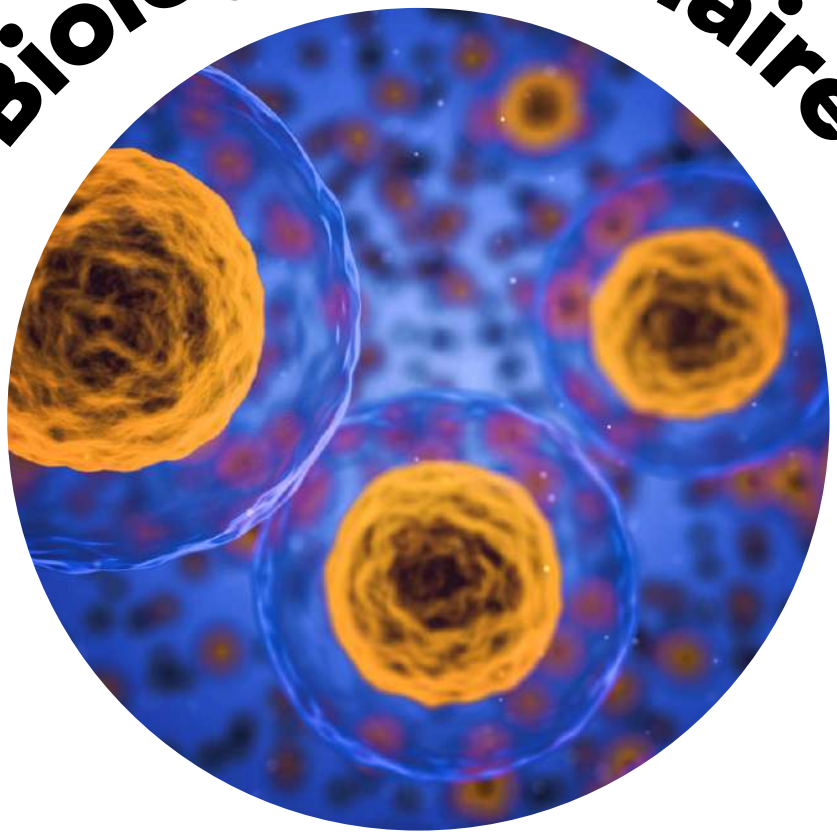
@Mohamed_Nahli

BIOLOGIE MAROC

www.biologie-maroc.com

Biologie Cellulaire



SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

Shop

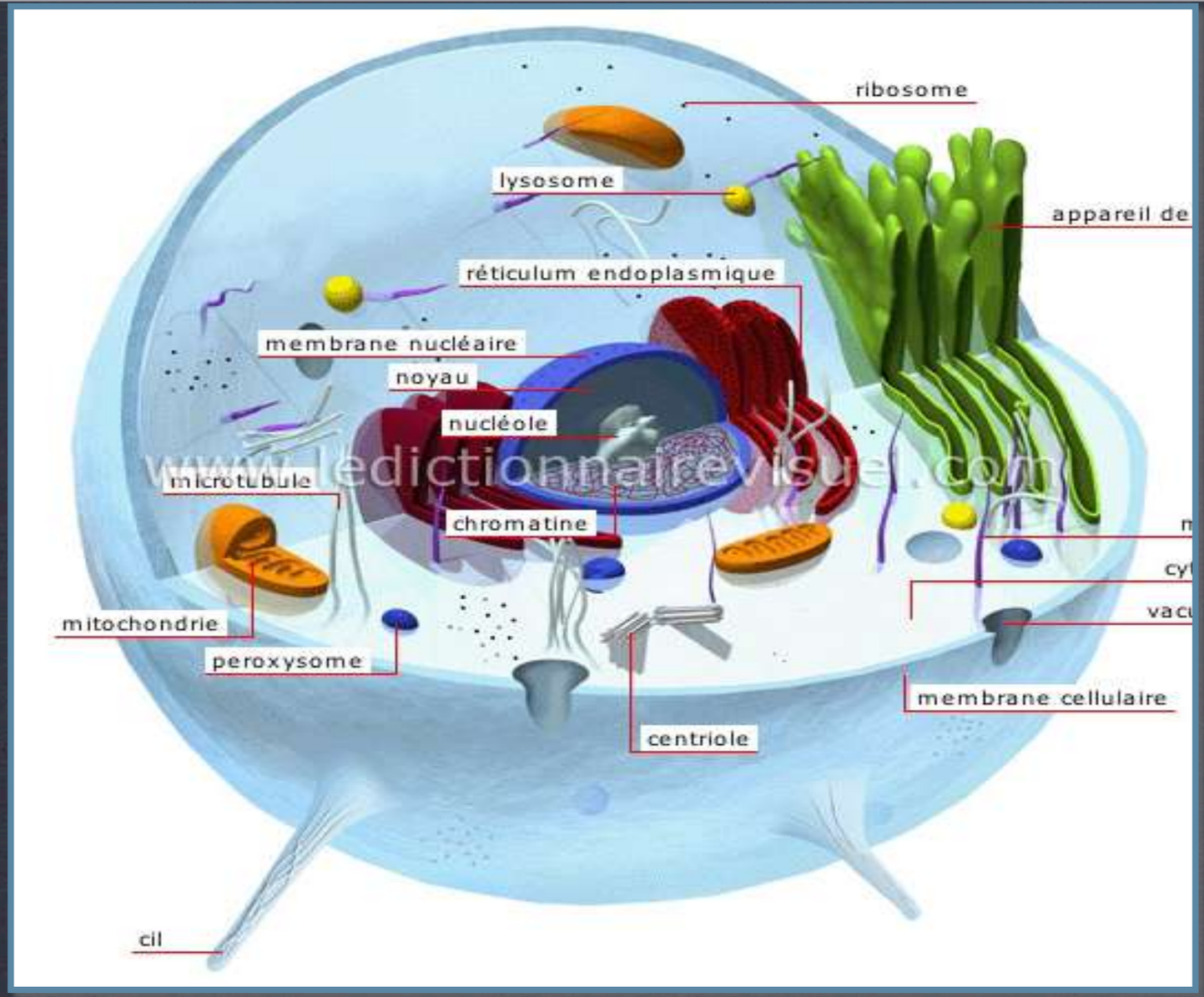
• Cahiers de Biologie + Lexique
• Accessoires de Biologie

Etudier

Visiter Biologie Maroc pour étudier et passer des QUIZ et QCM enligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.

Emploi

• CV • Lettres de motivation • Demandes...
• Offres d'emploi
• Offres de stage & PFE



