les stérols**.

On appelle phospholipides les composés lipidiques contenant du phosphore.



On désigne sous le terme "phospholipides" l'ensemble des **glycérophospholipides** et les **sphingophospholipides**.

Les phospholipides ont une partie hydrophobe constituée de 2 chaînes d'acides gras appelée queues et une partie hydrophile constituée d'un groupe phosphate appelée tête. De ce fait les phospholipides sont des molécules **amphiphiles ou amphipathiques**.

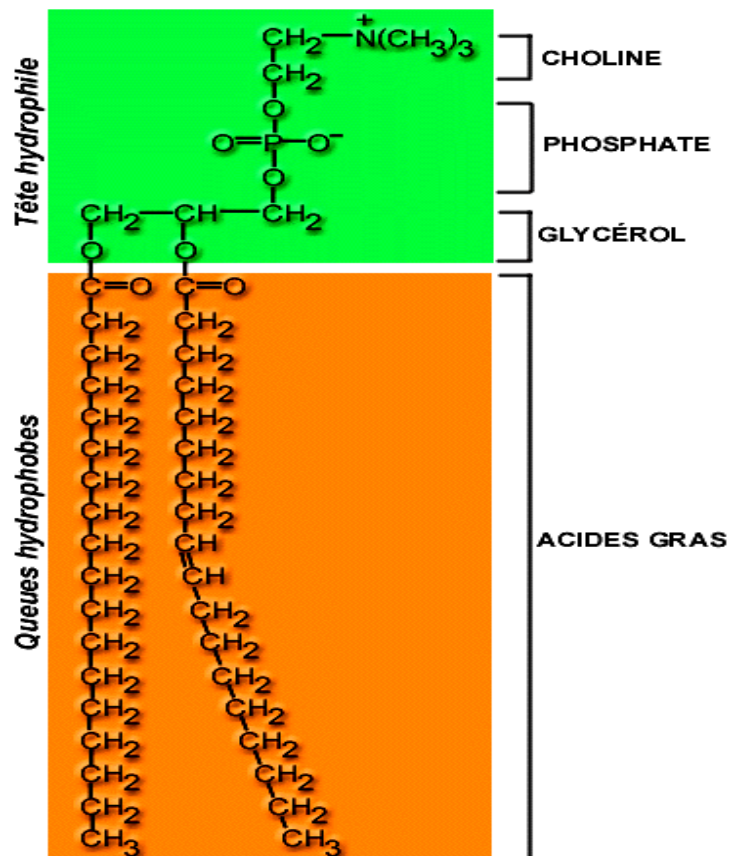
Leurs chaînes d'acides gras sont des chaînes hydrocarbonnées (-CH-CH-) linéaires de 12 à 24 atomes de carbone. Ces chaînes sont saturées quand les liaisons -C-C- sont simples et insaturées quand ces liaisons sont doubles -C=C-. Le nombre de double liaison est de 2 à 6.

La tête des glycérophospholipides est un groupement phosphate constitué de :

- glycérol $C_3H_8O_3$
- acide phosphorique H_3PO_4
- amine (choline ou sérine ou éthanolamine) ou un sucre (inositol).

Ainsi, dans la membrane plasmique il existe **quatre types de glycérophospholipides** :

- . phosphatidyle choline **PC**
- . phosphatidyle sérine **PS**
- . Phosphatidyle étanolamine **PE**
- . Phosphatidyle inositol **PI**

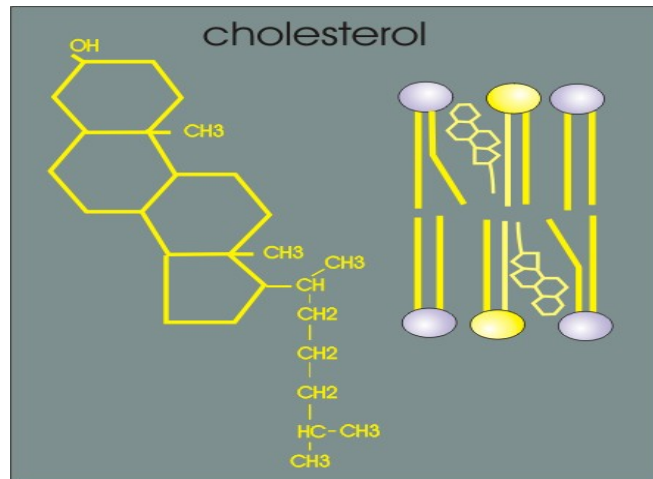


Les sphingophospholipides sont des phospholipides membranaires ne contenant pas de glycérol. Exp: **sphingomyéline SM**. Ils sont composés d'un alcool gras aminé: la sphingosine, d'un acide gras à longue chaîne et un groupement phosphate. La sphingosine est un composé de 18 atomes de carbone, une double liaison trans, un groupement aminé (NH_2) et 2 hydroxydes (OH).

Les glycolipides

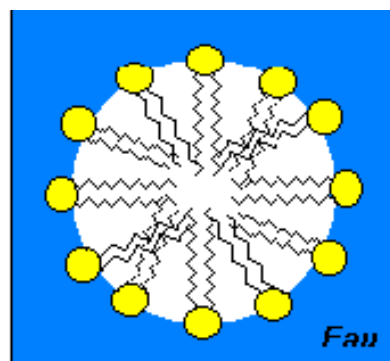
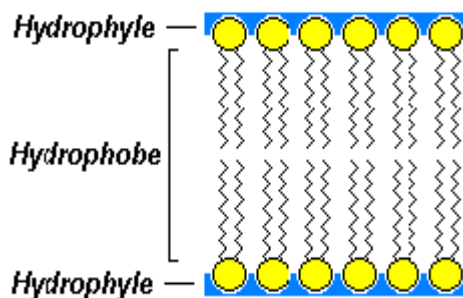
Ils font partie du groupe des sphingolipides. Ils résultent de l'association de la céramide (sphingosine liée à un acide gras) avec un sucre. Ils sont représentés essentiellement par les **gangliosides** et les **cérébrosides**. Comme leur nom l'indique, on les retrouve essentiellement dans **la membrane plasmique des cellules du système nerveux**. Si le glycolipide possède un seul résidu saccharidique, il porte le nom de cérébroside : exemple : **Galactocérébroside**, si plusieurs résidus glycosylés sont attachés au glycolipide, le composé s'appelle un **ganglioside**.

Le cholestérol est un alcool cyclique contenant un noyau stéroïde associé à une chaîne latérale de 27 atomes de carbone. fig-c'est aussi une molécule amphiphatique car il possède une partie hydrophile (fonction hydroxyle OH) sur le carbone 3 du cycle, le reste de la molécule est hydrophobe



Comportement des lipides dans l'eau

Les lipides sont des molécules amphiphiles : ils ont une tête polaire (hydrophile) qui aime l'eau et une queue apolaire (hydrophobe) qui pousse l'eau. C'est ce caractère amphiphile qui conditionne l'organisation des lipides dans l'eau en : mono-couches, bi-couches (liposomes) ou micelles.



Les lipides fortement amphiphiles comme les phospholipides ou les glycolipides ne forment pas de micelles ou des mono-couches mais des bi-couches lipidiques (=double couche lipidique exp: membrane cellulaire). Dans une bicouche les parties polaires sont à l'extérieur et les parties apolaires sont à l'intérieur.

Caractéristique de la double couche lipidique : fluidité et asymétrie

Fluidité

La fluidité de la membrane est un paramètre important pour son fonctionnement correct.

Les phospholipides (ainsi que les protéines) sont doués de mobilité et les différents mouvements sont:

- Diffusion latérale
- Rotation
- Flexion
- Balancement ou « flip-flop »

La fluidité dépend de plusieurs paramètres :

- **la longueur des chaînes hydrocarbonnée** : plus les chaînes sont longues plus le degré de fluidité est faible.

-**l'insaturation** : la présence des doubles liaisons dans les chaînes est favorable pour la fluidité.

-**la quantité du cholestérol**: le cholestérol est un ciment, plus sa quantité augmente plus la fluidité diminue.

-**la température**: plus la température diminue plus la membrane est moins fluide.

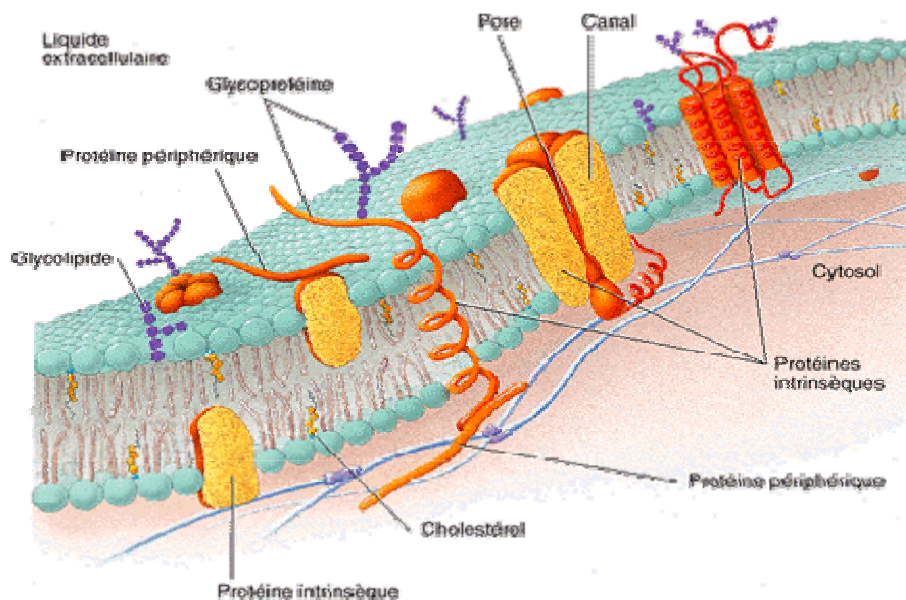
Asymétrie.

La membrane plasmique est asymétrique car la répartition des constituants (lipides, protéines et glucides) est différente dans les deux couches. Exemple : les glucides sont localisés uniquement dans la couche externe (sur la face externe).

B) Les protéines

Dans la bicouche lipidique sont immergées des molécules de protéines qui, grâce à la fluidité qui caractérise la membrane, peuvent changer de position en se déplaçant

latéralement. Ces protéines (protéines intrinsèques 70%) pénètrent partiellement ou bien traversent toute l'épaisseur de la membrane, et débordent sur l'une ou sur les deux surfaces, externe et interne. D'autres protéines, les protéines extrinsèques, sont dispersées sur la surface externe ou sur la surface interne de la membrane. Les protéines de membrane ont une fonction bien déterminée. Certaines transportent des substances spécifiques à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule, d'autres forment des canaux ou des pores à travers lesquels peuvent passer les molécules polaires pour lesquelles la double couche lipidique constitue une barrière. Ils existent d'autres types de protéines tout aussi importantes : celles qui fonctionnent comme des récepteurs, autrement dit comme des sites spécifiques auxquels se lient des substances particulières comme les hormones, et celles qui jouent le rôle de catalyseurs de certaines réactions enzymatiques.



C- Les glucides

Les hydrates de carbone sont présents dans la membrane sous la forme d'oligosaccharides, courtes chaînes formées par l'association de quelques molécules de sucres simples. Ils assurent la polarisation de la membrane. En effet, ils forment à la surface de la membrane des structures complexes et variées, mais toujours extracellulaires. Les glucides sont accrochés à la membrane par deux moyens : ils sont fixés à la surface des protéines intra membranaires (les glycoprotéines) ou aux lipides membranaires (les glycolipides).

Ces glucides ont plusieurs rôles :

- Reconnaissance : les motifs glucidiques sont très antigéniques (par exemple les groupes sanguins).
- Participation à l'environnement local, les glucides sont des molécules très polaires.
- Renforcement de la membrane (stabilisation de la structure tertiaire des protéines et leur insertion dans la bicouche).
- Communication entre cellules voisines

2.2. Physiologie de la membrane plasmique.

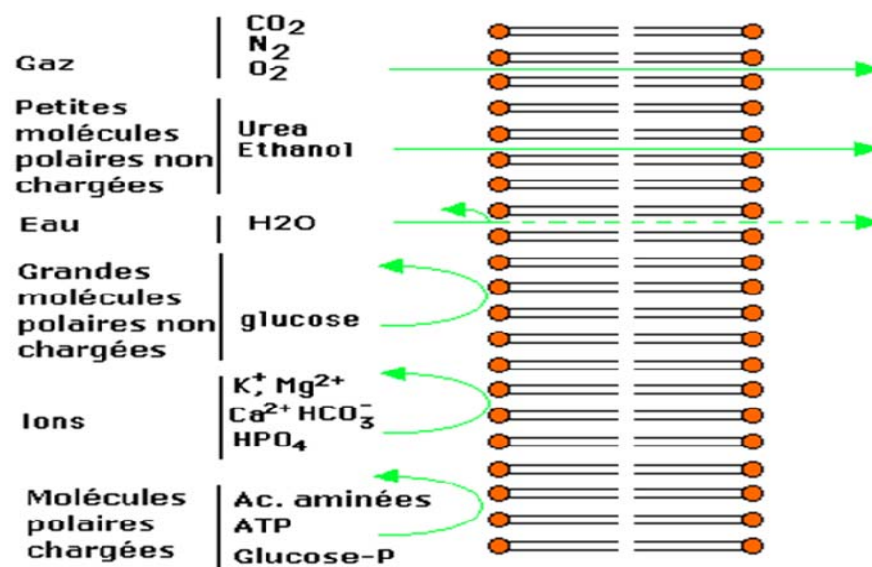
2.2.1. Perméabilité

A. Transports passifs.

La diffusion simple.

Elle se produit à travers la double couche lipidique des membranes ; elle ne concerne donc pas les espèces chargées qui sont très lipophobes. La diffusion simple obéit à la loi de Fick. Les espèces vont donc des compartiments de plus forte concentration aux compartiments de plus faible concentration.

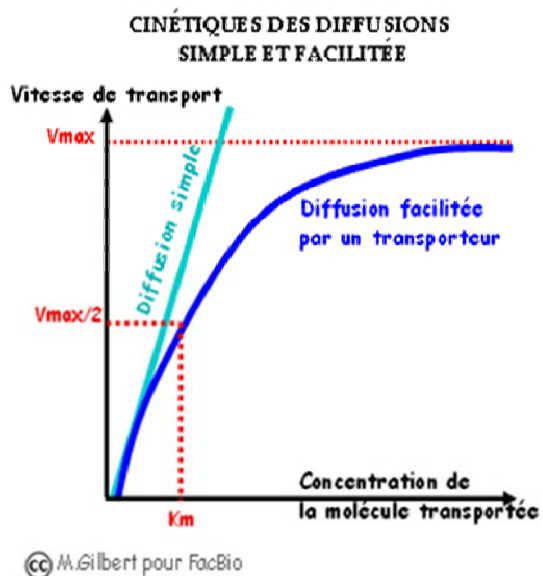
Expérience d'Overton 1902.



La diffusion facilitée.

Elle concerne les molécules dont la traversée de la bicouche lipidique est cinétiquement défavorisée en raison de leur faible liposolubilité. Il s'agit cependant toujours d'une diffusion puisqu'elle s'opère à variation négative d'enthalpie libre. Lorsque le soluté n'est pas chargé la diffusion se fait selon le gradient de concentration, mais à travers une structure protéique membranaire (une perméase) qui accélère la diffusion. Une diffusion facilitée peut se représenter comme une diffusion catalysée par une enzyme particulière. Cinétiquement, on distingue une diffusion simple d'une diffusion facilitée par le fait que cette dernière est caractérisée par un phénomène de saturation. En effet, alors qu'un flux diffusionnel simple est proportionnel à la surface de membrane traversée (loi de Fick), un flux facilité est, de plus, limité par le nombre de points de passages, donc par la densité de molécules de perméase dans la membrane ; ce qui explique le phénomène de saturation qu'évoque la courbe hyperbolique de cette cinétique.

La diffusion facilitée est un mécanisme **saturable**, contrairement à la diffusion simple. La vitesse de transport atteint un maximum (V_{max}) lorsque le transporteur est saturé.



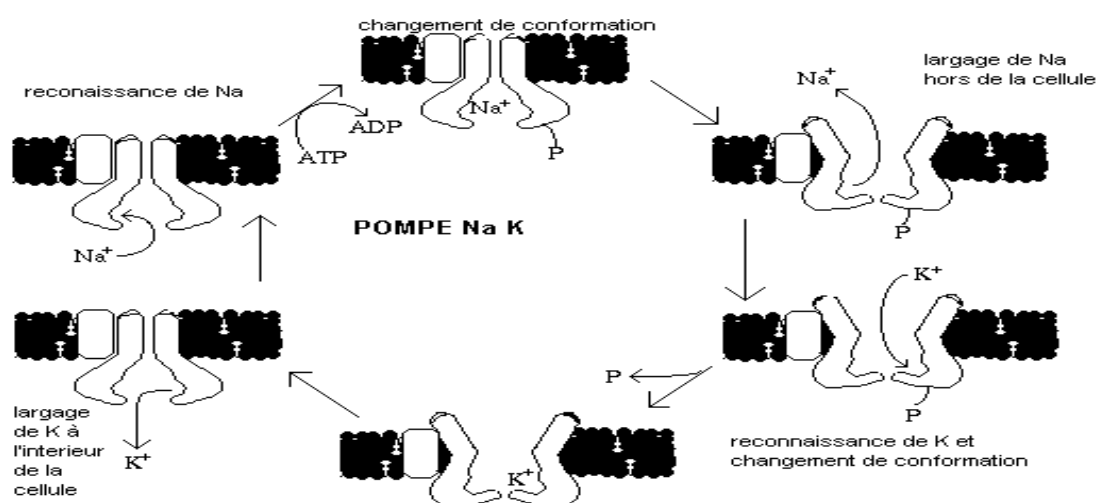
Lorsque le soluté est chargé (ions minéraux comme le sodium ou le potassium, par exemple), la diffusion se fait alors selon le gradient électrochimique (de concentration et de potentiel électrique). Ainsi, le sens de la diffusion facilitée d'un ion ne peut pas être déduit de la seule connaissance des concentrations. Pour peu que le gradient électrique le permette, un ion peut diffuser spontanément contre son gradient de concentration ; il faut

et il suffit pour cela que le terme DG soit négatif. Ici encore, une structure protéique facilite la diffusion mais n'affecte pas son sens. Une différence importante doit cependant être notée ici ; alors que la diffusion facilitée fait intervenir une perméase pour les composés neutres avec un fonctionnement Michaelien (interaction entre la perméase et le soluté transféré), les ions diffusent à travers de simples canaux dont la traversée ne suppose pas un changement de conformation. Il n'en reste pas moins que la cinétique d'une telle diffusion facilitée conserve le caractère d'une saturation, ce qui s'explique par le fait que les canaux sont en nombre fini dans les membranes. Les canaux ioniques ne sont pas toujours ouverts, ils ont souvent besoin d'une excitation extérieure, cette excitation peut être chimique, électrique ou mécanique suivant les canaux.

B. Transports actifs.

Transport actif primaire.

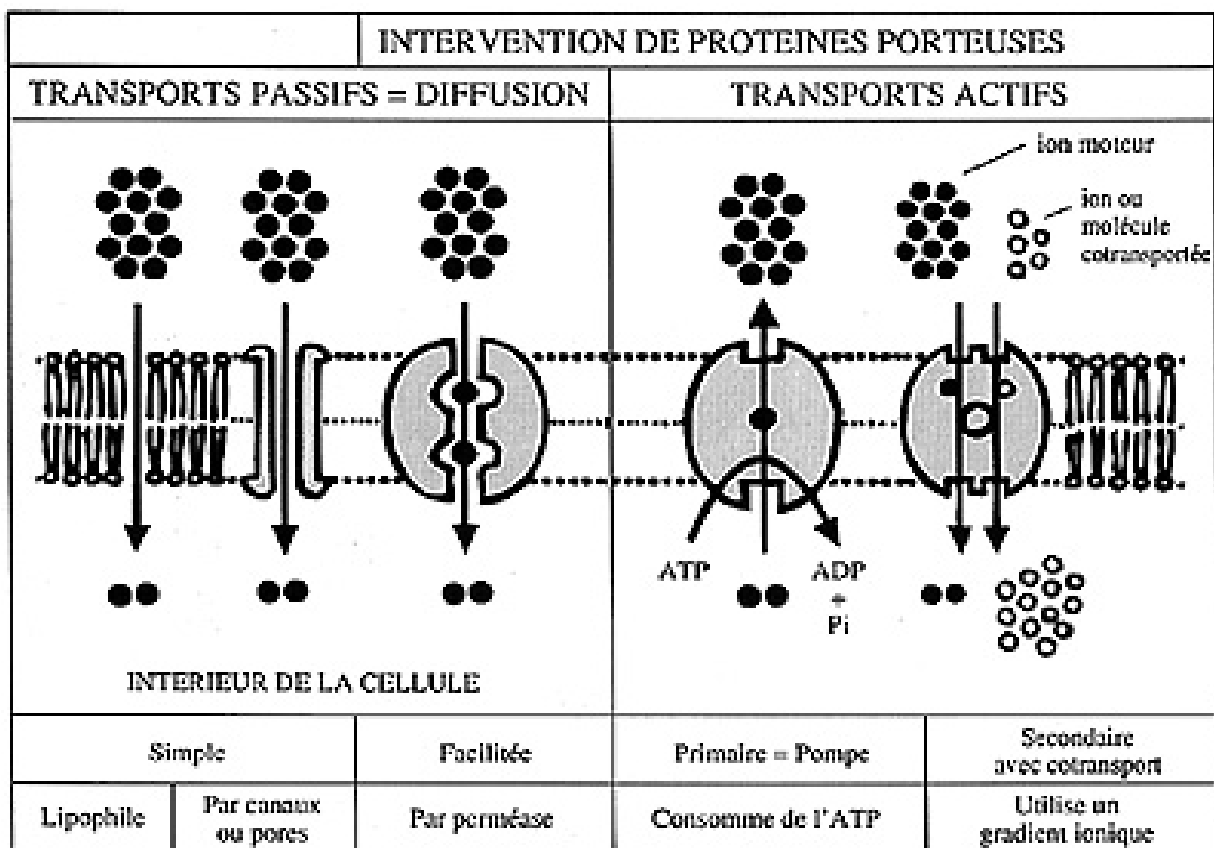
Qu'ils soient chargés ou non, les solutés peuvent être activement transportés contre leur sens spontané de diffusion, c'est-à-dire contre leur gradient chimique ou électrochimique et donc par couplage avec un processus exergonique. On parle de transport actif primaire lorsque c'est une réaction chimique exergonique qui est couplée au transport. (Le plus souvent on a hydrolyse d'ATP). Un modèle maintenant classique est celui de la pompe sodium potassium des cellules animales. C'est l'hydrolyse de cet ATP qui fournit l'énergie nécessaire au transport.



On a une sortie de 3 Na⁺ pour une entrée de 2 K⁺.

Transport actif secondaire.

On parle de transport actif secondaire lorsqu'un soluté est pompé (contre son gradient électrochimique) en utilisant un gradient de concentration ionique mis en place par une pompe primaire. Très souvent le gradient de concentrations utilisé est le gradient de sodium de la pompe sodium potassium. Le transport de la substance peut se faire dans le même sens que celui du sodium, on parle alors de symport, ou dans le sens contraire, on parle alors d'antiport.



2.2.2. Transport par vésicules : endocytose / exocytose

(voir cours système endomembranaire)

3. Cytoplasme

Le cytoplasme, unique compartiment des cellules procaryotes et compartiment le plus vaste des cellules eucaryotes, est constitué d'un gel aqueux appelé cytosol parcouru par les fibres du cytosquelette et comprenant de nombreuses molécules en solution. Chez les eucaryotes, c'est également le compartiment qui renferme des organites spécialisés, qui assurent la plupart des réactions biochimiques nécessaires à son fonctionnement. On peut distinguer plusieurs types d'organites : le noyau qui renferme le matériel génétique, les organites impliqués dans les synthèses cellulaires (réticulum endoplasmique, appareil de Golgi), ceux impliqués dans le catabolisme cellulaire, c'est-à-dire les dégradations des molécules (lysosome, peroxysome...), les organites produisant de l'énergie sous forme d'ATP et/ou des molécules organiques (mitochondries et chloroplastes).

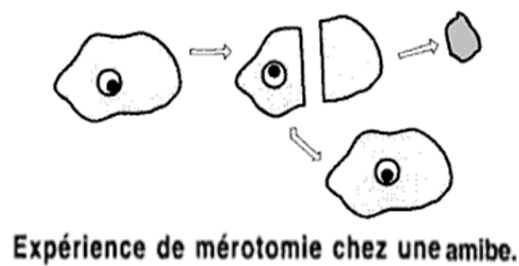
3.1. Noyau et Acides nucléiques

3.1.1. Noyau

Le noyau est un organite présent dans la majorité des cellules eucaryotes, et contenant la plupart du matériel génétique de la cellule. Il a deux fonctions principales : contrôler les réactions chimiques du cytoplasme et stocker les informations nécessaires à la division cellulaire. Il a un diamètre variant de 10 à 20 micromètres, ce qui fait de lui le plus grand des organites.

A- Importance du noyau dans la cellule

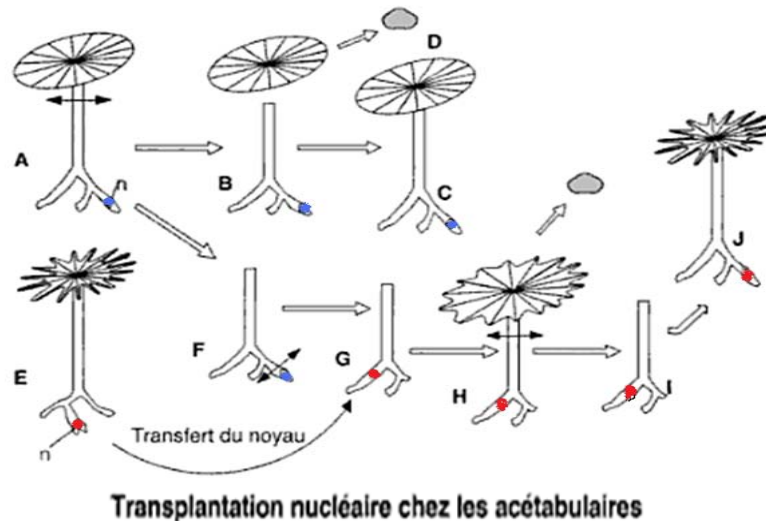
1- Expérience de mérotomie chez l'amibe



Conclusion:

Le noyau est indispensable à la vie de la cellule. Il joue un rôle fondamental dans la division cellulaire

2- Expérience de **transplantation de noyau** chez les acétabulaires: (algues unicellulaires : A=*Acetabularia mediterranea* ; E= *Acetabularia crenulata*)



- la première expérience nous rappelle les résultats trouvés chez l'amibe.

Le noyau d'*A. crenulata* est transplanté dans le stolon ou pied d'*A. mediterranea*. l'hybride (G) est viable et le chapeau régénéré après la greffe a une forme intermédiaire entre celui des deux espèces utilisées.

Si l'on sectionne une deuxième fois l'axe, le second chapeau régénéré est typiquement celui de l'espèce donatrice du noyau (*A. crenulata*).

Les caractères cytoplasmiques se modifient progressivement dans le sens de l'espèce qui a donné le noyau.

Conclusion

- le noyau a une action spécifique, il contient une substance diffusible, porteuse de l'information génétique spécifique.
- Le noyau transmet son information aux cellules filles

B. Structure du noyau interphasique

Elle est comparable dans la majorité des cellules.

1. Enveloppe nucléaire:

Elle entoure le noyau et appartient au système membranaire de la cellule. Elle est formée de deux membranes concentriques plus au moins parallèles entre elles :

- la **membrane interne** au contact du nucléoplasme.
- la **membrane externe** tapissée de ribosomes au contact du cytoplasme.

Les deux membranes sont séparées par un espace clair de 150 à 300 Å de largeur ou espace **périnucléaire**.

-L'enveloppe nucléaire présente des discontinuités circulaires ou **pores nucléaires** de 100 à 300 nm de diamètre mettant en communication l'intérieur du noyau et le cytoplasme. Ces pores occupent 5 à 30 % de la surface du noyau (selon l'état physiologique du noyau)

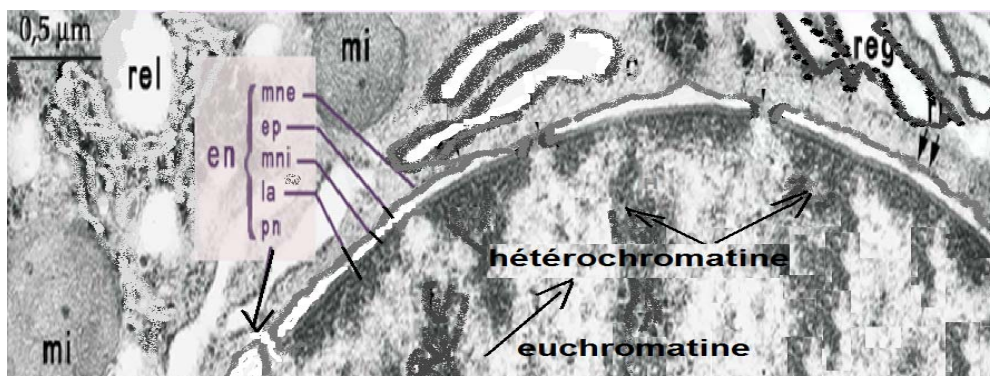
2- Nucléoplasme.

Il contient:

-un ou plusieurs nucléoles (1 à 3 µm de diamètre).

-la chromatine sous deux formes : **l'hétérochromatine** (inactive et condensé) et **l'euchromatine** (active et dispersée).

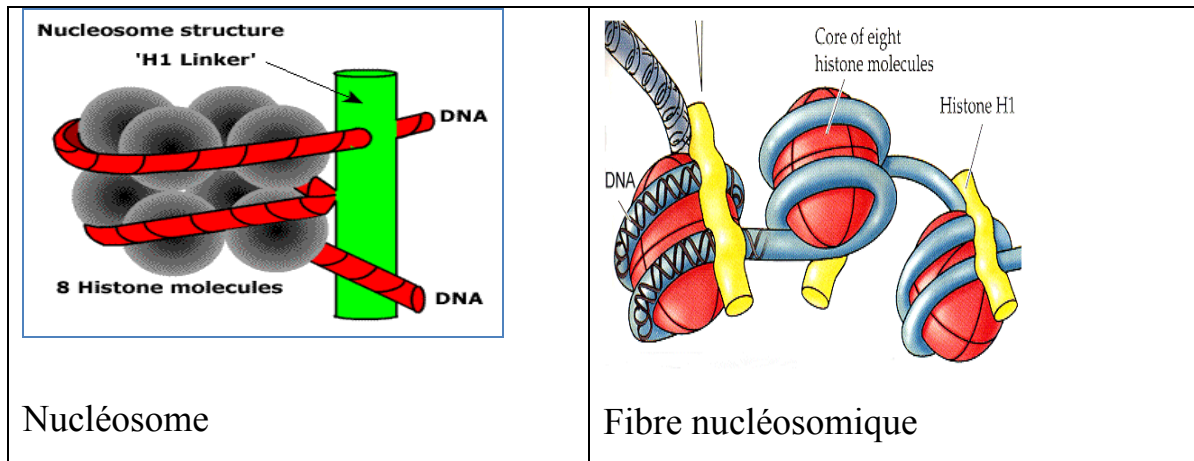
L'hétérochromatine est localisée principalement en périphérie du noyau et du nucléole tandis que l'euchromatine est répartie à l'intérieur du nucléoplasme



Micrographie électronique représentant un noyau cellulaire



L'association ADN et protéines histones se fait selon un modèle bien défini : le **nucléosome** qui constitue le premier niveau de compaction de l'ADN dans le noyau. Cette structure est ensuite régulièrement répétée pour former le **nucléofilament** (ou fibre **nucléosomique**) qui peut, lui-même, adopter des niveaux d'organisation plus compacts



C'est le degré plus au moins accentué de la spiralisation et de la compaction de la fibre nucléosomique qui engendre les deux aspects de la chromatine : l'hétérochromatine et l'euchromatine liés à des états fonctionnels différents de l'ADN.