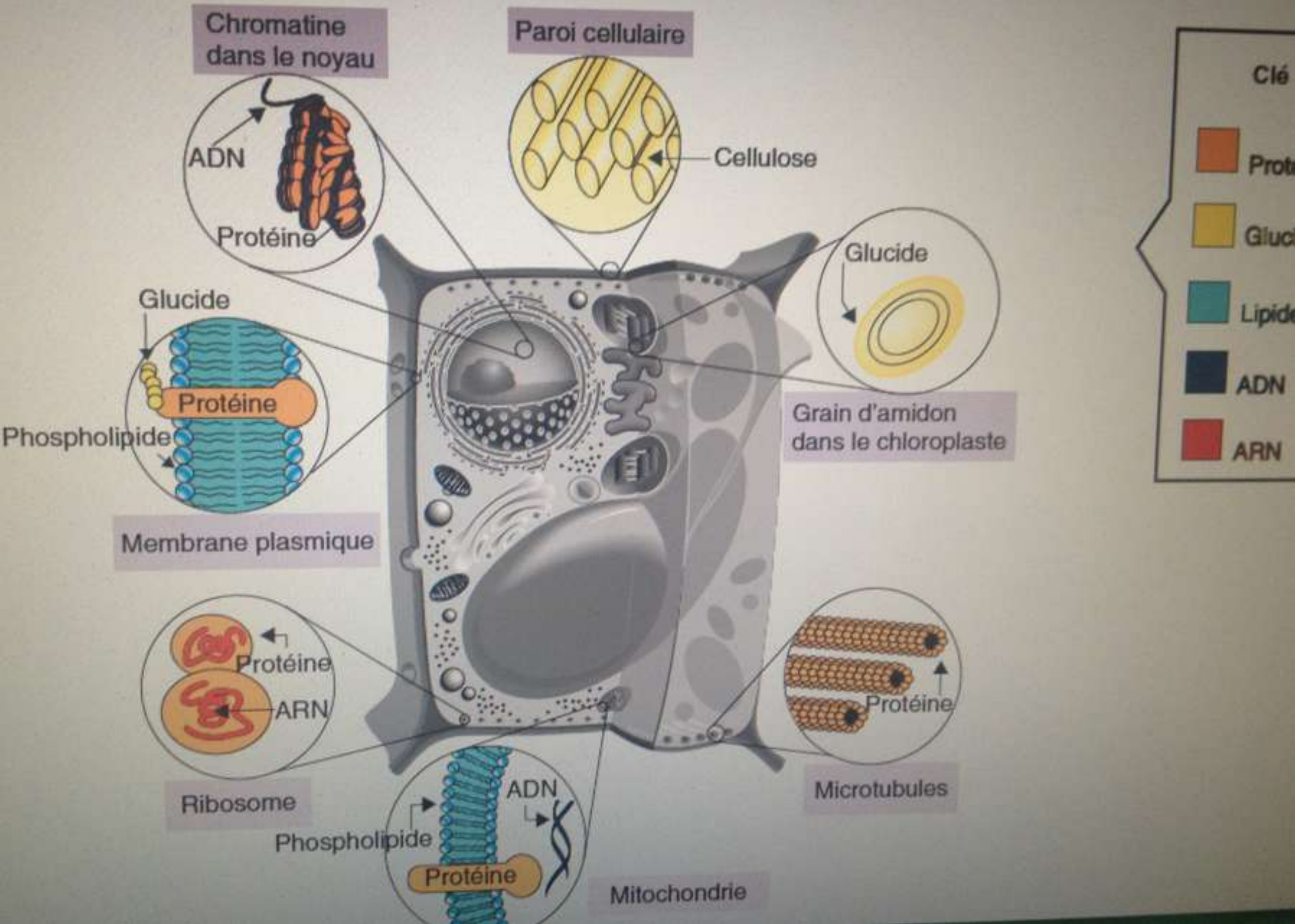
Chimie de la cellule

Macromolécules de la cellule

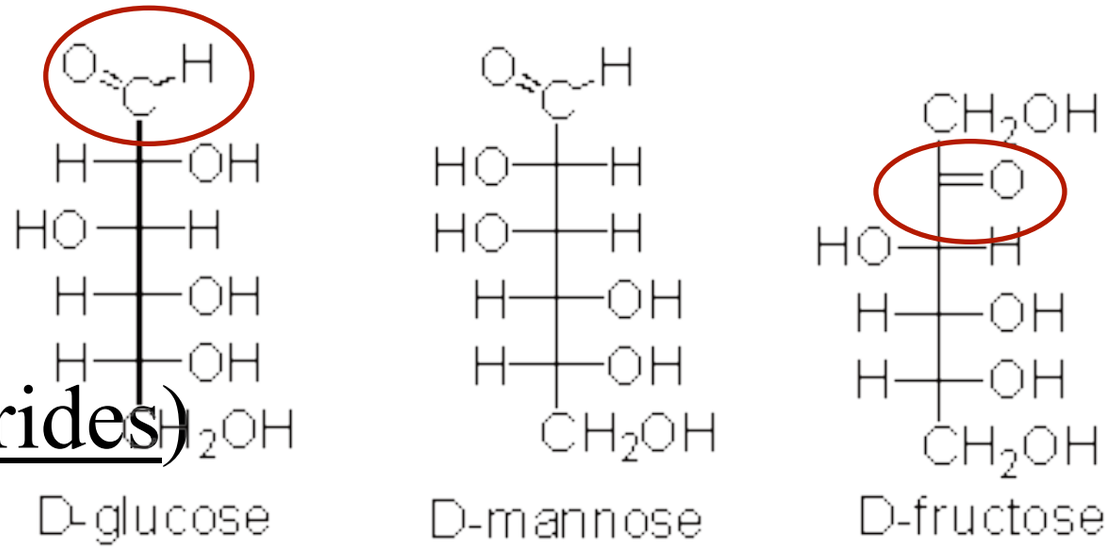
Mme Boutaïna BELQAT

INTRODUCTION

- Analyse chimique d'un broyât de tissu (animal/végétal):
  - Fraction organique des cellules vivantes est composée de 4 grandes classes de molécules biologiques:
    - **Protéines**
    - **Lipides**
    - **Glucides**
    - **Acides nucléiques (ADN/ARN).**
  - **Eau**
  - **Ions minéraux.**


Chromatine dans le noyau
ADN
Protéine
Paroi cellulaire
Cellulose
Glucide
Protéine
Phospholipide
Membrane plasmique
Glucide
Grain d'amidon dans le chloroplaste
Protéine
ARN
Ribosome
ADN
Phospholipide
Protéine
Mitochondrie
Protéine
Microtubules
Clé
Prote
Gluci
Lipide
ADN
ARN

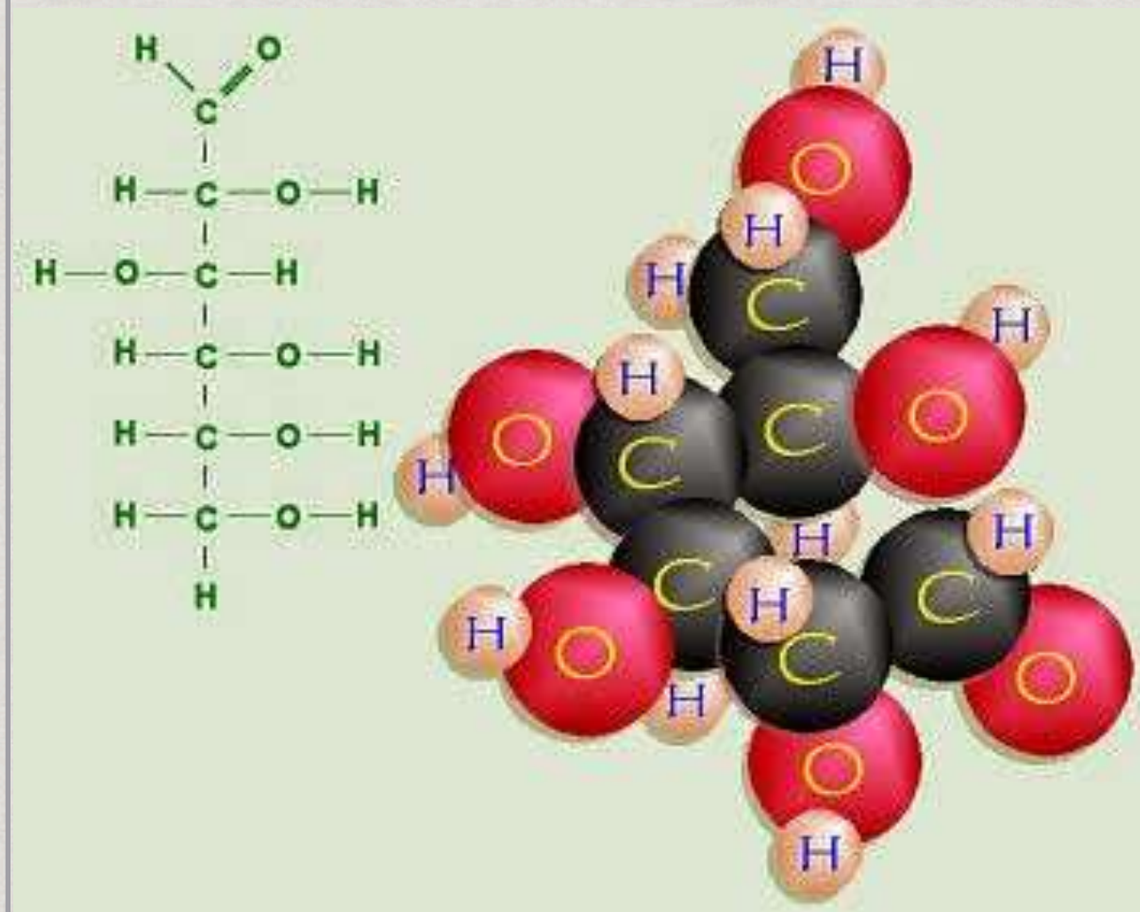
Glucides



- Sucres simples (monosaccharides)
- Polymères (polysaccharides).
- Rôles principaux:
  - Energétique
  - **Structural**
  - **Métabolique...**
    - **Anabolisme des glucides lors du cycle de Calvin (Cellules végétales)**
    - **Catabolisme des glucides lors de la glycolyse et du cycle de Krebs**