La restructuration de la fibre chromatinienne est très précoce et très rapide. L'ADN s'associe aux octamères d'histones presque immédiatement après la synthèse (moins de deux minutes).

3. Lamina

C'est un réseau protéique dont l'épaisseur varie selon le type cellulaire (30 à 100nm) et qui relie la membrane interne du noyau à l'ADN chromatinien

C- Activités physiologiques du noyau

1-Réplication de l'ADN;

2-Synthèse des ARNm, des ARNr, des ARNt à partir d'unités de transcription sises dans la chromatine et le nucléole;

3-Lieu de maturation post-transcriptionnelle des ARN

II. Acides nucléiques (A.N)

A. Structure des acides nucléiques

Les acides nucléiques sont les plus grandes macromolécules naturelles. Ce sont des polymères de nucléotides. Il existe deux types d'acides nucléiques:

- l'acide désoxyribonucléique (ADN)
- l'acide ribonucléique (ARN).

1. Nucléotide = unité de base des A.N.

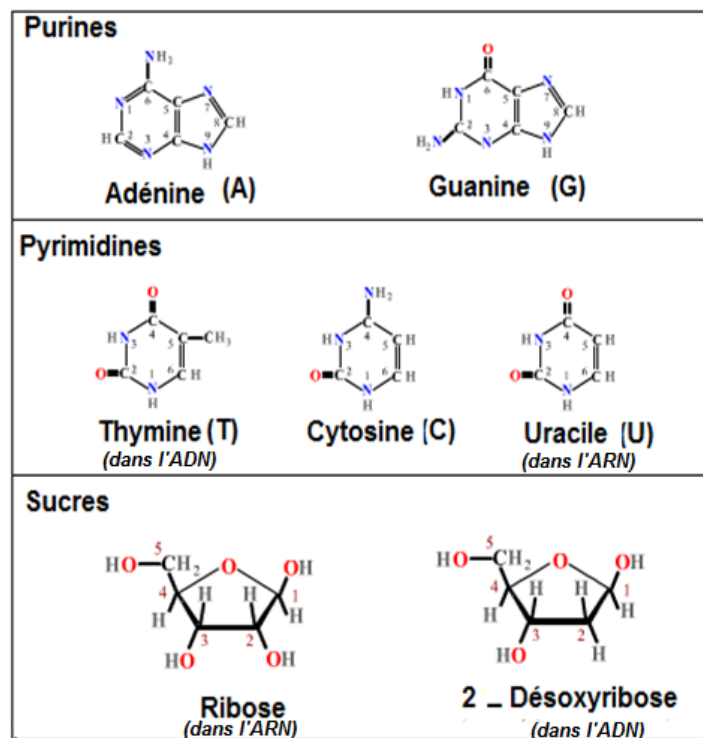
Il est formé d'une base azotée (purine ou pyrimidine), d'un glucide en cinq carbones ou pentose (ribose ou désoxyribose) et de l'acide phosphorique.

Lorsque ces sucres sont dans les nucléotides, la numérotation des atomes de carbone est affectée d'un prime : 1', 2',...

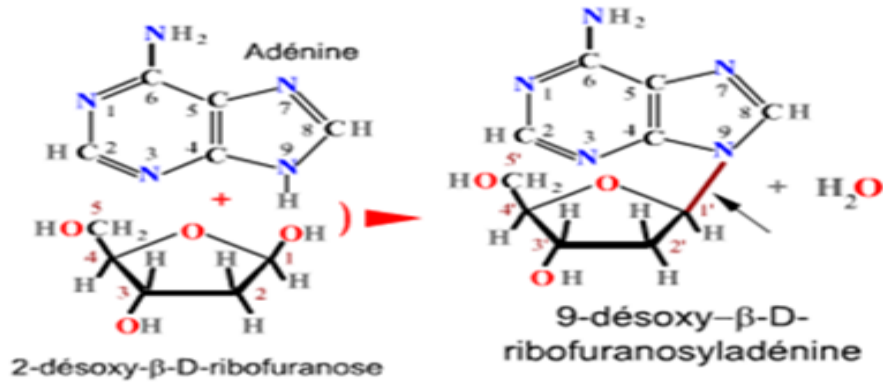
Un nucléoside est formé par une *liaison N-osidique* qui met en jeu le carbone C1 du ribose ou du désoxyribose et l'azote 1 de la pyrimidine ou l'azote 9 de la purine

Un nucléotide contient **en plus** au moins un groupe phosphate. C'est un *ester phosphate du nucléoside*

Composantes des nucléotides : bases azotées et pentoses.

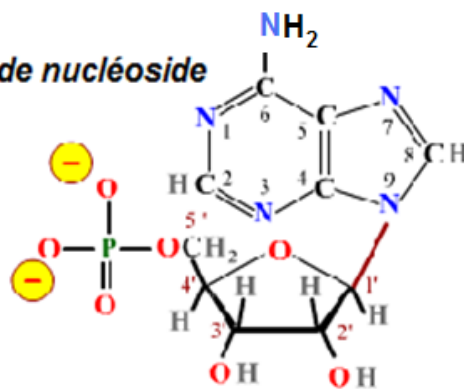


Formation des nucléosides



liaison N-osidique

**Nucléotide =
ester phosphate de nucléoside**

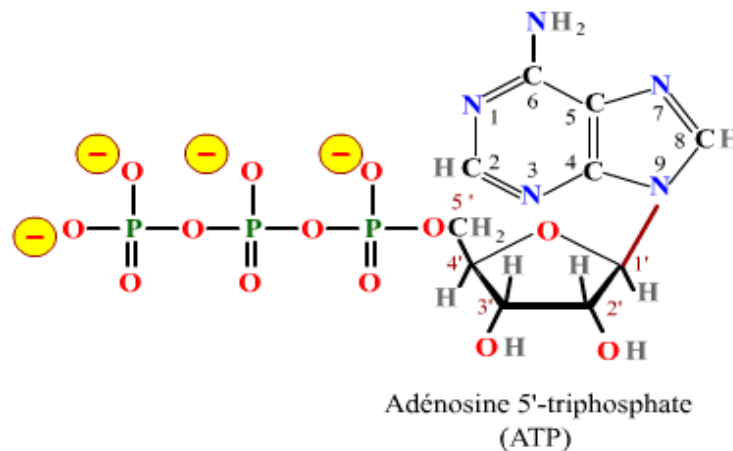


L'acide phosphorique estérifie l'alcool primaire porté par le carbone 5'

La réaction s'accompagne de l'élimination d'une molécule d'eau.

Base	Nucléoside	Nucléotide	Polynucléotide
Adénine	Adénosine	Adénosine monophosphate	(A)
Guanine	Guanosine	Guanosine monophosphate	(G)
Cytosine	Cytidine	Cytidine monophosphate	(C)
Uracile	Uridine	Uridine monophosphate	(U)
Thymine	Thymidine	Thymidine monophosphate	(T)

Les **NTP sont des transporteurs d'énergie**. L'hydrolyse de la liaison anhydride terminale (par l'intermédiaire d'une ATPase) est la principale source d'énergie chimique cellulaire.



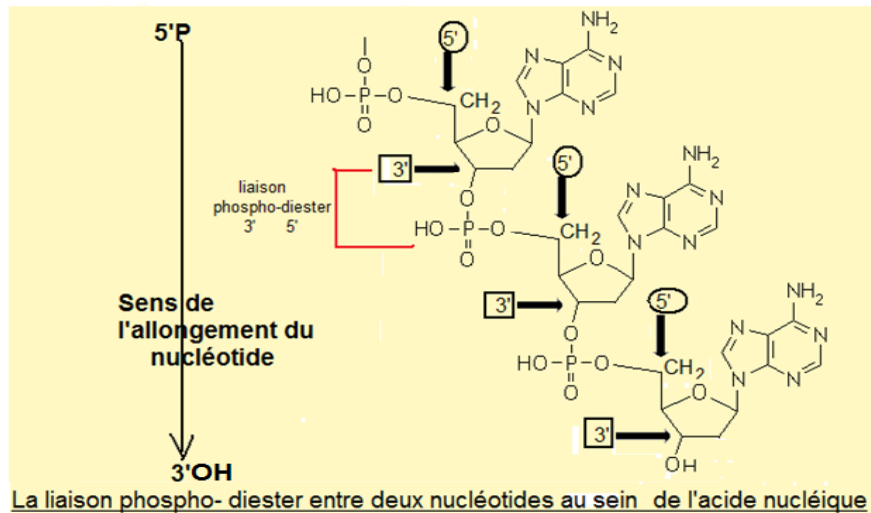
Les nucléotides constitutifs de l'ADN et de l'ARN ne diffèrent que par la nature du sucre (comportant ou non un groupement hydroxyle OH) et par la nature d'une base (T pour l'ADN et U pour l'ARN).

	<i>ADN</i>		<i>ARN</i>
<i>Sucre</i>	<i>Désoxyribose</i>		<i>Ribose</i>
<i>Base</i>	<i>Purique</i>	↗ <i>adénine</i>	-----
		↘ <i>guanine</i>	-----
	<i>Pyrimidique</i>	↗ <i>cytosine</i>	-----
		↘ <i>thymine</i>	<i>uracyle</i>
<i>Groupe phosphate</i>	<i>1</i>		<i>1</i>

2. Structure primaire des Acides nucléiques : Le polynucléotide

Les A.N sont des polymères linéaires de nucléotides monophosphates unis entre eux par des liaisons covalentes = **liaisons diester-phosphoriques**. Le groupement phosphate relie le carbone 3' du nucléotide en amont avec le carbone 5' du nucléotide en aval.

Le brin d'acide nucléique est orienté de l'extrémité 5' du pentose constituant du premier nucléotide à l'extrémité 3' du carbone porté par le pentose du dernier nucléotide de la séquence.



Le squelette du **polynucléotide** est **orienté** : les nucléotides situés aux deux extrémités de la molécule présentent:

- l'un une fonction 5'phosphate(5'P) libre;
- l'autre une fonction 3'hydroxyle (3'OH) libre.

L'enchainement des nucléotides lors de la synthèse des A.N procède toujours dans le sens 5' vers 3' et les nucléotides sont désignés par l'initiale de leur base (voir tableau)

Exemple : 5'P **T A C C G T T C A** 3'OH

Plusieurs millions de monomères ———> ADN

Quelques dizaines de centaine ———> ARN

3. Caractéristiques de l'ADN

Le rapport (A+T)/(C+G) varie beaucoup : il est caractéristique de l'espèce. Ce coefficient est appelé coefficient de Chargaff.

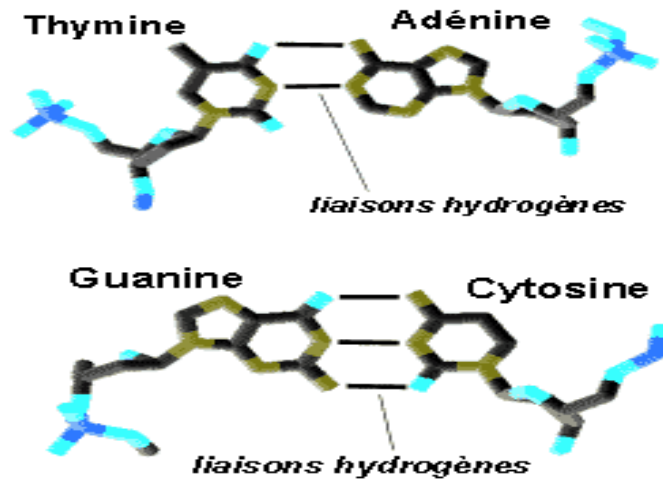
- Dans toute molécule d'ADN, les rapports suivants sont respectés :

$\frac{A+G}{T+C} = 1$	$\frac{A}{T} = \frac{G}{C} = 1$
-----------------------	---------------------------------

Les règles de Chargaff.

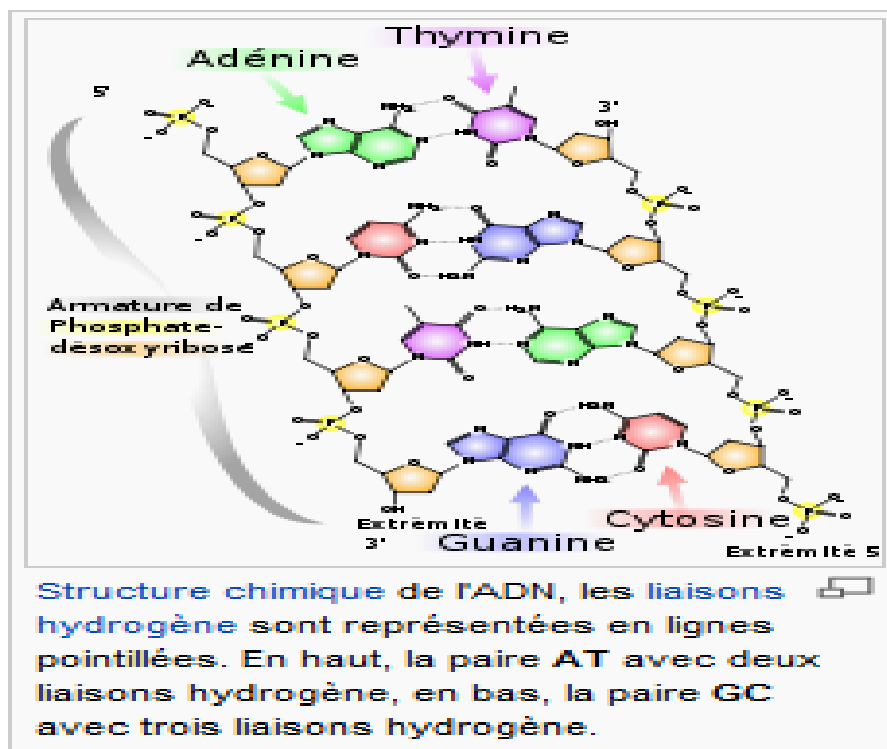
Ce qui illustre la loi de complémentarité des bases

- A et T sont complémentaires et reliées par deux liaisons H
- C et G sont complémentaires et reliées par trois liaisons H



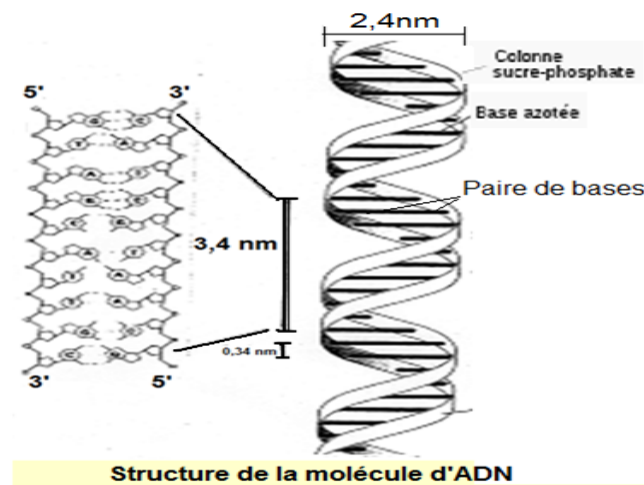
- L'ADN est donc doté d'une structure secondaire (modèle de Watson et Crick). C'est une molécule bicaténaire constitué de deux chaînes polynucléotidiques unis par des liaisons Hydrogène (liaisons H) qui s'établissent entre une base purique et une base pyrimidique.

- D'autres part, les liaisons Hydrogène établis entre les bases ne seraient possibles que si les deux chaînes polynucléotidiques de l'ADN sont anti-parallèles schématisés ainsi



- La structure tertiaire ou spatiale de l'ADN en solution (compte tenu des contraintes exercées par les interactions entre les deux chaînes) est une double hélice.

La configuration la plus fréquente est la double hélice à rotation droite avec un diamètre de 2,4 nm. Le pas de l'hélice est de 3,4 nm (10,5 paires de bases pour un tour complet de spire).



Remarques

- Chez les **procaryotes**, l'ADN est en général présent sous la forme d'un seul chromosome circulaire super-enroulé
- Dans les **mitochondries** et les **chloroplastes**, l'ADN peut prendre de nombreuses formes différentes, circulaires, linéaires ou encore ramifiés.
- La séparation des deux chaînes de l'ADN peut être provoquée expérimentalement (60 à 90°C) par rupture des liaisons hydrogène. L'ADN simple brin est dit dénaturer (monocaténaire). Cette dénaturation est réversible.
- Quand la double hélice est circulaire (bactérie), on agit d'abord en provoquant un clivage de la liaison diester phosphorique par la désoxyribonucléase.

4. Caractéristiques de l'ARN

- La longueur et le poids moléculaire \ll ADN
- Durée de vie courte
- Grande hétérogénéité structurale et fonctionnelle.
- Molécules monocaténaires mais capables d'adopter des formes spatiales diverses en fonction du nombre et de la séquence de bases complémentaires qui peuvent s'apparier donnant ainsi une forme déterminée à l'ARN

Les différents types de l'ARN

Les principaux types d'ARN sont les suivants:

ARN r = ribosomique, 80% du total

28 S, 5200 nt

18 S, 1800 nt

5 S, 120 nt

ARNt = de transfert, 15% du total

80 nt, 60 espèces différentes

ARNm = messenger, environ. 3% du total

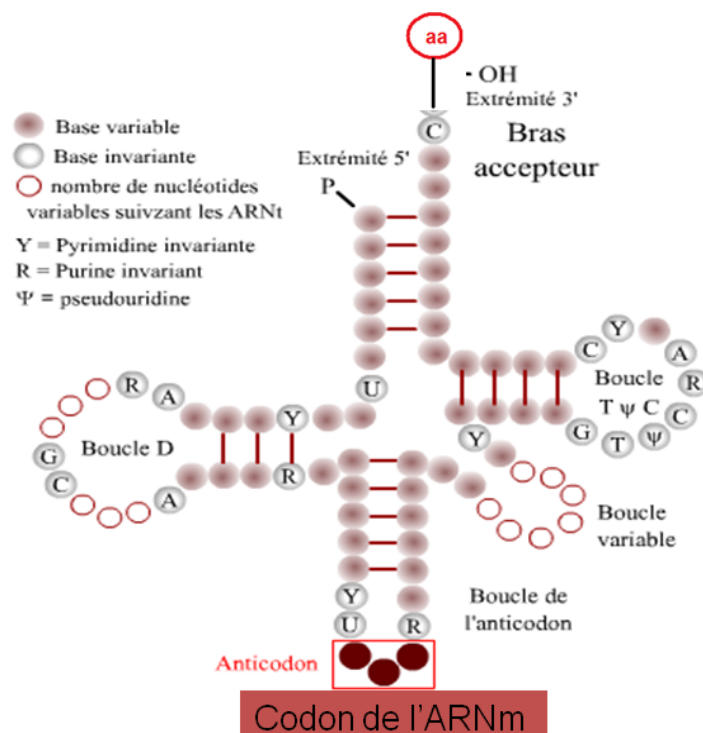
150 à 5000 nt

hnRNA = précurseurs des messagers, trouvés dans le noyau

snRNA = RNA structuraux du noyau, impliqués dans la maturation du mRNA

scRNA = RNA structuraux du cytoplasme

Exemple : L'ARN de transfert



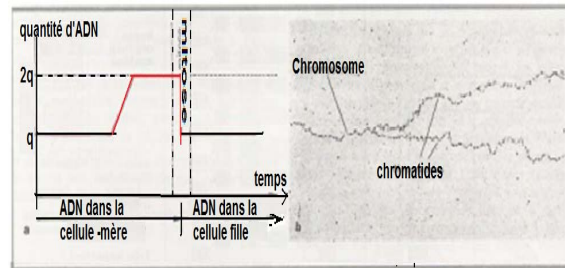
-Un fort pourcentage de bases modifiées

Chaque ARNt contient quatre parties principales : trois bras terminés par des boucles et un bras terminé par les extrémités 3' et 5' de la molécule.

La structure tertiaire est fortement repliée du fait de liaisons hydrogène entre les bases distantes. Cependant, l'extrémité 3' et la boucle anticodon restent dégagés et donc accessibles.

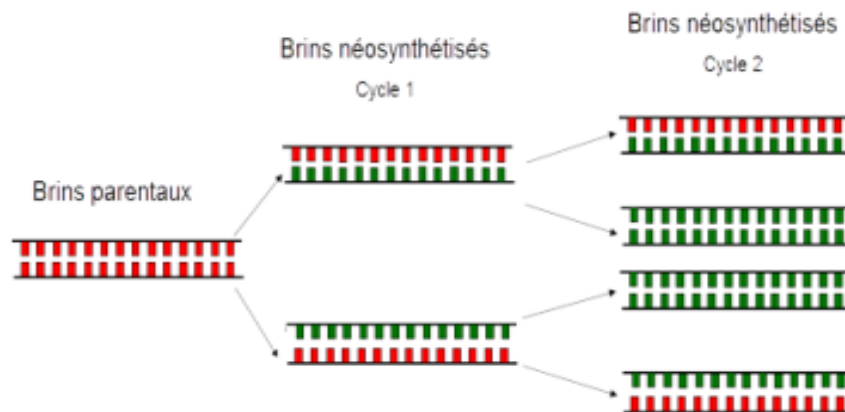
B. Réplication de l'ADN

Avant toute division cellulaire, la quantité d'ADN est multipliée par deux. Les mécanismes de réplication de l'ADN conditionnent donc le déroulement de la division cellulaire.



1. Mode « semi- conservatif » de la réplication (hypothèse retenue)

Synthèse de deux nouvelles chaînes, chaque brin de la molécule parentale servant de matrice pour la synthèse d'un nouveau brin complémentaire (confirmé par les expériences de Meselson et Stall)



2- Agents de la polymérisation de l'ADN

Il s'agit d'enzymes **ADN polymérases (ADN-pol)**.

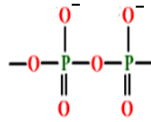
2-1- Chez les procaryotes : trois types d'ADN-pol ont été purifiées (I, II , III)

2-1-1 Propriétés communes aux ADN –pol I et III

Action polymérasique qui consiste à :

- sélectionner les **nucléotides triphosphate** en f (la loi de complémentarité des bases)

- associer les nucléotides les uns aux autres en les transformant en nucléotides monophosphate par élimination d'un groupement pyrophosphate



- assurer l'**élongation** de la chaîne polynucléotidique dans le sens **5'P \longrightarrow 3' OH**.
(Mg²⁺).

Pour toute activité polymérasique, les ADN pol exigent une amorce faite par une enzyme = **primase**

Action exonucléasique

- une activité exonucléasique **3' \longrightarrow 5'**

Fonction d'édition qui permet d'exciser une base erronée au cours de la réplication

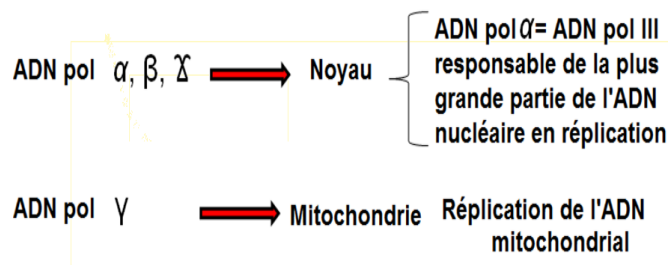
2-1-2 Propriété propre à l'ADN-pol I

activité exonucléasique **5' \longrightarrow 3'**

L'activité exonucléasique **5'vers3'**: permet d'éliminer les amorces ARN en fin de réplication afin de les remplacer par de l'ADN.

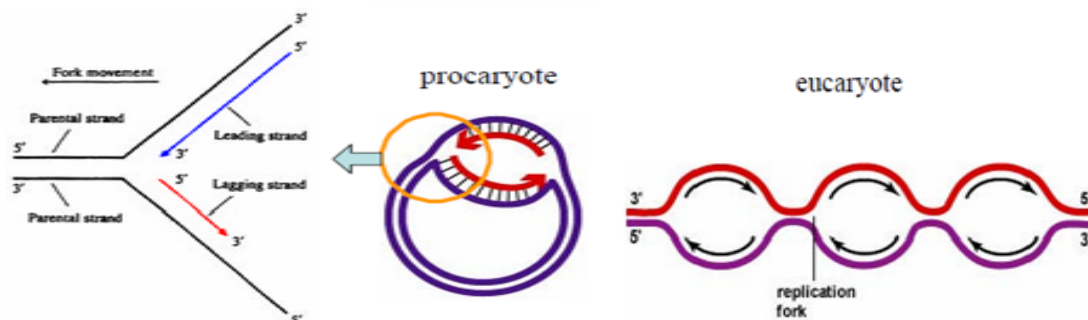
N.B-L'ADN pol II : rôle inconnu

2-2- Chez les eucaryotes : quatre types d'ADN-pol ont été identifiées



3- Initiation de la réplication

Chez les **procaryotes** : bactéries et les virus qui contiennent une molécule d'ADN bicaténaire circulaire, la réplication débute au niveau **d'un seul point d'initiation**. Chez les **eucaryotes**, il existe de **nombreux points d'initiation de la réplication**



4. Déroulement de la réplication

a-**Désenroulement de l'hélice** grâce à un enzyme **la topoisomérase** de type I qui couperait un brin de la molécule parentale au site d'initiation et aurait ainsi la capacité d'éliminer les super-enroulements de la molécule d'ADN.

b-**Séparation des deux brins** par rupture des liaisons hydrogène entre les bases complémentaires par **une ADN hélicase**

c- **Redressement des deux brins** de la chaîne d'ADN matrice par des **protéines de déstabilisation de l'hélice** pour faciliter le processus de polymérisation

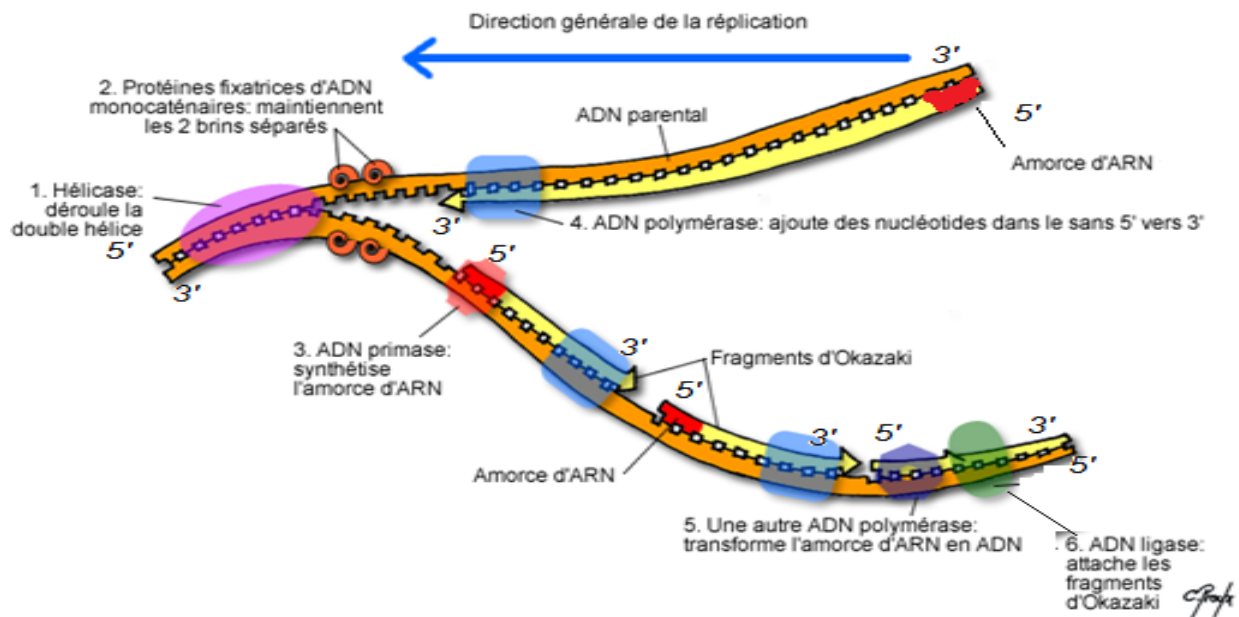
d- La synthèse de l'ADN débute en des sites définis du brin matrice par la synthèse d'un petit **ARN amorce ou ARN promoteur** (4 à 12 nucléotides) synthétisé par **une enzyme = ADN primase** en association avec **un complexe polypeptidique = primosome**.

e- **L'ADN polymérase III** prend la relève et permet la synthèse de l'ADN complémentaire à la matrice parentale. Cette synthèse se fait sur le **brin conducteur** d'une **manière continue** dans le sens **5' → 3'**, (sens coïncidant avec celui de la progression de la fourche de réplication).

Le brin retardataire est, lui, polymérisé de manière discontinue sous forme de courts fragments appelés **fragments d'OKAZAKI**, synthétisés dans le sens **5' → 3'**, (direction qui dans ce cas est inverse à celle de la progression de la fourche de réplication).

f- La synthèse discontinue aboutit à une césure (lacune) entre l'extrémité 3' d'un fragment d'Okazaki et l'extrémité 5' de l'amorce d'ARN du fragment d'Okazaki suivant. **L'ADN polymérase I** vient se fixer sur les lacunes. Elle allonge le fragment d'Okazaki par son activité de polymérase 5' → 3' et retire l'amorce d'ARN du fragment d'Okazaki suivant par son activité d'exonucléase 5' → 3'.

g- Enfin, une **enzyme de liaison = l'ADN ligase** relie les fragments d'OKAZAKI entre eux.



Réplication de l'ADN

Résumé

Toutes les enzymes intervenant dans la réplication de l'ADN :

1- La topoisomérase

2- L'ADN hélicase

3- Les protéines déstabilisatrices de l'hélice ou stabilisatrices du brin d'ADN

4- L'ADN primase

5- L'ADN polymérase III
- L'ADN polymérase II
- L'ADN polymérase I

Procaryotes

ADN pol α (noyau)
ADN pol β (noyau)
ADN pol γ (noyau)
ADN pol δ (mitochondries)

Eucaryotes

6- ADN ligase

C- Synthèse des ARN= la transcription

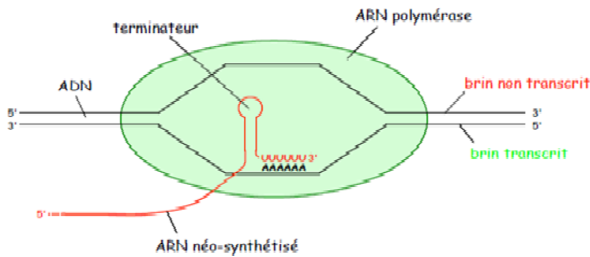
Les ARN sont synthétisés à partir de segments bien définis de l'ADN. Ce sont des unités de transcription ou des gènes. Chaque unité de transcription présente un site promoteur et un site de terminaison que les enzymes de transcription appelées ARN polymérases (ARN pol) reconnaissent.