Glucides

Carbohydrates - Monosaccharides, disaccharides



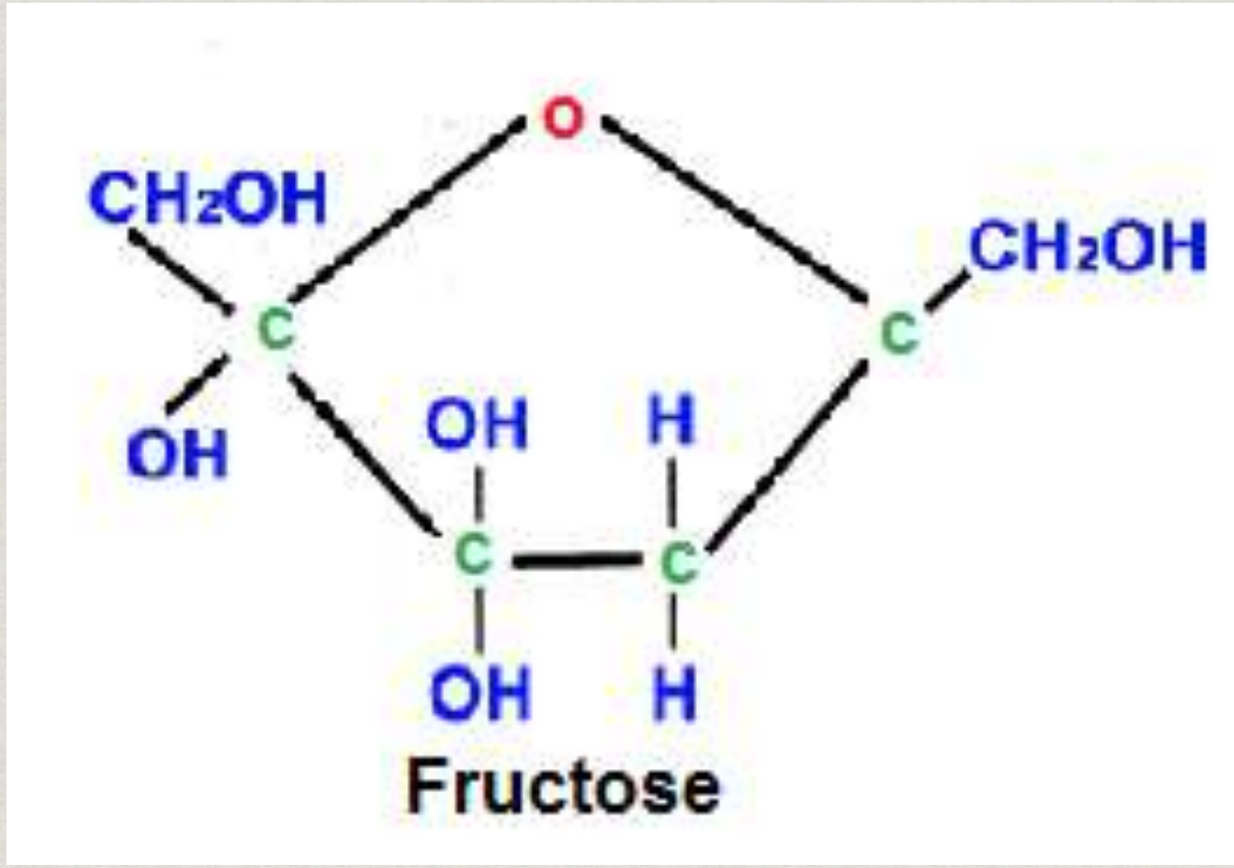
Carbohydrates:

- Polymères de sucres
- Molécules contenant C, H, O
- Atomes H, le double de C ou O ($C_6H_{12}O_6$)

Monosaccharides

- Les plus simples carbohydrates

- = sucres :
  - C = 3 = trioses,
  - C = 4 = tétroses,
  - C = 5 = pentoses,
  - C = 6 = hexoses



Fructose

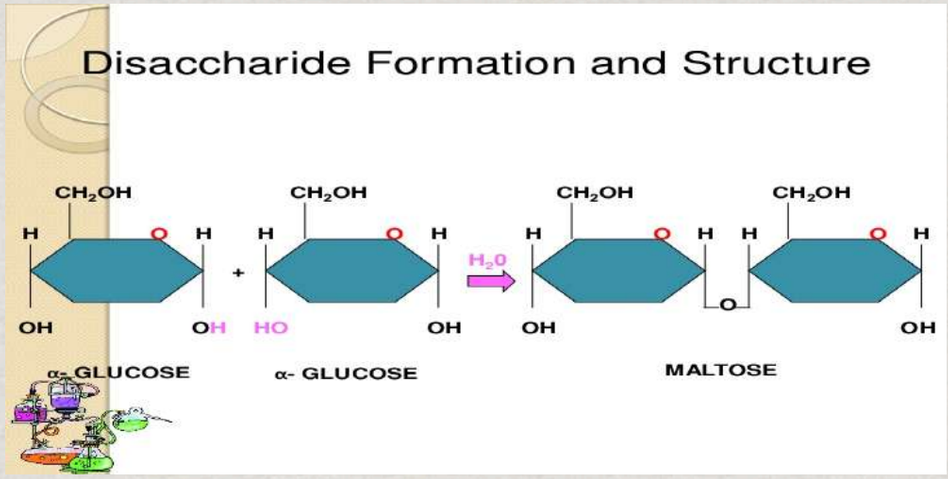
- Exemples d'héxose : glucose, fructose, galactose (C6H1206)

- Molécules souvent en forme d'anneau formé d'atomes de C et O.

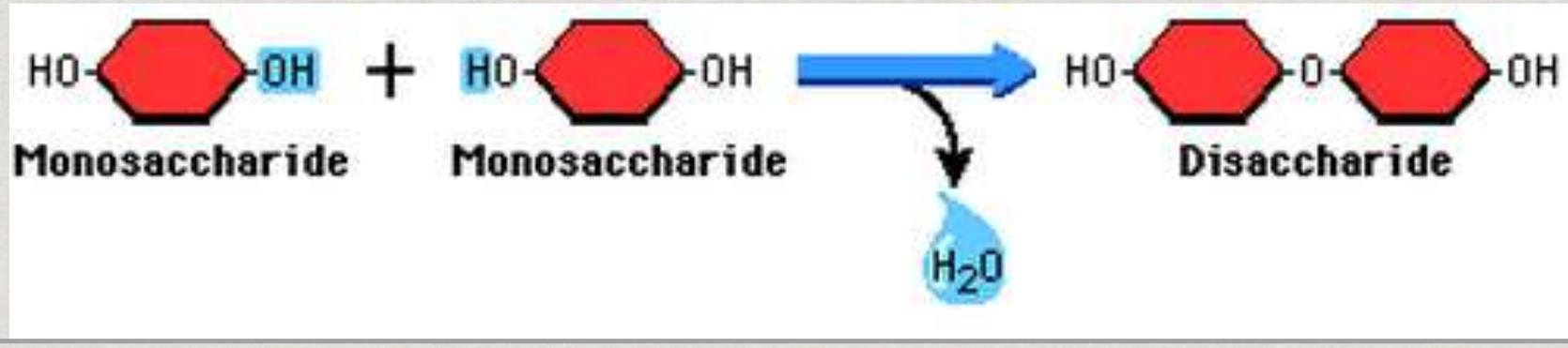
Disaccharides

- **Différents disaccharides pouvant être formés liant différents monosaccharides par des liaisons glycosidiques.**

Disaccharide	Monosaccharide
Maltose	Glucose + Glucose
Lactose	Glucose + Galactose
Sucrose	Glucose + Fructose