Comme l'ADN est bicaténaire, selon le gène qui s'exprime pour la synthèse d'un ARN, l'un ou l'autre brin de l'ADN constituera le brin codant.

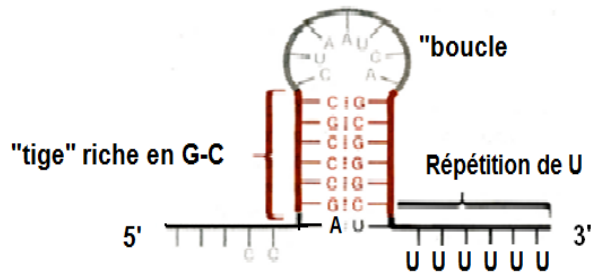
La transcription chez les eucaryotes se fait sur l'ADN nucléosomique de l'euchromatine. L'hétérochromatine présente un ADN « muet » non transcrit.

Le terminateur déstabilise les liaisons faibles entre les sous-unités de l'ARN polymérase et entraîne leur séparation et l'arrêt de la transcription.

Mécanisme de terminaison de la transcription



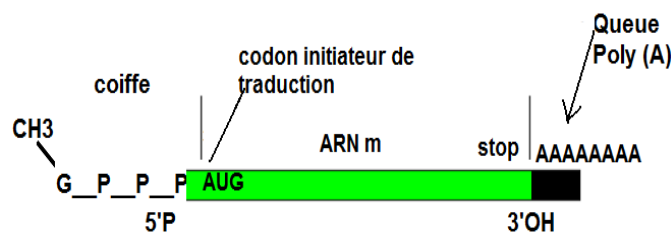
Structure du terminateur, séquence d'ARN



4. Différences entre les ARN m des procaryotes et ceux des Eucaryotes.

4.1. Addition de ribonucléotides aux deux extrémités de l'ARNm des eucaryotes

Après la transcription de l'ARN m des Eucaryotes, il ya addition d'une guanosine méthylée (cap ou chapeau) sur l'extrémité 5' et d'une poly A (queue) sur l'extrémité 3'.



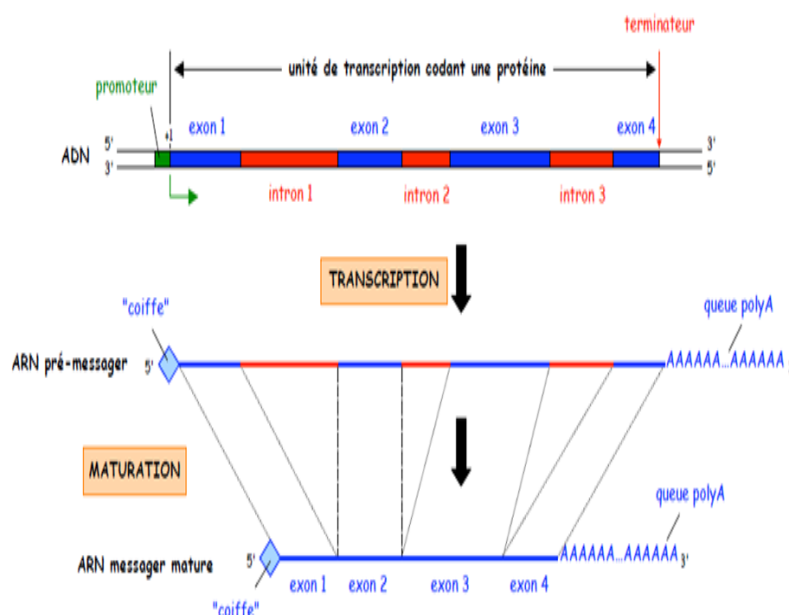
Remarques:

Les ARN m transcrits dans la mitochondrie n'ont pas de coiffe

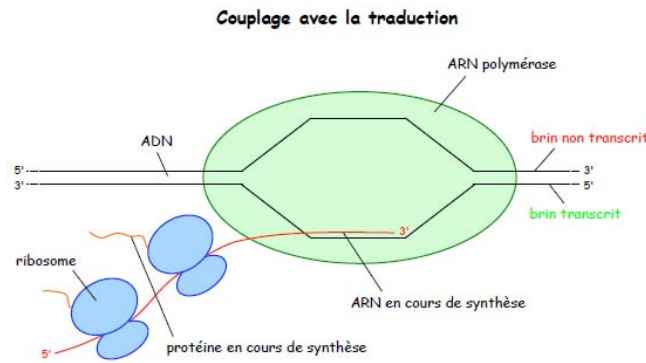
Les ARN m traduits en histones (protéines nucléaires) n'ont pas de poly A.

4. 2. Maturation post transcriptionnelle des ARN m des eucaryotes

L'ARNm subit dans le noyau une maturation après la transcription: Il s'agit d'une coupure des introns ou excision et d'un collage des exons ou épissage (épissure). Ce sont les exons qui seront traduits en protéine au niveau du cytoplasme.



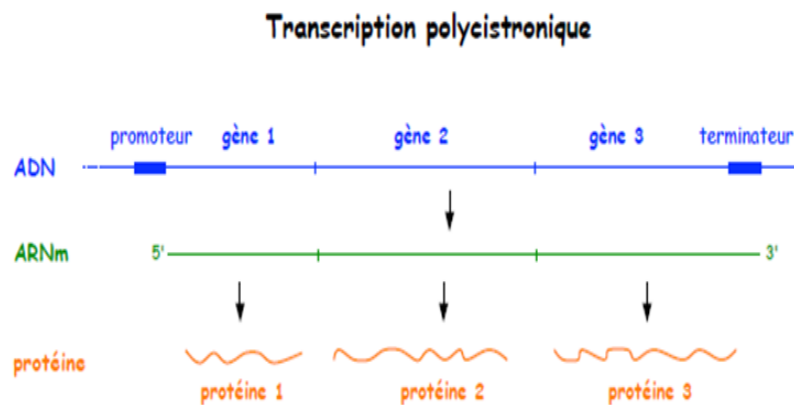
4.3. Couplage de la transcription avec la traduction chez les procaryotes.



L'ARNm chez les procaryotes st directement traduit en protéine. Il ne subit pas de maturation post - transcriptionnelle

[N.B : des images de traduction en protéines sont vues avant même la fin de la transcription de l'ARNm]

4.4. Transcription polycistronique chez les procaryotes



ex : opéron lactose d'*E. coli* (gènes Z, Y et A)

Plusieurs unités de transcription sont transcrites successivement par le même ARNpol qui va parcourir l'ADN matrice après la reconnaissance du promoteur. On obtient ainsi un seul ARNm; et ce n'est qu'au moment de la traduction, que l'on observe la séparation des protéines

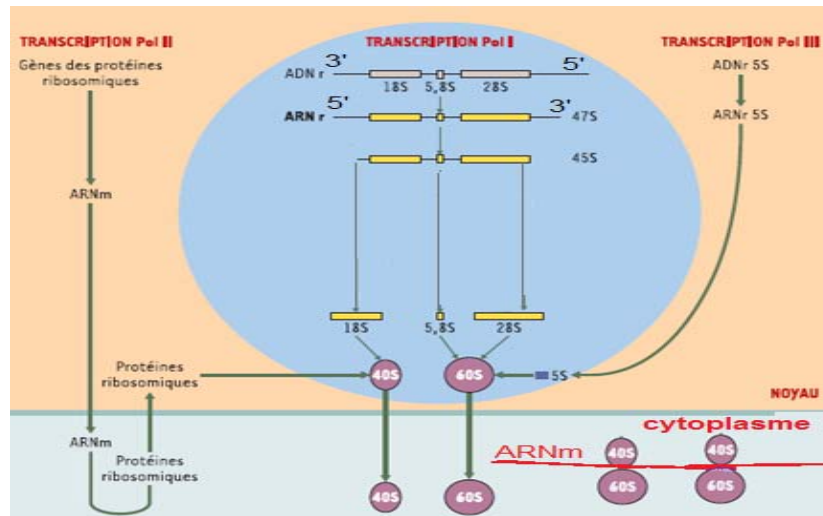
5) Synthèse des ARN ribosomaux

Les ARNr représentent 80% de l'ensemble des ARN dans la cellule eucaryote qui synthétise 2000 à 3000 ribosomes/minute.

Le nucléole est le site de transcription des ARNr(ARN poly I), , à l'exception de l'ARN5S transcrit en dehors du nucléole (par l'ARN poly III)

L'unité de transcription de L'ARNr ou ADNr est aussi appelé l'organisateur nucléolaire.

Synthèse des ARN ribosomaux chez les eucaryotes



N.B. Les ARNr sont associés à des protéines pour former des ribosomes qui sont de véritables machines à synthétiser les protéines ;

Malgré des différences dans leur constitution physico-chimique, les ribosomes des procaryotes et des eucaryotes fonctionnent de la même manière.

6. Synthèse des ARN de transfert

Il en existe une 60 aine dans la cellule eucaryote, une 40 aine dans la cellule procaryote, toutes de structures différentes.

L'ARNt en forme trèfl (alanine)

L'ARN t en forme de L (Phénylalanine)

6.1. Synthèse et maturation des ARNt

Chez les eucaryotes, la transcription des ARNt se fait dans la chromatine dispersée sous l'égide de l'ARNpol III

La maturation post-transcriptionnelle consiste en :

- _ Excision des extrémités 3'OH et 5'P
- _ Epissage des exons après élimination des introns
- _ Modification de certains nucléotides

[méthylation de certaines bases, modifications d'autres bases en bases inhabituelles comme la pseudo-uridine ou l'inosine analogue à la guanosine]

6.2. Rôle des ARNt

Les ARNt assurent une double reconnaissance

- Celle de l'A.A (extrémité 3' de l'ARNt)
- Celle du site spécifique de l'ARNm par leur anticodon (qui est en position intermédiaire)

D.Traduction de l'information portée par l'ARNm-Biosynthèse des protéines

1. Le code génétique :

L'ARNm copie les messages codés dans l'ADN et dirige la synthèse des protéines grâce à un simple code chimique de 3 nucléotides (bases) = un codon.

4 nucléotides différents doivent définir l'expression \longrightarrow 20 a.a

$4 \times 4 \times 4 = 64$ combinaisons possibles (triplets) \longrightarrow 20 a.a

1.1. Signification des codons de l'ARNm (voir tableau)

Ce sont des expériences de synthèse protéiques « in vitro » qui ont permis de déterminer l'expression des différents codons possibles grâce à la traduction de polynucléotides synthétiques de composition connue.

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

Le code génétique présente les codons et les acides aminés correspondants

Le code génétique présente les codons et les acides aminés correspondants

1. 2. Propriétés du code génétique

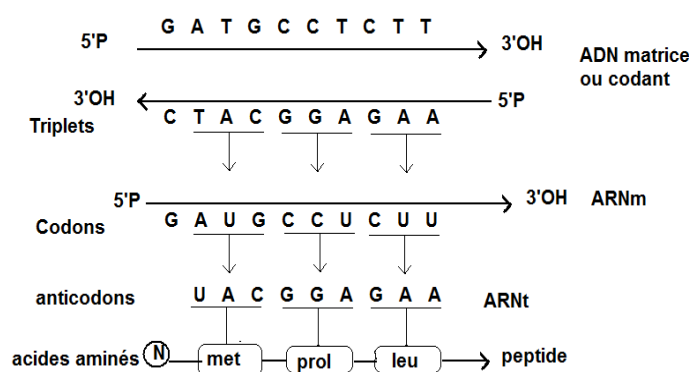
- Le code génétique est un code à triplets
- Le code génétique est un code **dégénéré** = certains a.a correspondent à plusieurs codons dits codons synonymes.
- Le code génétique est **universel** (≠t de celui des mitochondries)

- L'ARNm de globine humaine est traduit dans un extrait acellulaire de germe de blé.
- Le code génétique est **ponctué** : il présente des codons non sens (codons stop). Ainsi UAA, UAG, UGA = des codons de ponctuation alors que les 61 autres codons sont traduits en a-a-

2. Biosynthèse protéique

Les facteurs principaux impliqués dans la phase cytoplasmique de la biosynthèse des protéines sont :

- Le modèle, détenteur de l'information = ARNm
- Le système de lecture = les ribosomes
- Les adaptateurs = les ARNt assurant la correspondance entre les codons de l'ARNm et les a-a
- Le stock cellulaire d'a.a
- Un fournisseur d'énergie (ATP,GTP)
- Des systèmes enzymatiques et des facteurs protéiques s'associant temporairement aux ribosomes et conditionnant leur fonctionnement.

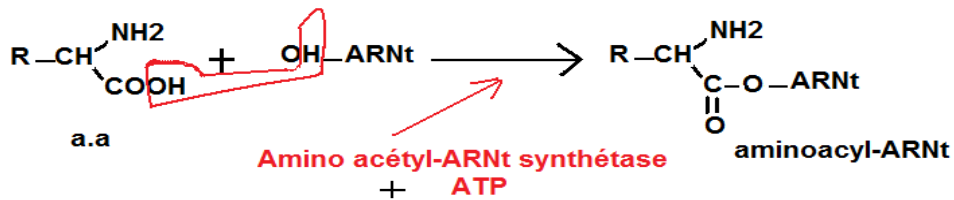


2.1. Activation des Acides Aminés :

Dans le cytoplasme, les différents a.a sont amenés à un état énergétique élevé grâce à l'ATP en présence d'une enzyme spécifique à chaque a.a et à chaque ARNt. Cet enzyme est l'**amino acyl ARNt synthétase** . On dira que les a.a sont activés quand ils sont sous forme d'un **aminoacyl-ARNt**.

Il existe au moins une enzyme pour chacun des 20 acides aminés.

Ces enzymes ont une double spécificité : elles reconnaissent spécifiquement un acide aminé et l' ARNt non chargé correspondant.



2.2. Les étapes de la synthèse d'un polypeptide : Initiation, élongation, terminaison

- Initiation.

L'initiation de la traduction débute par l'attachement à l'extrémité 5' de l'ARNm de :

a) La petite sous unité du ribosome (40S eucaryote, 30S procaryote)

+facteurs protéiques d'initiation IF (5 ou 6 eucaryotes, 3 procaryotes) + GTP

b) Fixation du 1^{er} aminoacyl-ARnt à l'ensemble ARNm, petite sous-unité ribosomale grâce à l'anticodon complémentaire du codon d'initiation AUG de l'ARNm.

Le 1^{er} a.a transporté par l'ARnt est la méthionine chez les eucaryotes et la méthionine formylée chez les procaryotes

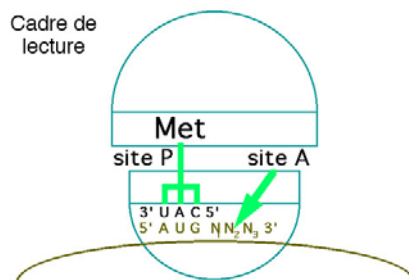
c) Fixation de la grande sous unité ribosomale au complexe précédent.