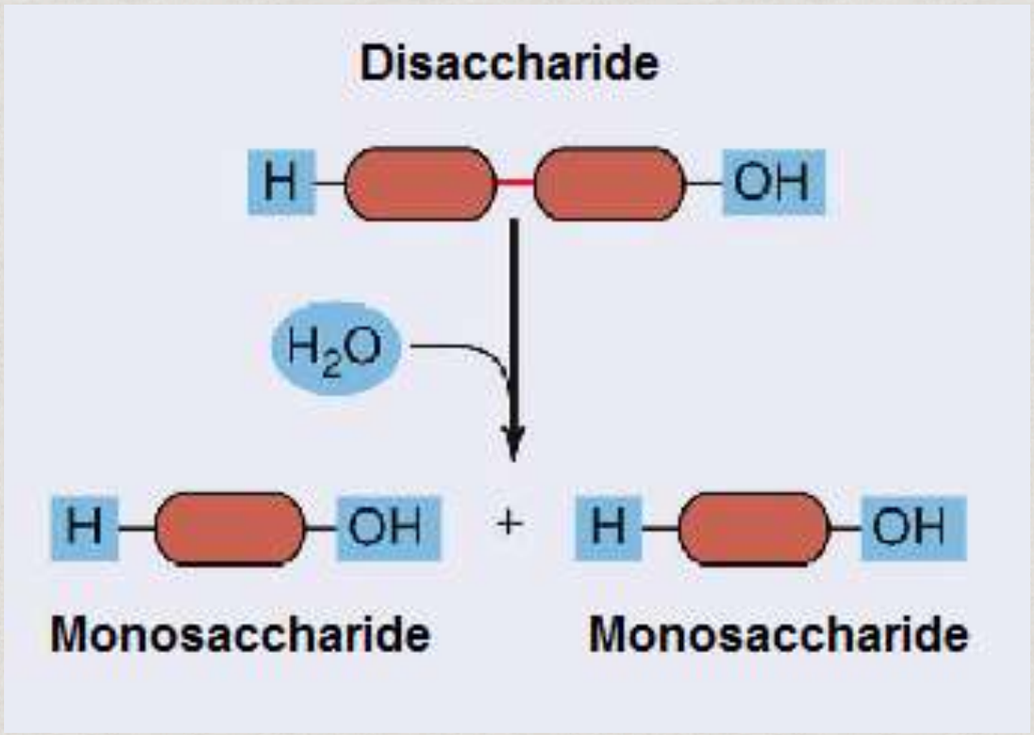


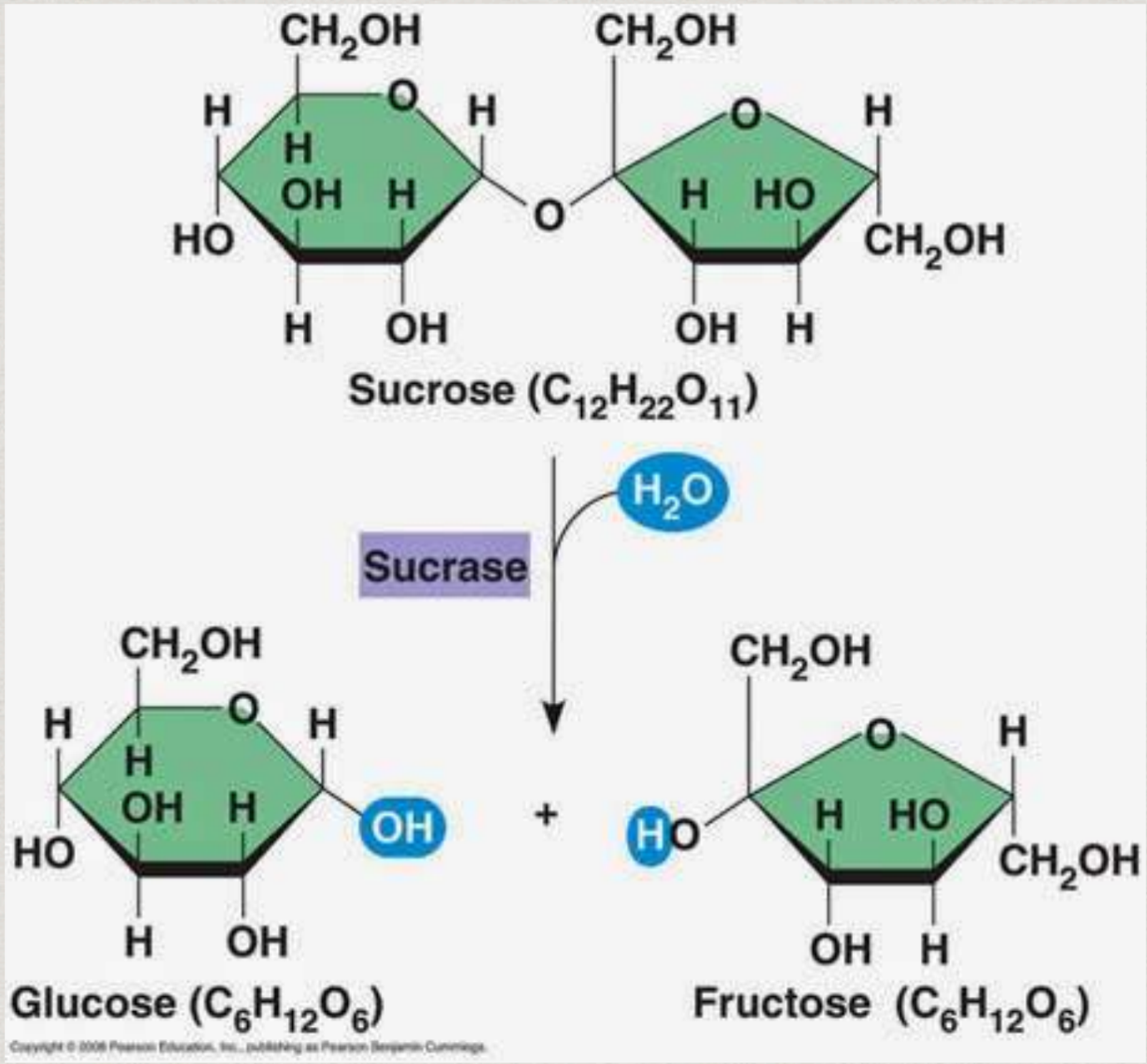
- Réactions de Condensation (réhydration): 2 monosaccharides liés par des liaisons covalentes ; H_2O est formé.



Disaccharides

- Réactions d'Hydrolyse (fractionnement par l'eau): les disaccharides sont divisés en 2 monosaccharides par rupture de la liaison glycosidique; Une molécule de H_2O est ajoutée.





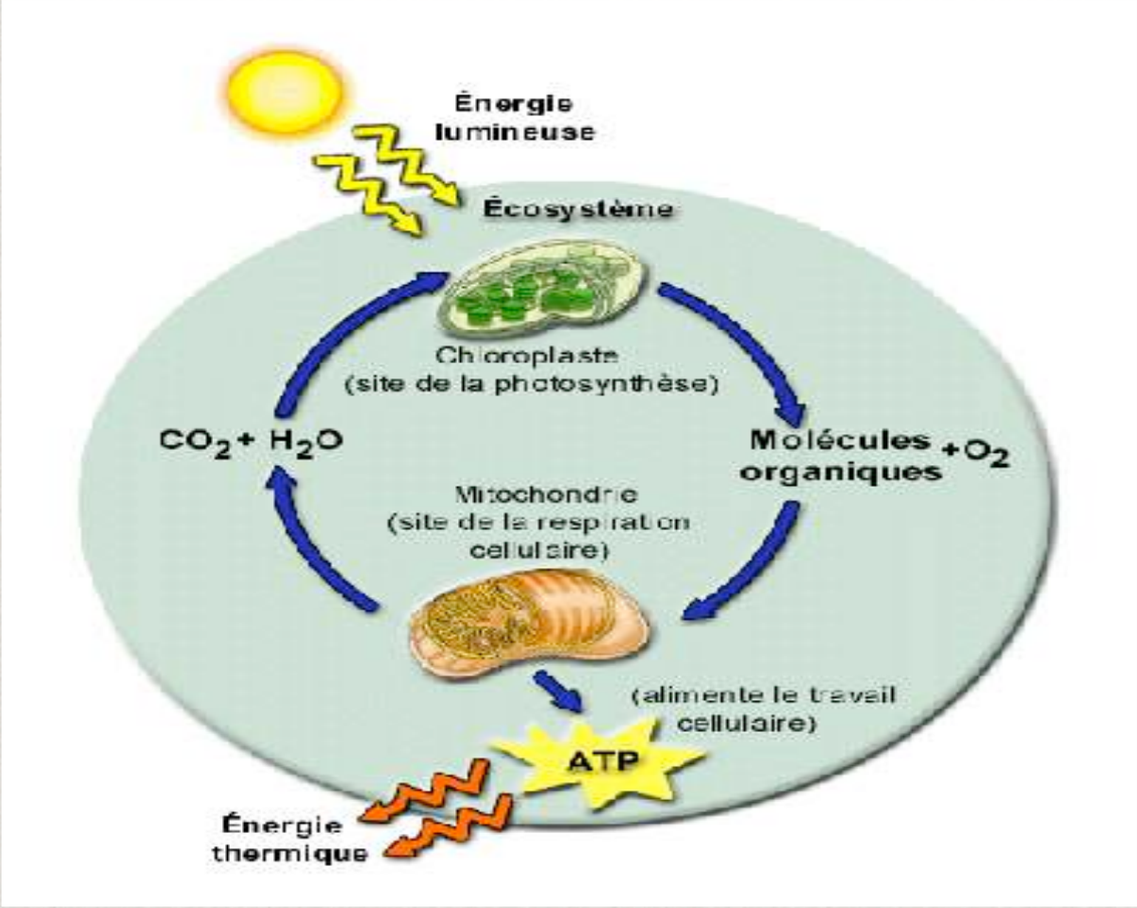
Fonctions des monosaccharides et des disaccharides

- Bonnes sources d'énergie dans les organismes vivants, utilisées dans la respiration pour fabriquer de l'ATP.

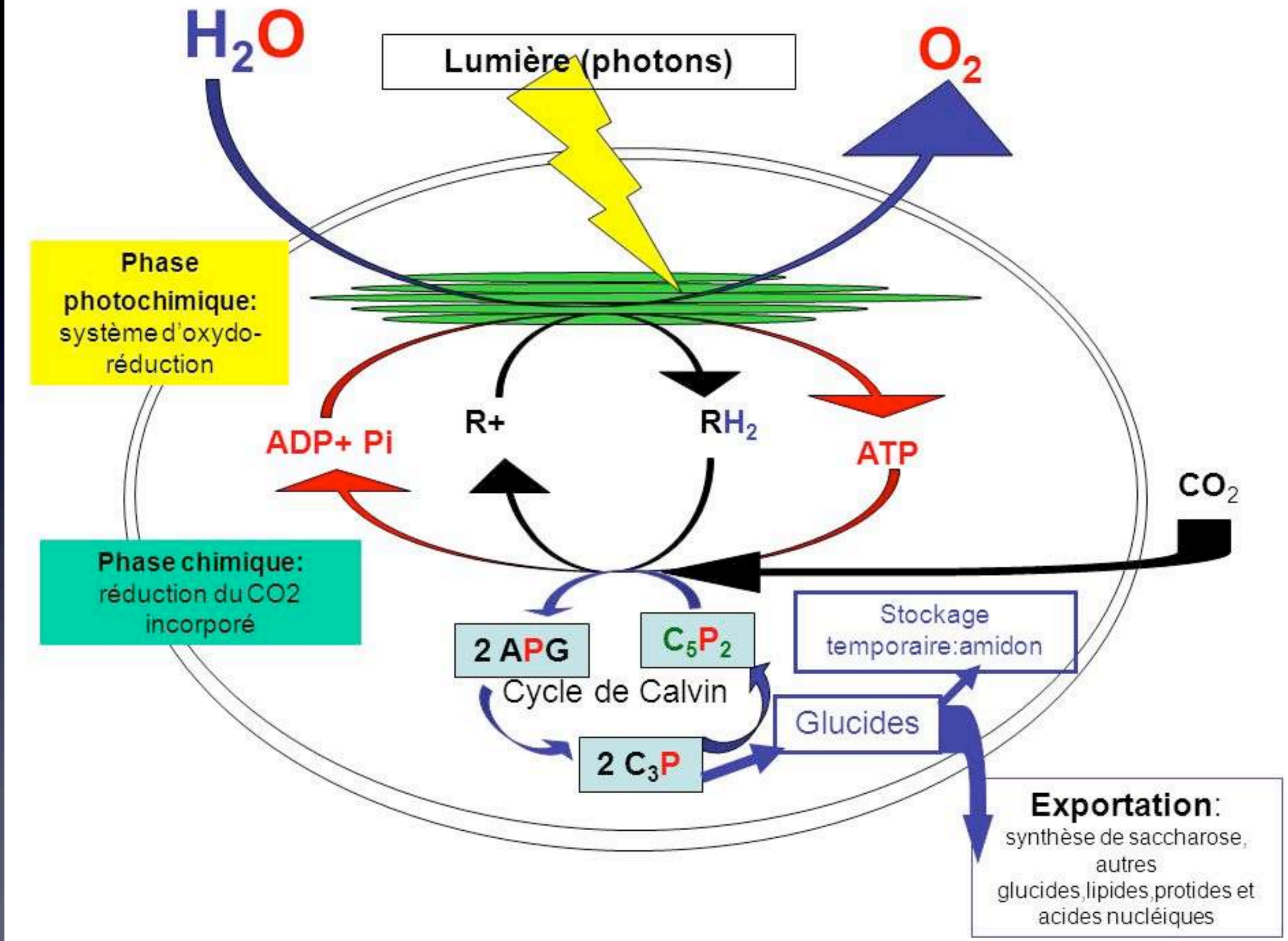
- Transportable à travers le corps en raison de la solubilité: le glucose est transporté dissous dans le plasma sanguin (animaux), le saccharose est transporté dans la sève (plantes).

Fonctions des monosaccharides et des disaccharides

- **Bonnes sources d'énergie dans les organismes vivants, utilisées dans la respiration pour fabriquer de l'ATP.**



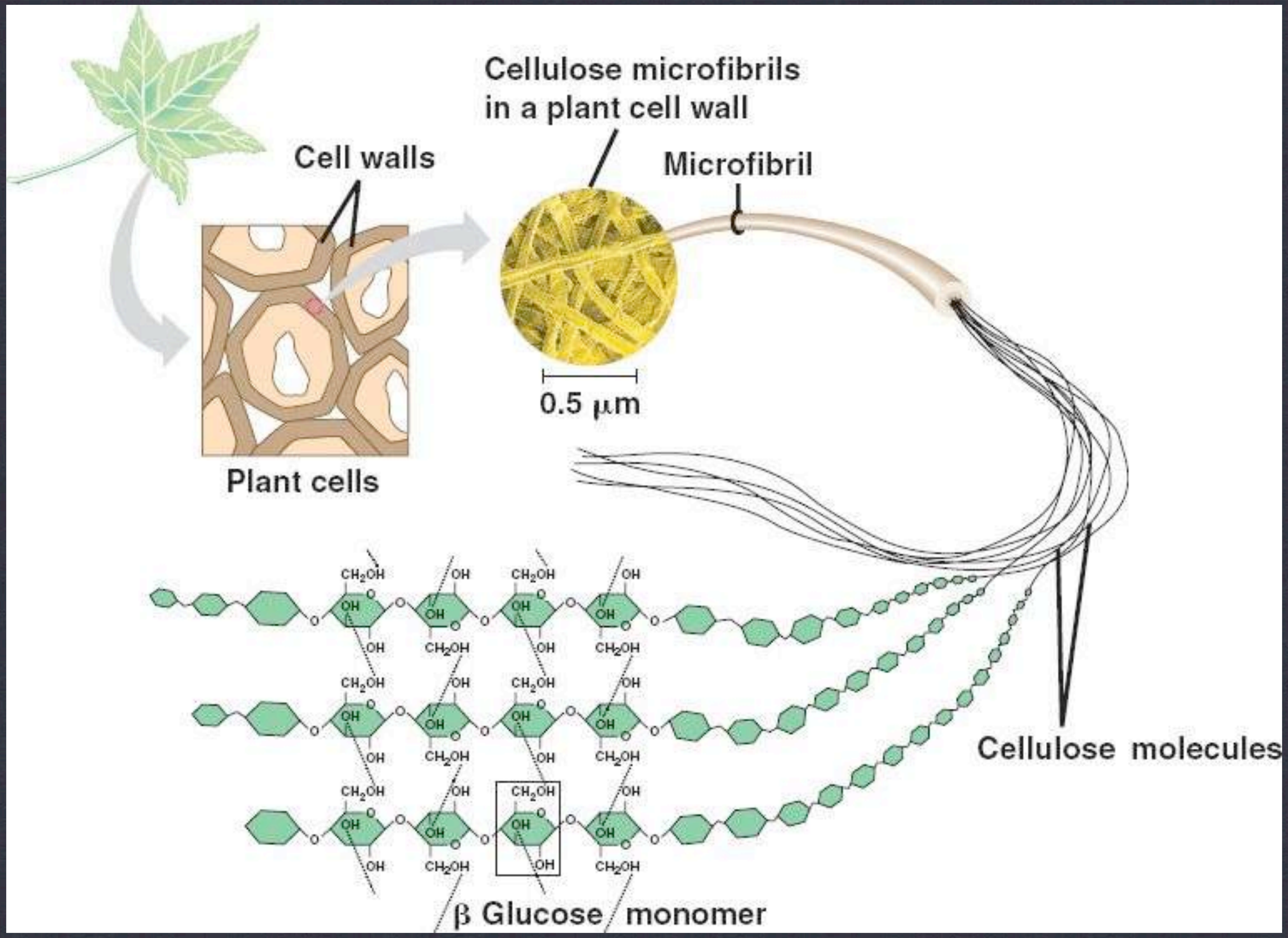
- **Transportable à travers le corps en raison de la solubilité: le glucose est transporté dissous dans le plasma sanguin (animaux), le saccharose est transporté dans la sève (plantes).**


H_2O
Lumière (photons)
O_2
Phase photochimique: système d'oxydo-réduction
ADP+ Pi
R+
RH_2
ATP
CO_2
Phase chimique: réduction du CO2 incorporé
2 APG
C_5P_2
Cycle de Calvin
Stockage temporaire:amidon
Glucides
2 C_3P
Exportation: synthèse de saccharose, autres glucides,lipides,protides et acides nucléiques

Classification des Glucides

- Deux familles:
- Sucres simples (directement assimilables par l'organisme):
- Hydrolysés par les enzymes salivaires et digestives.
- =monosaccharides (Glucose, Fructose, galactose)
- = disaccharides.