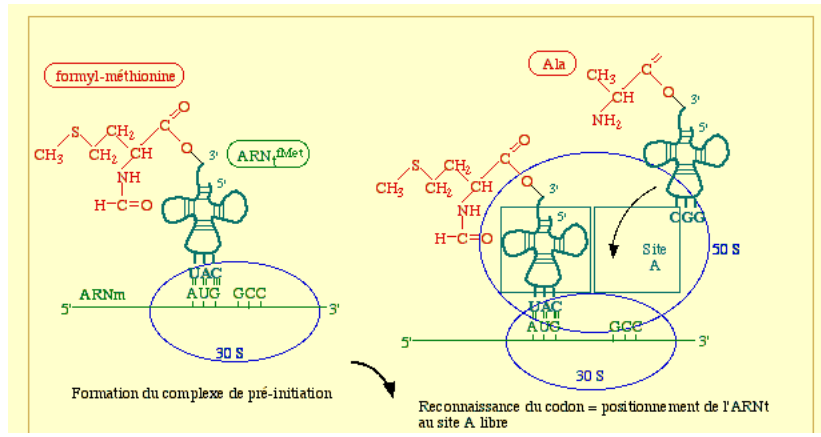
+GTP+libération de l'IF.

N.B le ribosome possède deux sites : -Un site A aminoacyl site de reconnaissance ;

-Un site P peptidyl au niveau duquel sera transloqué la chaîne polypeptidique en formation

N.B.C'est au niveau du site P que se fixe le 1^{er} l'ARnt portant l'aa méthionine





-Elongation.

Des facteurs d'élongation EF sont nécessaires à cette étape.

Le ribosome progresse pas à pas le long de l'ARNm de sorte à amener le 1^{er} aminoacyl ARNt sur le site P du ribosome puis :

- 1) Fixation du second AA.ARNt sur le site A du ribosome +GTP+EF
- 2) Formation de la liaison peptidique entre le groupement carboxyle de la méthionine que l'ARNt libère et le groupement amine du second aa grâce à une péptidyl transférase en présence d'ATP
- 3) transfert du dipeptide _ARNt du site A au site P
- 4) Le site A devient libre de nouveau et prêt à accueillir un 3^{ème} aminoacyl ARNt

-Terminaison

La terminaison de la synthèse et le relargage du polypeptide ont lieu au niveau d'un ou plusieurs codons stop en présence de facteurs protéiques de dissociation : TF

Après libération du polypeptide, les ribosomes dissociés sont capables de s'engager dans de nouveaux cycles de synthèse

La lecture d'un même ARNm se fait par plusieurs ribosomes en même temps avec un petit espacement de 15 à 20 nm

Schéma

Le site A du ribosome en face du codon stop accepte le TF à la place d'ARNt. Ce TF hydrolyse les liaisons entre ARNt du site P et le dernier a.a de la chaîne polypeptidique. Ce polypeptide et l'ARNt sont libérés et les 2 sous unités ribosomales se détachent de l'ARNm

3.2. Système Endomembranaire.

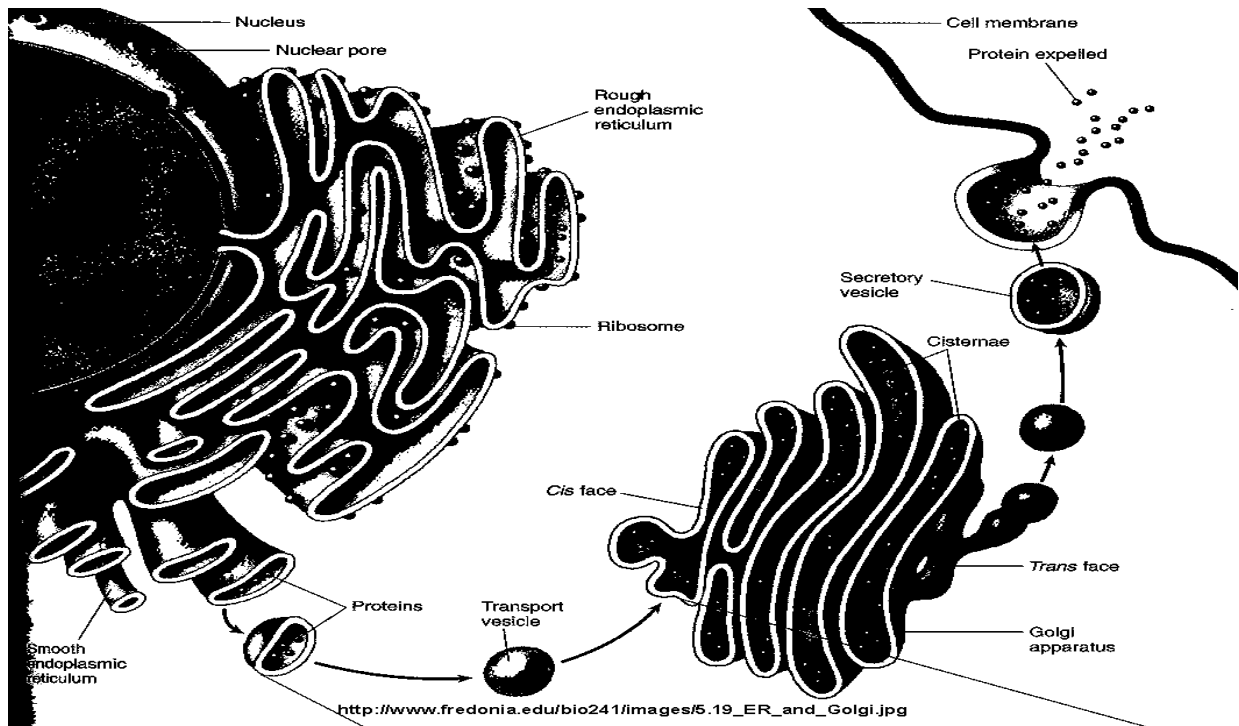
Après avoir vu comment les protéines sont synthétisées sur les ribosomes. Ces protéines doivent rejoindre des sites très divers de la cellule (et de son environnement). Un système de tri et d'acheminement est donc nécessaire pour assurer que ces nouvelles protéines gagnent bien leur destination

3.2.1. Réticulum endoplasmique

a- Structure

Le réticulum endoplasmique est la partie la plus développée du système endomembranaire. Il a une membrane unique qui entoure la lumière, ou citerne du réticulum endoplasmique. L'ensemble des cavités occupe, dans la plupart des cas, plus de 10% du volume cellulaire. La membrane du réticulum endoplasmique a la structure d'une membrane unitaire avec une épaisseur d'environ 5 à 6 nm. Les cavités du réticulum endoplasmique communiquent souvent entre elles et, par endroit, avec l'espace péri nucléaire et le milieu extracellulaire. Le réticulum endoplasmique se présente sous deux formes :

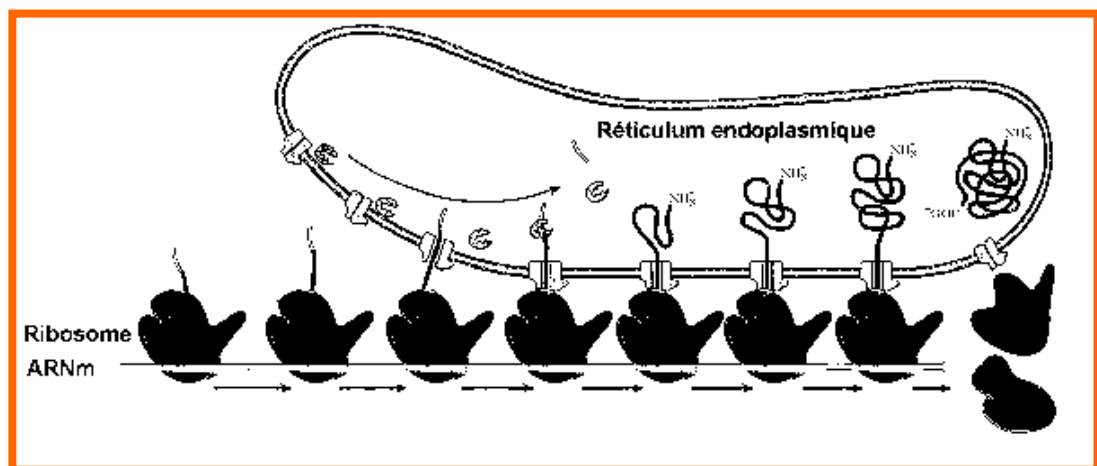
- ✓ Le réticulum endoplasmique *granulaire* ou *rugueux* « RER : Rough Endoplasmic Reticulum », apparaît sous forme de saccules aplatis portant des ribosomes sur la face cytoplasmique de leur membrane, la liaison de ribosomes s'effectuant par leur sous unité 60S. le RER est abondant dans les cellules en prolifération et dans les cellules qui sécrètent des protéines.
- ✓ Le réticulum endoplasmique lisse « REL ou SER : Smooth Endoplasmic Reticulum » peut avoir une structure tubulaire et est dépourvu de ribosomes. Il est abondant dans certaines cellules spécialisées dans le métabolisme des lipides et dans les réactions de détoxification.



Le RE n'est pas une structure figée. En effet, il se développe et se réduit suivant les circonstances (chez un rat bien nourri, les cellules possèdent un abondant RE qui se réduit lorsque le rat jeûne). Il peut aussi s'élargir par endroits pour former des vacuoles ou pour libérer des vésicules à ses bords.

b- Rôle du RE

Synthèse et transport des protéines



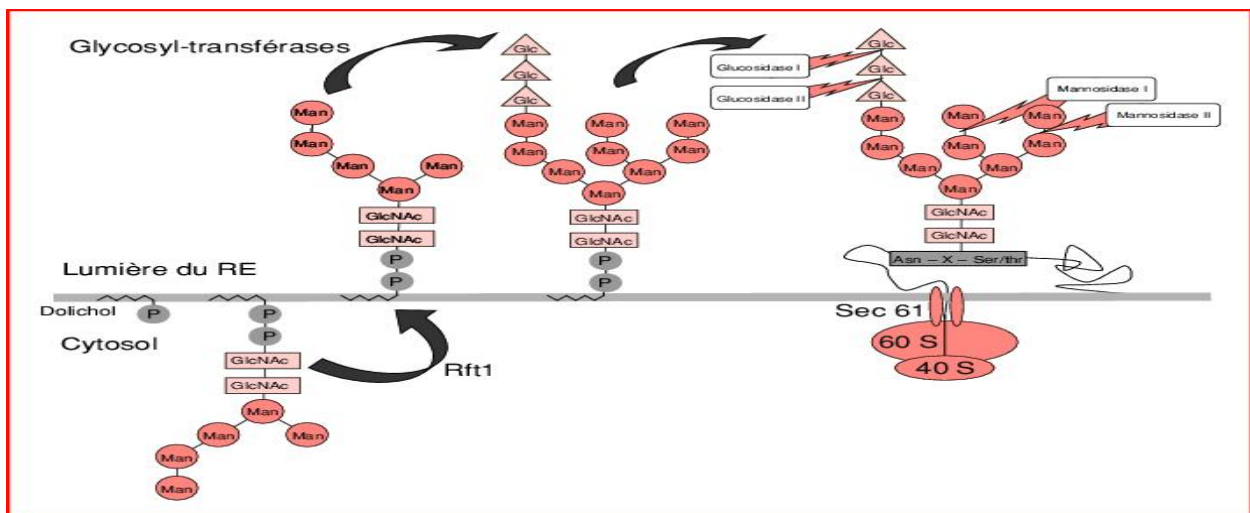
La nature de la protéine détermine sa destination grâce à la présence de peptide signal (étiquette)

Les ribosomes liés à la surface cytosolique de RER assurent la synthèse de chaînes polypeptidiques. Les protéines néosynthétisées peuvent

- ✓ S'enfoncer dans la membrane et y rester, vont constituer les protéines de la membrane plasmique et des membranes du RE, appareil de *Golgie* et des *lysosomes*.
- ✓ Traverser la membrane de RE et passer dans sa cavité. C'est le cas des protéines qui doivent passer dans la lumière de *Golgi* puis dans les vésicules de sécrétion et les lysosomes.

Les protéines néosynthétisées subissent certaines modifications au niveau de la membrane ou des cavités du réticulum endoplasmique à savoir :

- ✓ La glycosilation des protéines qui consiste en l'ajout d'oligosaccharides à la molécule protéique.



Dans un premier temps, l'oligosaccharide est assemblé côté cytoplasmique sur un long lipide du type dolichole-pyrophosphate ancré dans la membrane du RER.

Dans un second temps, il est transféré en bloc vers l'intérieur du RER et se lie à une asparagine de la chaîne polypeptidique au cours d'une réaction catalysée par l'oligosaccharyltransférase.

- ✓ La formation des ponts disulfures (S-S)

Le RER contient des protéines chaperonnes capables d'assurer le repliement des glycoprotéines. Si la glycoprotéine est bien repliée, elle est transportée vers le Golgi.

Synthèse et transport des lipides

Le RE lisse est responsable du métabolisme de divers lipides en particulier les triglycérides, les stéroïdes, les phospholipides et le cholestérol. Il est abondant dans les cellules où la synthèse des lipides est active, telles que les cellules interstitielles du testicule synthétisant la testostérone (hormone stéroïdienne) et les hépatocytes (cellules du foie) qui sécrètent les lipoprotéines. Le REL intervient aussi dans le transport des lipides, en particulier au niveau des entérocytes où les lipides simples alimentaires sont transportés et transformés, grâce aux enzymes membranaires du REL, en micelles lipoprotéiques.

Détoxification

Le REL des cellules du foie, du rein, de l'intestin et des poumons, transforme par les réactions d'oxydation (cytochrome P450) et de conjugaison, certaines substances exogènes (drogues, médicaments, pesticides, carcinogènes...) ou d'origine endogène, en substances moins toxiques qui seront ensuite éliminées par le rein.

Accumulation des ions Ca^{++}

Réticulum Sarcoplasmique dans les cellules musculaires est le meilleur exemple de concentration du Ca^{++} grâce à une pompe Ca^{++} ATP dépendante.

Transmission des signaux électriques

Le RE permet la transmission des excitations (dépolérisation de la membrane) reçues par la membrane plasmique, au niveau des zones de contacts de la membrane plasmique avec la membrane du RE, vers l'intérieur de la cellule.

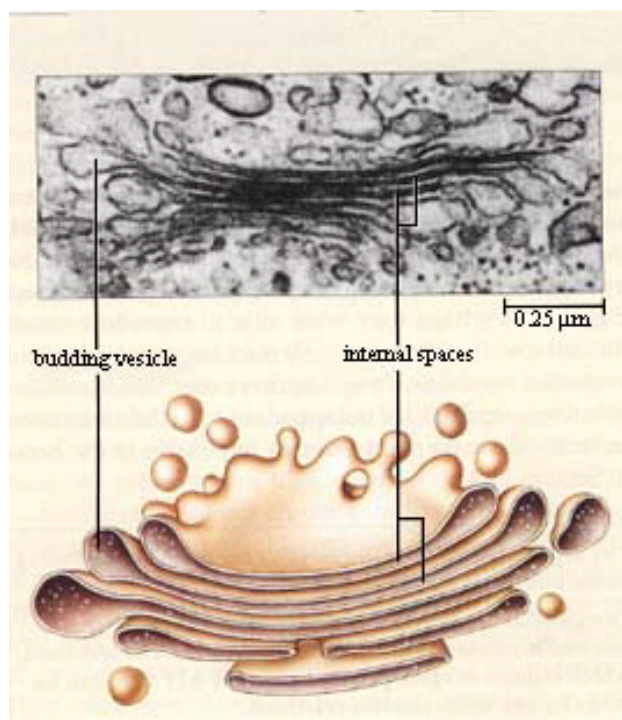
Dans la cellule, il existe un réseau qui établit la communication entre les différents organites cellulaires d'une part et, d'autre part, entre la cellule et son milieu extracellulaire.

L'organite responsable de la communication interne est le réticulum endoplasmique. L'organite responsable d'emballage, d'entreposage et de livraison est l'appareil de Golgi. Ces deux organites constitués de membranes et en relation l'un avec l'autre.