- Sucres complexes (polysaccharides):
- Amidon
- Glycogène (fabriqué par notre organisme (glycogenèse) et stocké au niveau du foie et des muscles. = sucre de réserve de l'homme.

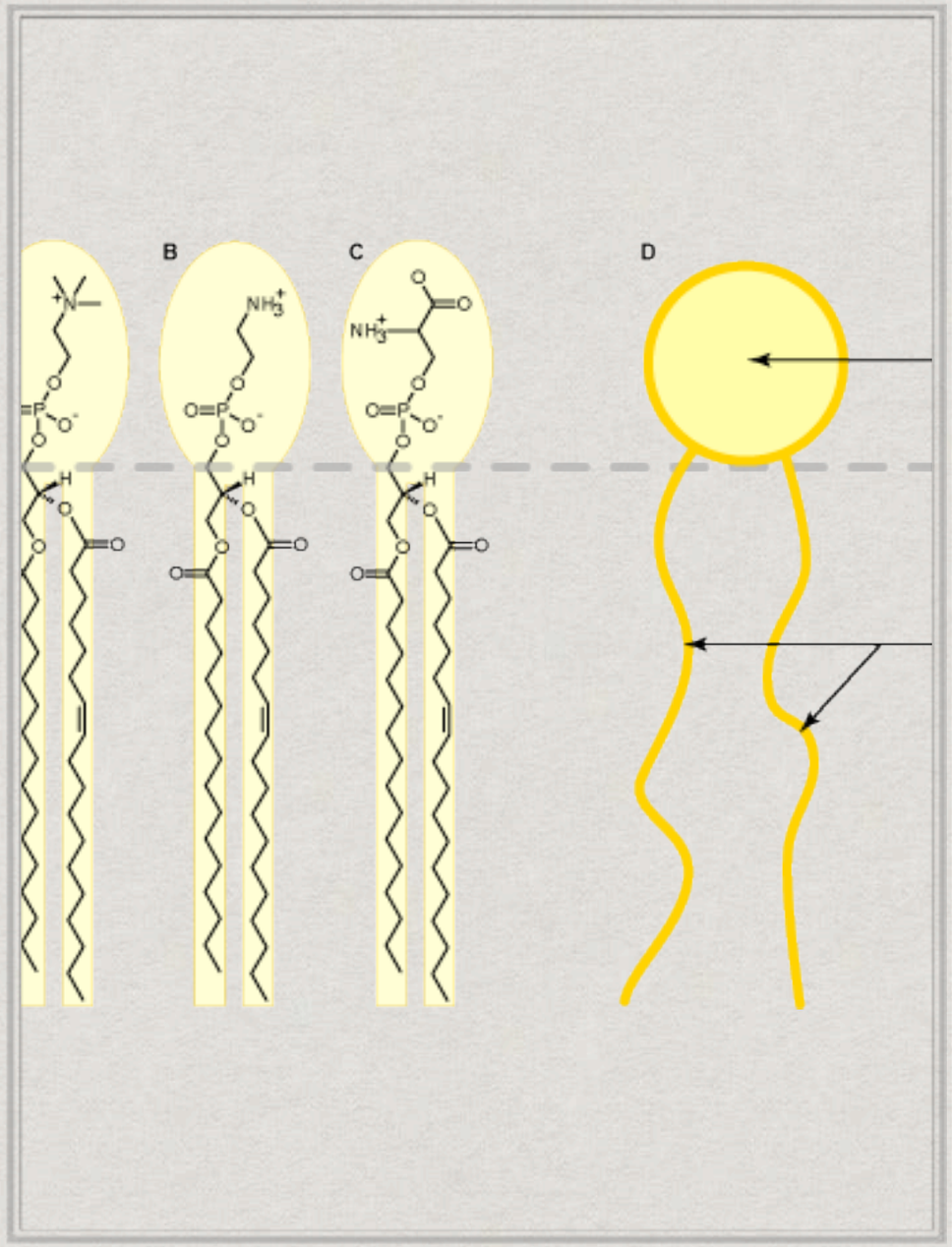

Cellulose microfibrils
in a plant cell wall
Cell walls
Microfibril
0.5 μm
Plant cells
Cellulose molecules
β Glucose monomer

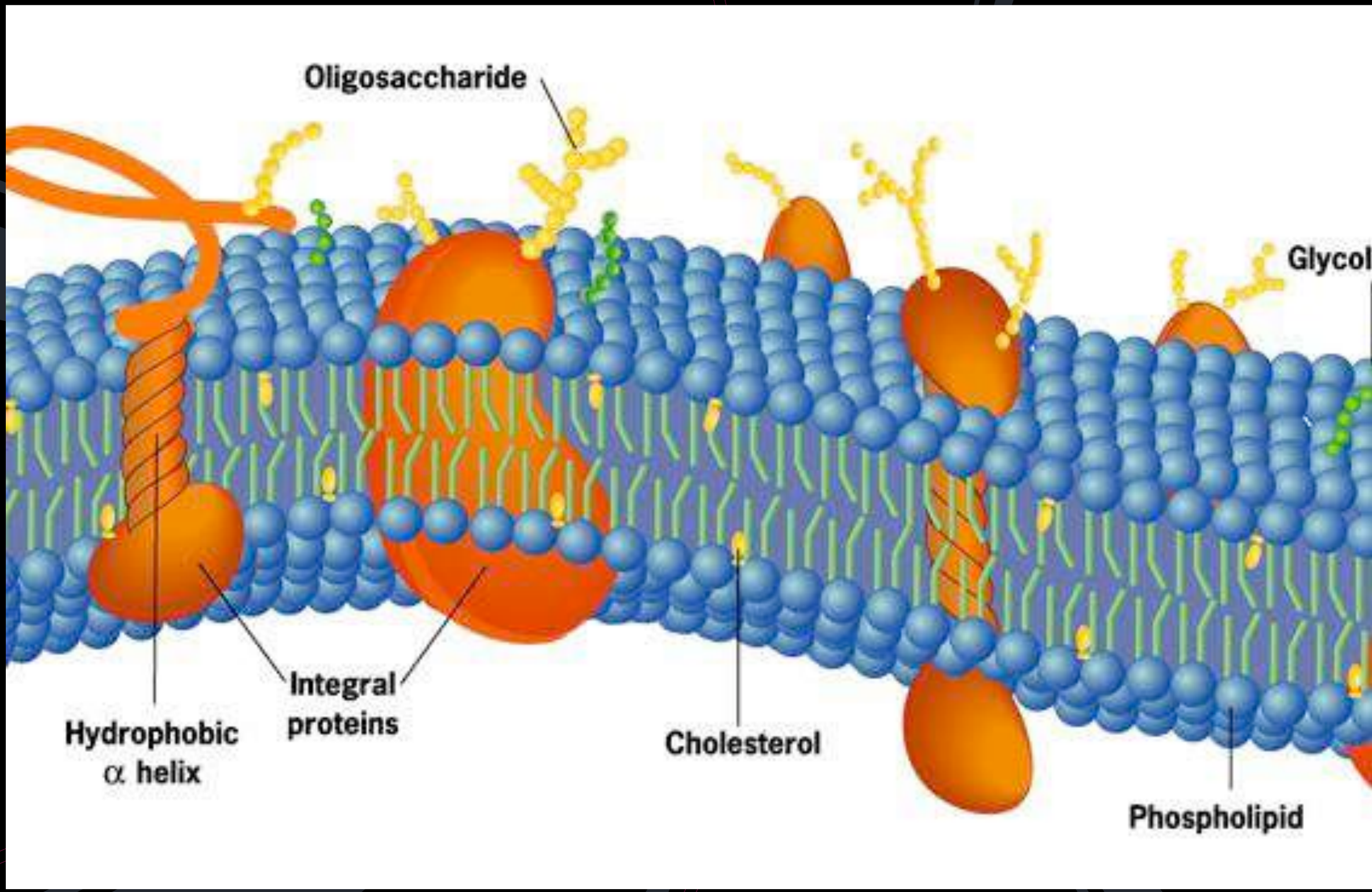
Lipides

- = corps gras insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques.

- Classés en 8 catégories différentes :
- Acides gras,
- Acylglycérols,
- Phosphoglycérides,
- Sphingolipides,
- Glycolipides,
- Polycétides,
- Stérols
- Prénols

- Rôles principaux:
  - Structure,
  - Réserve d'énergie (lipogenèse),
  - Protection...




Oligosaccharide
Glycol
Hydrophobic
α helix
Integral
proteins
Cholesterol
Phospholipid

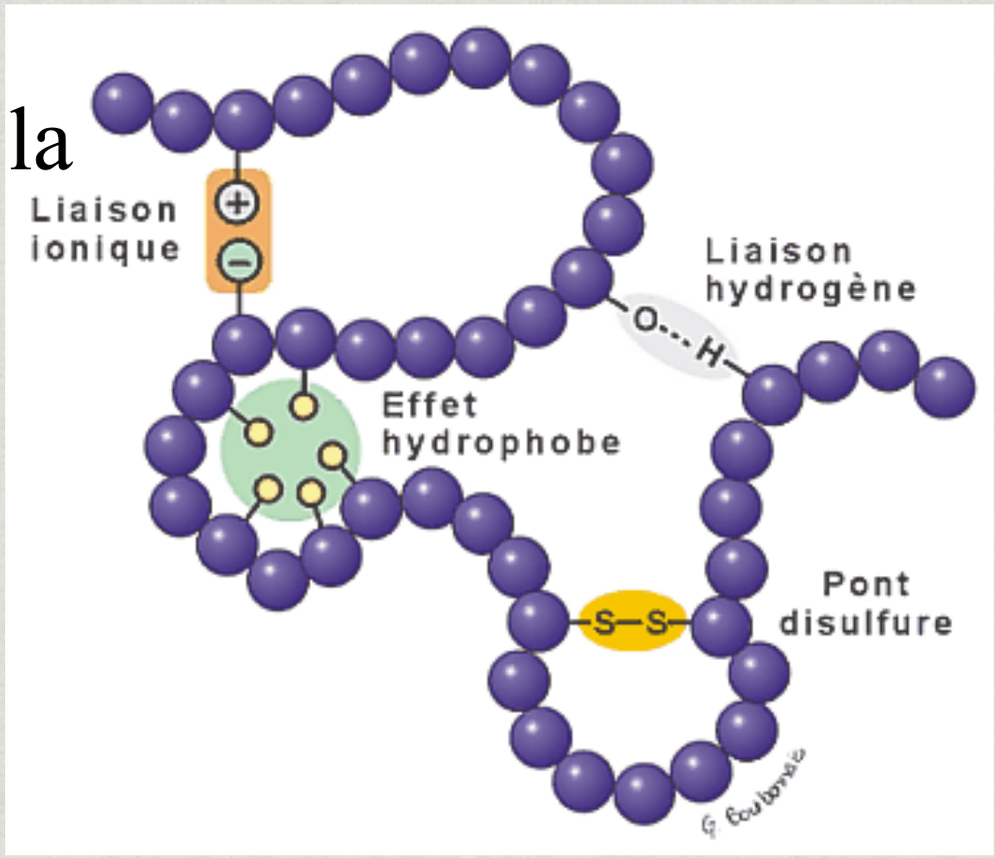
Glycogène

Globule lipidique

Lipides, oxydés activement et dégradés pour fournir des radicaux acétyles utilisés dans le cycle de Krebs.

Protéines

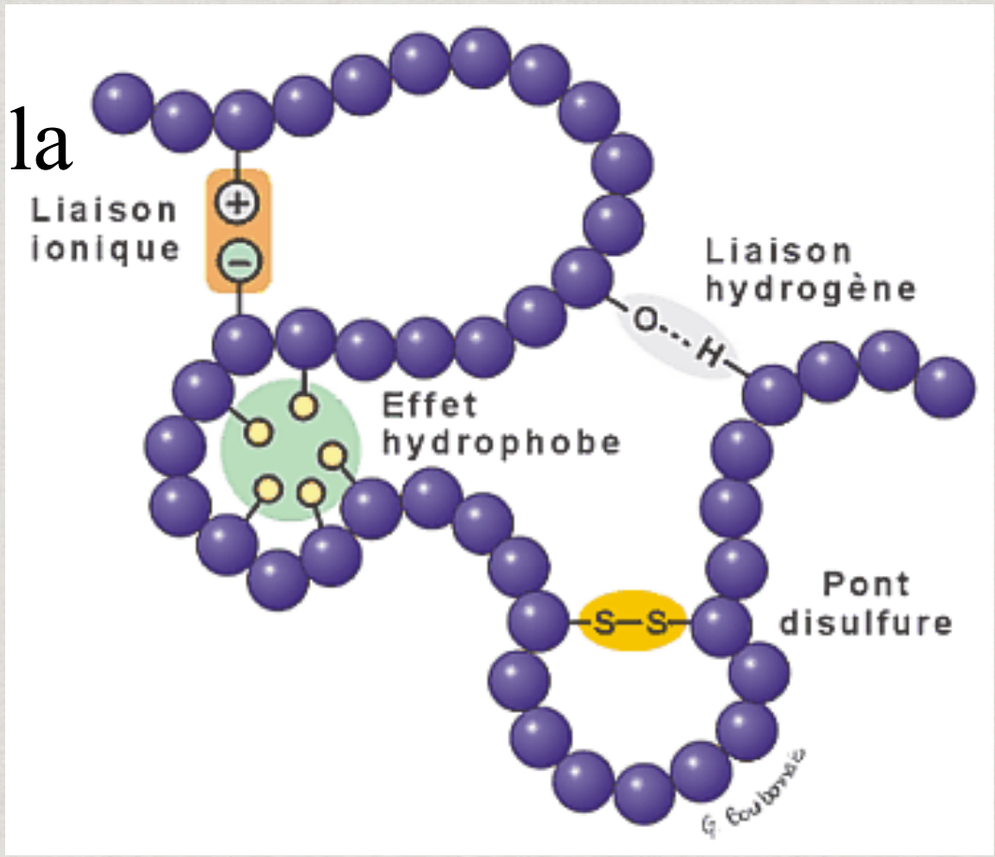
- = Polymères d'acides aminés aux propriétés diverses qui assurent presque toutes les activités dans la cellule.



- <u>Rôles principaux</u>:
  - Structure,
  - Catalyse,
  - Transport,
  - Signal intra–et extracellulaire.
  - Réserve,
  - Mouvement,
  - Défense

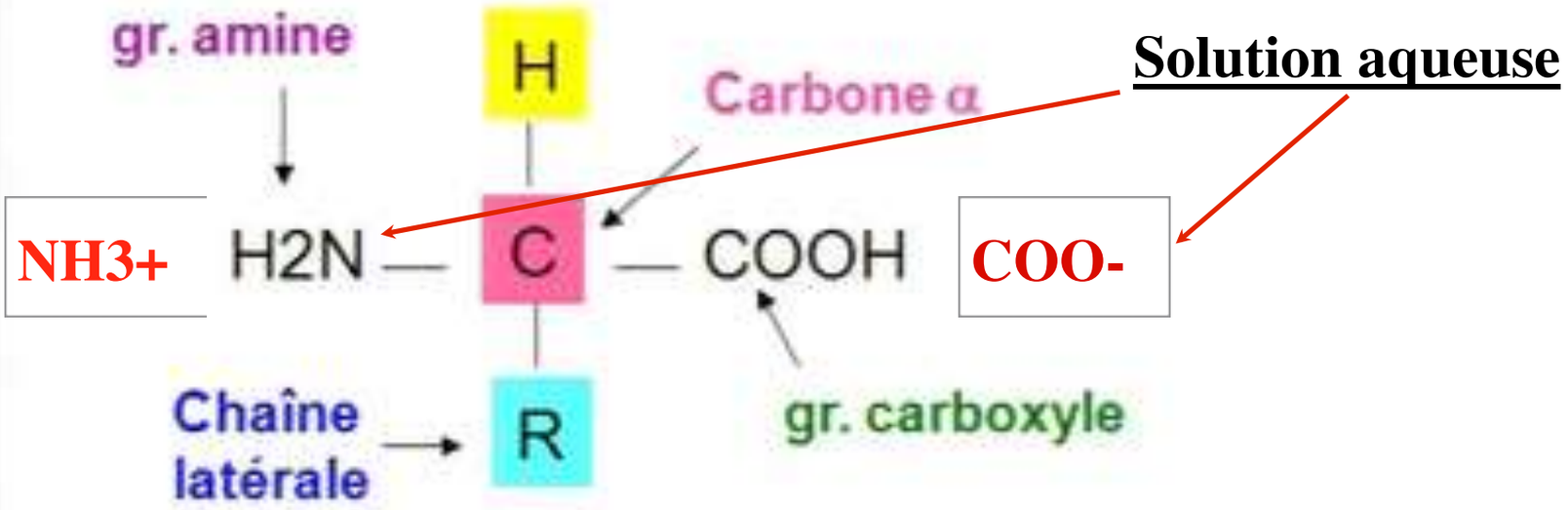
Protéines

- = Polymères d'acides aminés aux propriétés diverses qui assurent presque toutes les activités dans la cellule.