2.3.3- Appareil de Golgi

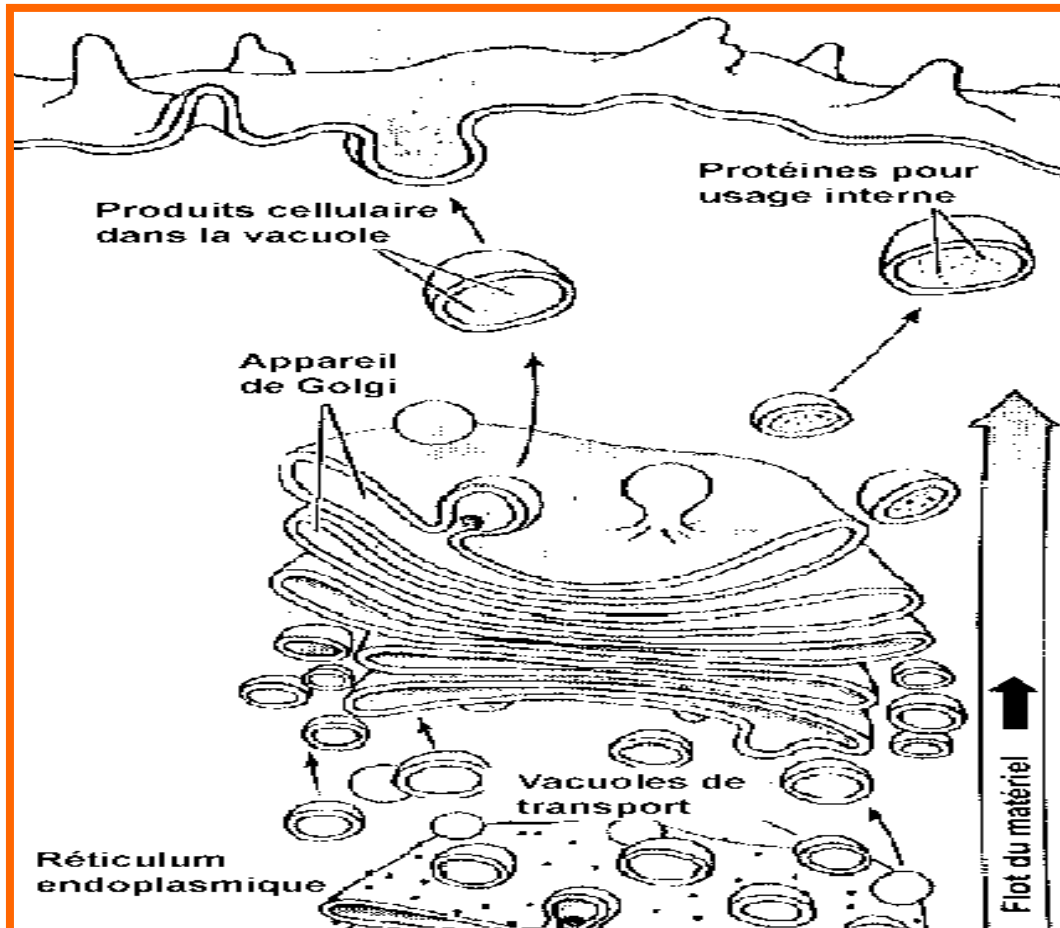
L'appareil de Golgi est un compartiment intra cellulaire constitué de réservoirs aplatis organisés en batteries de cinq à dix unités interconnectés : les dictyosomes. Chaque cellule contient un nombre plus ou moins important de dictyosomes. D'un point de vue fonctionnel, il se situe entre le réticulum et la membrane plasmique, avec lesquels il établit des relations transitoires par l'intermédiaire de vésicules. La polarisation de l'appareil de Golgi s'exprime par le fait que les saccules présentent deux faces distinctes : une face d'entrée ou de formation appelée face *cis* et une face de sortie ou de maturation appelée face *trans*.

Les molécules synthétisées et transportées par le RE entrent dans l'appareil de golgi par la face *cis*, puis subissent des modifications dans les saccules de Golgi, avant de ressortir dans des vésicules par la face *trans* pour diverses destinations (membrane plasmique, lysosomes).



Rôle de l'appareil de Golgi

D'une façon générale, l'appareil de Golgi est impliqué dans la concentration des macromolécules (protéines et glycoprotéines) destinées à être exportées ou incorporées dans la membrane plasmique par exocytose.



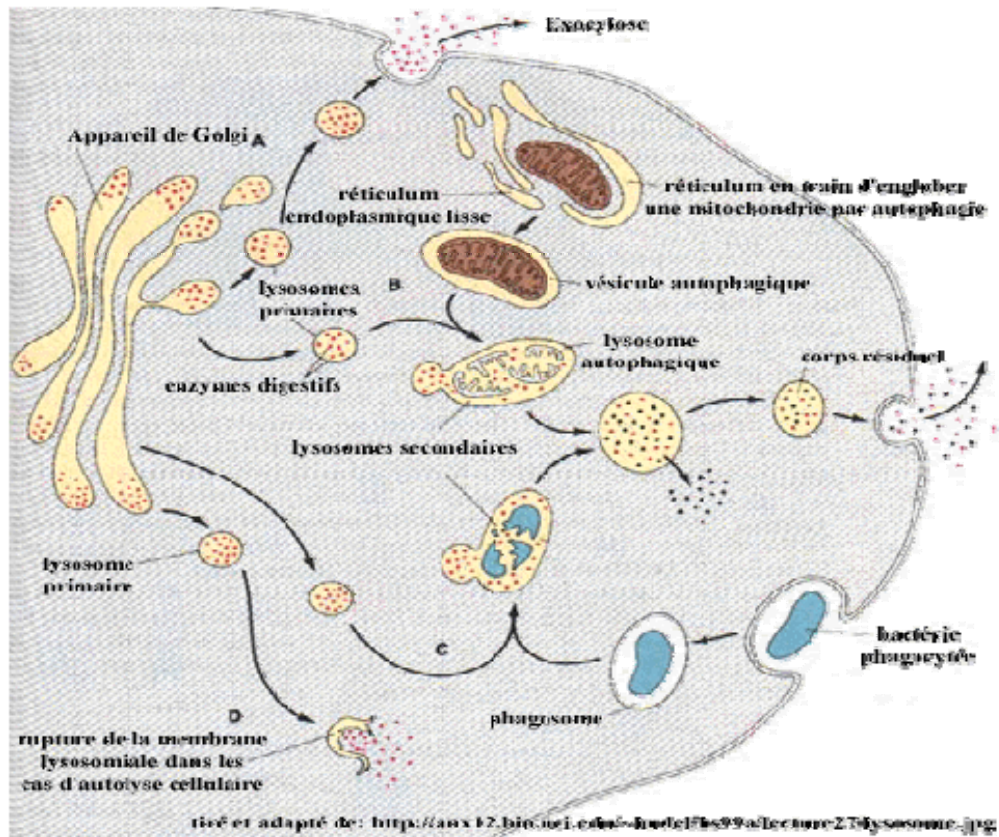
L'appareil de Golgi sert d'organe de traitement, d'entreposage et d'emballage des produits de sécrétion fabriqués au niveau du réticulum endoplasmique rugueux, ceci jusqu'à ce que la cellule reçoive la commande de sécréter. Au moment de la livraison, les vésicules de sécrétion se fusionnent à la membrane cytoplasmique et quittent la cellule par exocytose.

Autre fonction est de trier ces macromolécules afin de former, sur sa face de maturation, des vésicules lysosomales contenant des enzymes lytiques.

Enfin, la troisième grande fonction, reconnue de l'appareil de Golgi est d'achever la maturation des glycoprotéines qu'il reçoit du réticulum.

2.3.4 – Lysosomes

Ce sont des compartiments du système endomembranaire en forme de sacs et à fonction lytique. Ils sont présents dans toutes les cellules eucaryotes. Les lysosomes sont des vésicules sphériques d'environ 0.5µm de diamètre, ils bourgeonnent à partir des vésicules golgiennes riches en hydrolases. Sur le plan morphologique, on distingue deux catégories de lysosomes.



- ✓ Lysosomes primaires : ce sont des lysosomes de stockage enzymatique, ils contiennent des hydrolases acides capables de dégrader la plus part des macromolécules biologiques. Ces hydrolases ont une activité optimale à pH=5, qui est maintenu dans l'organite grâce à une pompe H^+ ATP indépendante.
- ✓ Lysosomes secondaires : ce sont des lysosomes en activité, ils contiennent des hydrolases et leur produits de dégradation.

Sur le plan fonctionnel, l'origine des produits de dégradation permet de distinguer l'hétérophagie et l'autophagie.

- ✓ Hétérophagie : les substrats exogènes pénètrent dans la cellule par un phénomène d'endocytose, il se forme une vésicule appelée *phagosome*. Les membranes du lysosome primaire et du phagosome fusionnent pour donner un lysosome secondaire : *phagolysosome*. Après digestion le phagolysosome se transforme en corps résiduel qui présente l'étape finale de la dégradation du matériel séquestré.
- ✓ Autophagie : les substances endogènes, ou organites à détruire sont enveloppées par des membranes provenant du RE et forment des vésicules appelées autophagosomes. L'autophagolysosome fusionne avec le lysosome primaire et forme un autophagosome où aura lieu la digestion.

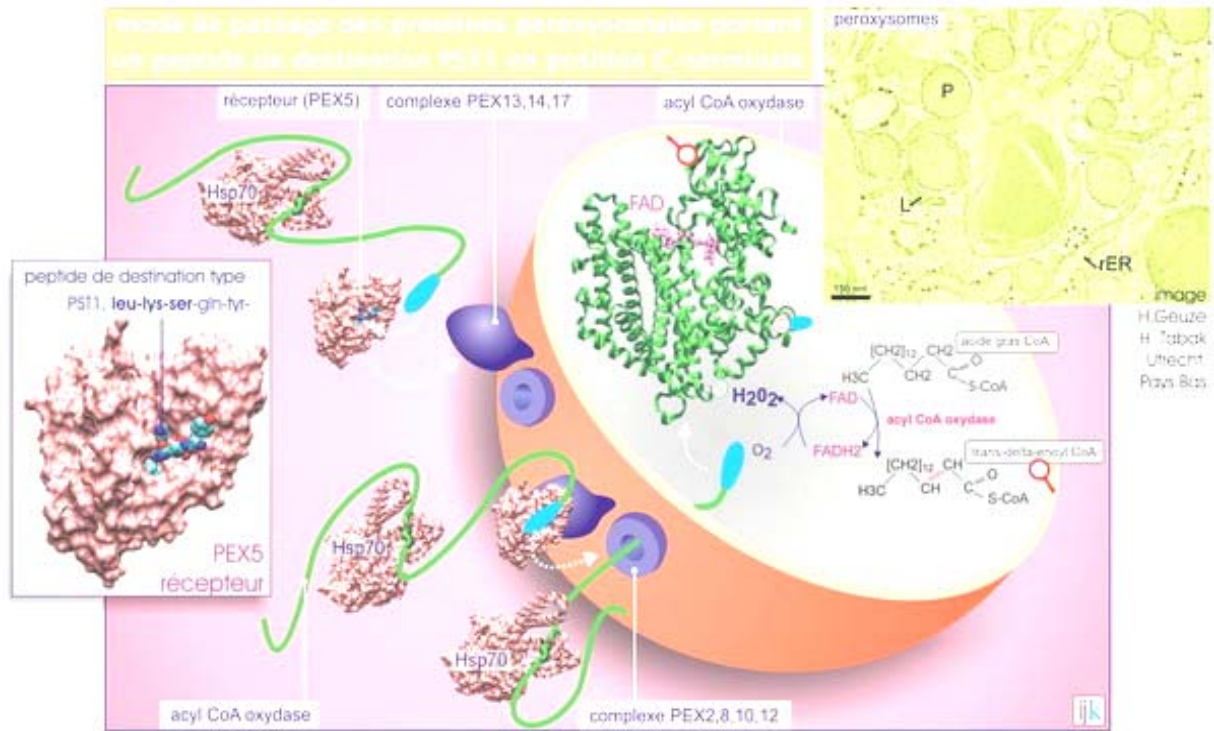
Une cellule peut se maintenir en vie pendant de nombreuses années avec un matériel cellulaire relativement jeune. Par exemple, les vieilles neurones qui détruisent et reconstruisent continuellement leurs ribosomes, leurs mitochondries et leurs membranes.

L'autophagie semble aussi un processus qui s'active en période de jeûne.

2.3.5 – Peroxysomes

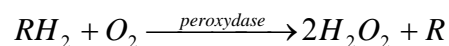
Ce sont des vésicules de 0.2µm à 1µm de diamètre, ils bourgeonnent du REL (cependant il existe une théorie qui spécule que les nouveaux peroxysomes proviennent des peroxysomes préexistants). La matrice du peroxysome est séparée du cytoplasme par une membrane perméable qui permet le passage de nombreuses molécules organiques à faible PM, ainsi que certains ions.

Ces organites ont comme principale fonction l'élimination des radicaux libres produits par l'oxygène dans la cellule. Ils ont donc une fonction protectrice de la cellule, c'est grâce à eux que les cellules eucaryotes supportent un environnement aérobie.

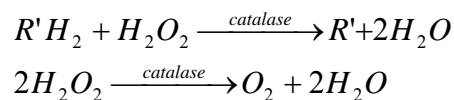


Les substrats liés à des atomes d'hydrogène, sont potentiellement toxiques pour la cellule. L'oxydation de ces molécules les détoxifient. La matrice du peroxysome renferme un équipement enzymatique que l'on peut classer en 2 types :

- Les peroxydases sont responsables de la production du peroxyde d'hydrogène, H_2O_2 à partir de O_2 et d'un substrat spécifique :



- Les catalases utilisent le H_2O_2 pour oxyder une grande variété de substrats, participant ainsi à la détoxification de l'organisme :



- En dehors de l'oxydation des acides gras, le peroxysome est aussi impliqué dans la synthèse de la bile, du cholestérol et également dans le métabolisme des acides aminés et des purines.

- La place du peroxysome dans le métabolisme cellulaire est illustrée par l'existence de nombreuses pathologies associées à son dysfonctionnement, lui même dû à des défauts génétiques.

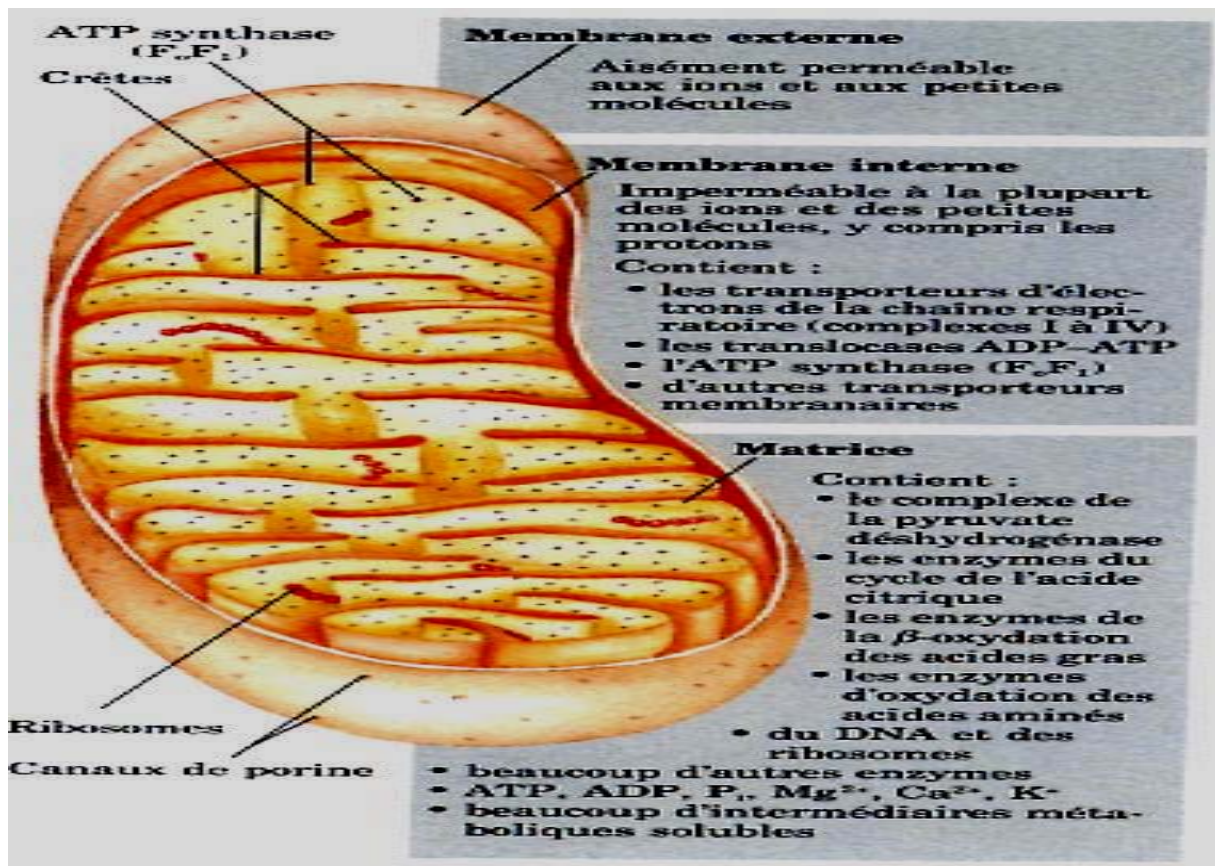
2.3.6 – Mitochondries

Les mitochondries sont des organites creux de forme filamenteuse ou granulaire. Ils existent dans toutes les cellules aérobies. En générale, les mitochondries sont dispersées dans la cellule, mais elles peuvent être rassemblées dans les régions où la cellule a besoin de plus d'énergie.

La mitochondrie est un organite de 1µm de largeur et de longueur variable. Elle est constituée de deux membranes qui isolent deux compartiments du cytoplasme. À l'intérieur de la membrane interne se trouve la matrice. Entre les deux membranes se trouve une zone appelée zone inter membranaire. Les différents éléments de la mitochondrie sont différents vu leur composition. En effet la membrane externe est une simple enveloppe proche dans sa composition des membranes du réticulum endoplasmique lisse, cependant elle s'en distingue par la présence d'une protéine caractéristique qui est la *porine* qui assure une perméabilité totale de la plus part des molécules cytoplasmiques. Ceci implique que la zone intermédiaire présente une composition peu différente du cytoplasme.

La membrane interne présente des saccules qui constituent les crêtes mitochondriales. Ces crêtes augmentent la surface d'échange de la membrane interne. Celles-ci sont recouvertes de particules élémentaires ou sphères pédonculées qui sont répartis de façon homogène ($\approx 10^5$ particules élémentaires/ mitochondrie). Ce sont des ATP synthétases responsables du couplage des réactions d'oxydation et des réactions de phosphorylation de l'ATP. La membrane interne est caractérisée par sa perméabilité hautement sélective et par sa richesse en protéines (protéines/lipides >3) qui sont des protéines de la chaîne respiratoire ainsi que des perméases qui contrôlent le passage des substances dans les deux sens.

La matrice mitochondriale, est un liquide qui renferme des grains denses, des mitoribosomes, des filaments d'ADN et toutes les protéines intervenant dans le cycle de Krebs ainsi que celles assurant la réplication de l'ADN.



Fonctions

La principale fonction de la mitochondrie est la production de l'ATP suite à des réactions chimiques complexes qui commencent par l'oxydation complète des métabolites par l'oxygène atmosphérique et finissent par la formation du CO_2 , de l' H_2O et $NADH_2$:

C'est la respiration cellulaire appelée aussi *phosphorylation oxydative*.

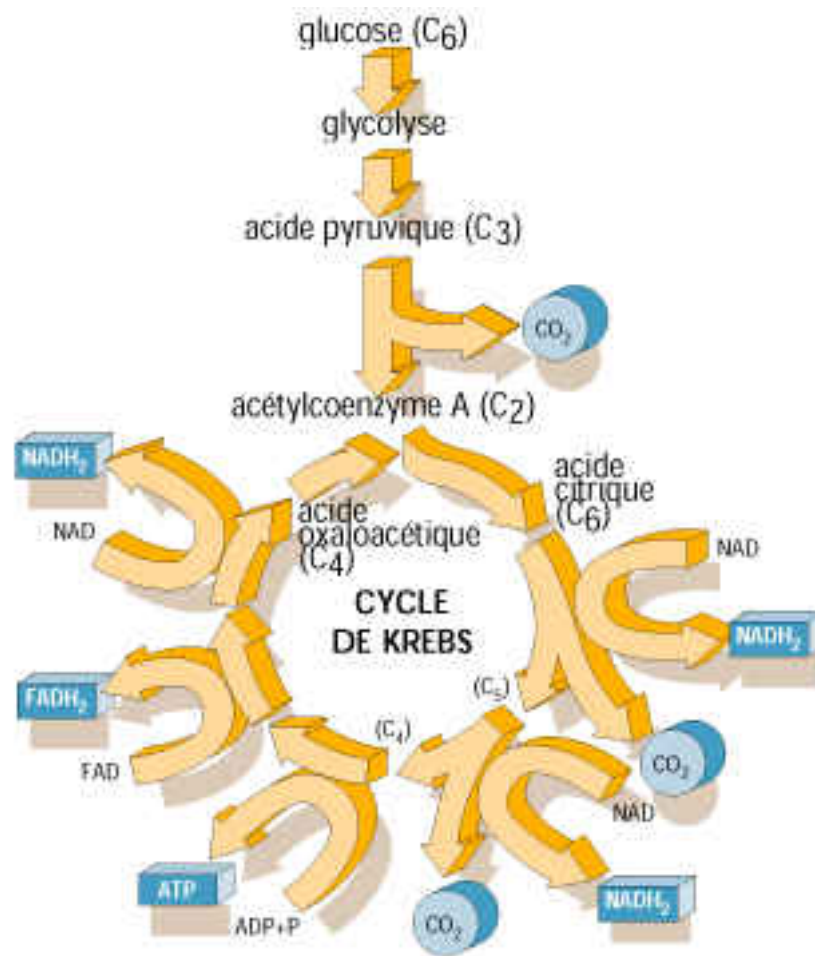
La phosphorylation oxydative commence dans le cytoplasme et se termine dans la mitochondrie.

Dans le cytoplasme : a lieu l'oxydation des métabolites :

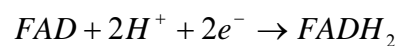
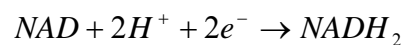
- ✓ Les lipides donneront par lipolyse des acides gras
- ✓ Les glucides, par glycolyse, et les acides aminés (catabolisme des protéines) vont donner l'acide pyruvique

Dans la mitochondrie : ce forme l'acétyl CoA à partir de l'acide pyruvique par décarboxylation oxydative et des acides gras par la β oxydation.

L'acétyl CoA réagit avec l'acide oxaloacétique pour former l'acide citrique qui va subir une série de réactions de décarboxylations et de déshydrogénations au cours du cycle de Krebs.

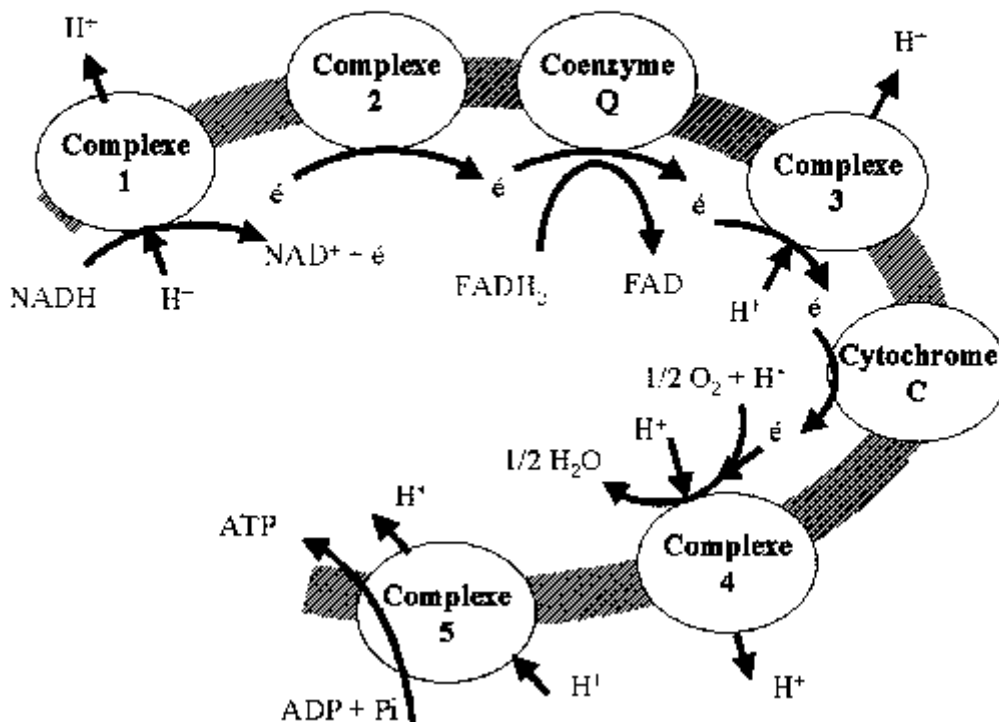


Les hydrogènes cédés par le cycle sont repris par des transporteurs d'hydrogène et d'électrons : les coenzymes NAD, FAD.



Les NADH₂ et les FADH₂ cèdent ensuite leurs paires d'électrons à la chaîne respiratoire se trouvant dans la membrane interne.

Chaîne respiratoire

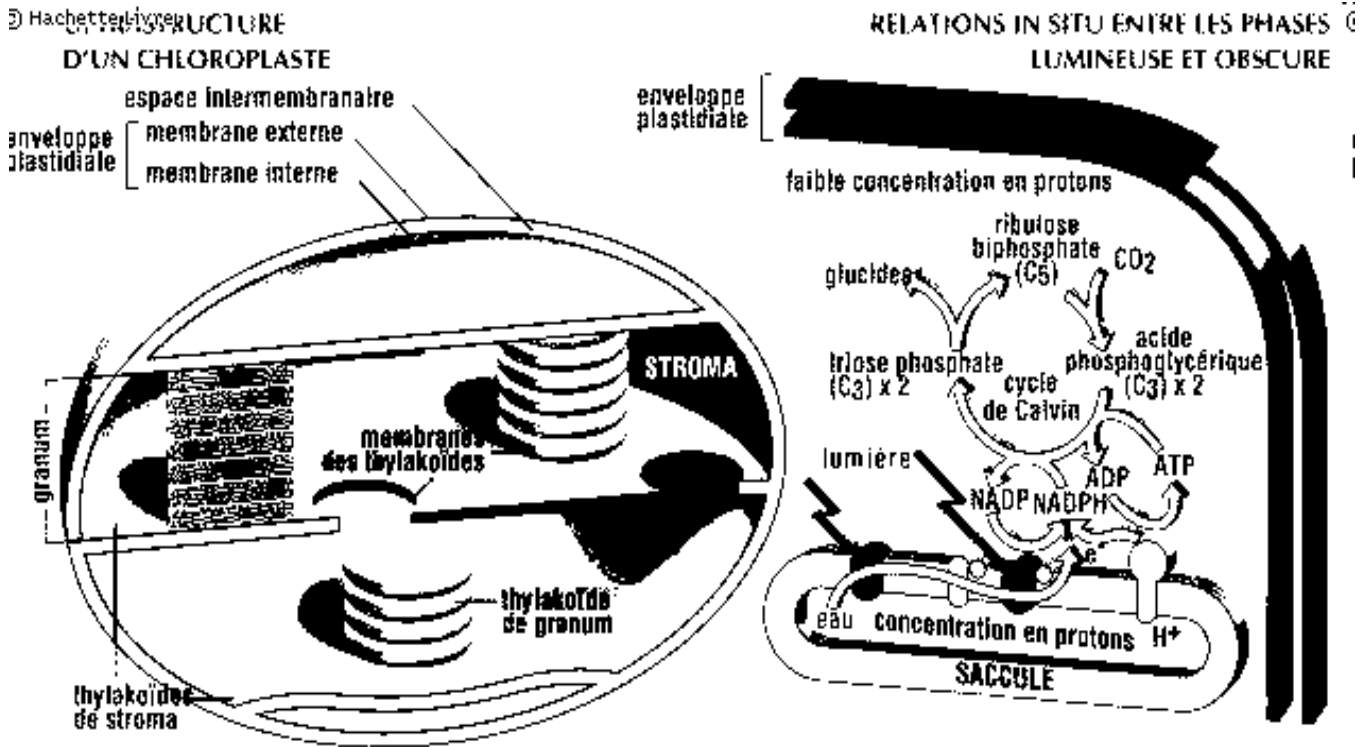


Au cours du transport des électrons jusqu'à l'oxygène, il y a translocation des protons H^+ de la matrice vers l'espace inter membranaire, ce qui crée un gradient protonique à travers la membrane interne mitochondriale. Ce gradient permet ensuite le retour des protons vers la matrice à travers l'ATP synthétase, un complexe protéique transmembranaire qui utilise l'énergie du flux protonique pour synthétiser, dans la matrice de l'ATP à partir de l'ADP et du Pi (phosphate inorganique).

- ✓ Echange des substances avec le cytoplasme ;
- ✓ Synthèse des protéines : réalisée par l'ADN de la matrice et par les mitoribosomes. Cependant cette proportion reste faible, la majorité des protéines mitochondriales étant synthétisées par les cytoribosomes ;
- ✓ Concentration de certaines substances : comme les ions Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , des petites molécules de glycogène, des protéines des lipides, ainsi que certains métaux tel que l'or, l'osmium et le fer.

2.3.7. Chloroplastes

Les végétaux chlorophylliens utilisent l'énergie de la **lumière** pour produire de la **matière organique** (glucose) à partir de matière minérale (gaz carbonique) : c'est la photosynthèse. Toutes les réactions de la photosynthèse ont lieu dans les **chloroplastes**.



- On distingue 2 phases dans le processus de la photosynthèse:
 - une phase dite **lumineuse** qui est dépendante de la lumière
 - une phase dite **obscur** pour laquelle la lumière n'est pas nécessaire.

Réaction chimique globale de la photosynthèse:

- $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{énergie lumineuse} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$

1. LA PHASE LUMINEUSE:

- L'énergie lumineuse est captée par les pigments contenus dans les chloroplastes (chlorophylle et caroténoïdes).
- Cette lumière apporte aussi l'énergie nécessaire pour casser une molécule d'eau en O_2

et H^+ . L' O_2 est relâché sous forme de gaz (oxygène gazeux), l'hydrogène va servir à fabriquer du $NADPH + H^+$ et les électrons vont servir à fabriquer de l'ATP.

- LA PHASE OBSCURE:
 - l'ATP produit lors de la phase lumineuse permet de fabriquer du glucose en utilisant le CO_2 présent dans l'air et absorbé par les chloroplastes.
 - Le CO_2 va entrer dans un cycle de réactions catalysées par des enzymes et qui vont permettre la formation, par étapes successives, de molécules de glucose ($C_6H_{12}O_6$).

L'énergie solaire est convertie en énergie sous forme de glucose. C'est la forme finale d'énergie des cellules. Le glucose va ensuite pouvoir:

- être diffusé dans l'ensemble de la plante pour nourrir toutes les cellules de la plante,
- être stocké sous forme de réserve, en tant qu'amidon,
- servir comme molécule de départ pour la synthèse d'autres molécules organiques végétales.