- Rôles principaux:
  - Structure,
  - Catalyse,
  - Transport,
  - Signal intra–et extracellulaire.
  - Réserve,
  - Mouvement,
  - Défense

Les amino acides: formule générale



Les aminoacides ont 3 caractères structuraux fondamentaux:

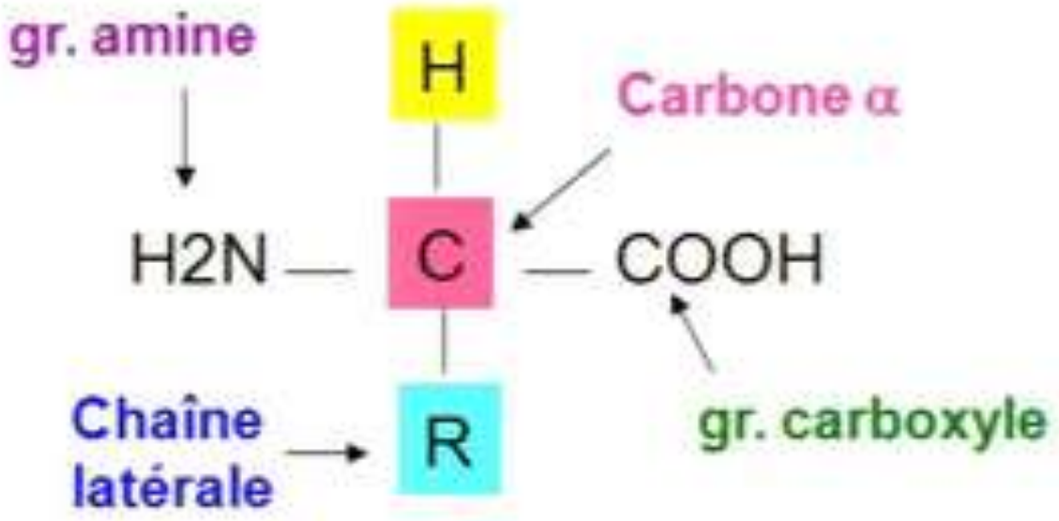
1= la configuration du C α: asymétrique + centre de chiralité

2= la fonction aminoacide: **-Ionisation**

-Formation de la liaison peptidique

3= la nature de la chaîne latérale

Les amino acides: formule générale



Cα: **asymétrique**
centre de chiralité

Les aminoacides ont 3 caractères structuraux fondamentaux:

1= la configuration du C α

2= la fonction aminoacide: **-Ionisation des groupements fonctionnels**

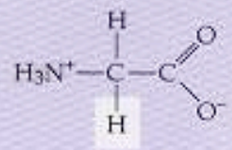
-Formation de la liaison peptidique

3= la nature de la chaîne latérale

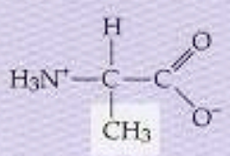
Radicaux

- **20 acides aminés essentiels subdivisés en différentes catégories en fonction de leurs propriétés physico-chimiques:**
  - **Radicaux <u>hydrophiles</u> (polaires : acide, basique)**
  - **Radicaux <u>neutres</u> (non polaires)**
  - **Radicaux <u>soufrés</u>.**

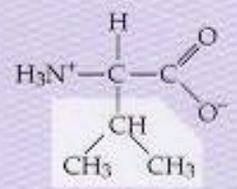
NON POLAIRES



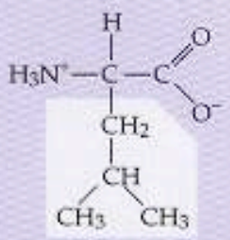
GLYCINE (Gly)



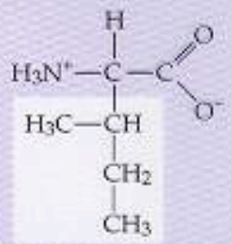
ALANINE (Ala)



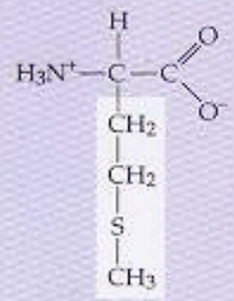
VALINE (Val)



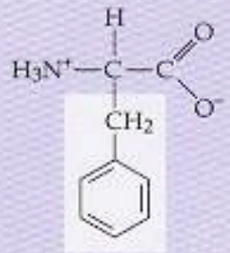
LEUCINE (Leu)



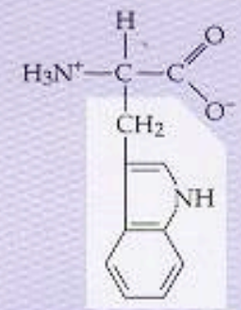
ISOLEUCINE (Ile)



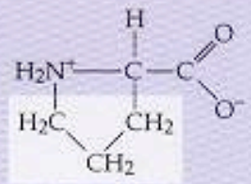
MÉTHIONINE (Met)



PHÉNYLALANINE (Phe)

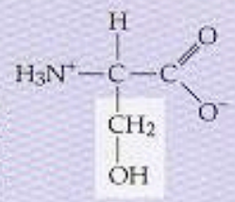


TRYPTOPHANE (Trp ou Try)

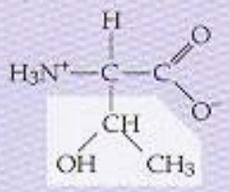


PROLINE (Pro)

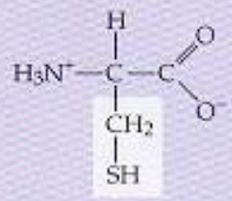
POLAIRES



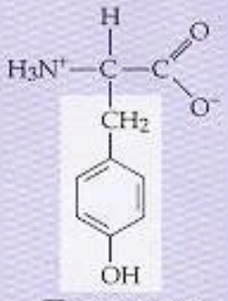
SÉRINE (Ser)



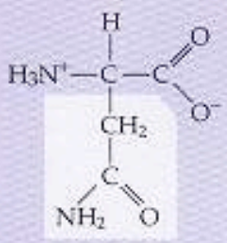
THRÉONINE (Thr)



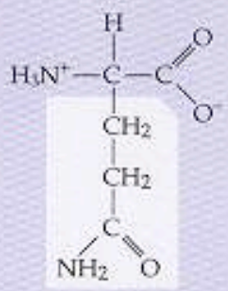
CYSTÉINE (Cys)



TYROSINE (Tyr)



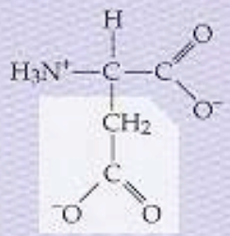
ASPARAGINE (Asn)



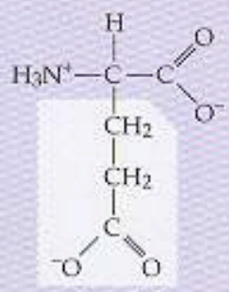
GLUTAMINE (Gln)

CHARGÉS

ACIDES

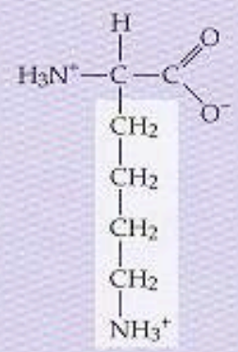


ACIDE ASPARTIQUE (Asp)

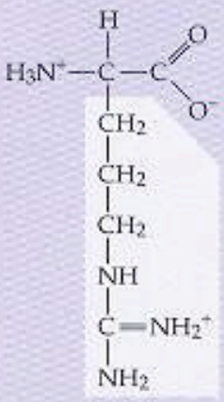


ACIDE GLUTAMIQUE (Glu)

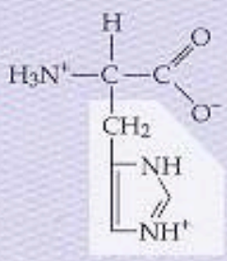
BASIQUES



LYSINE (Lys)

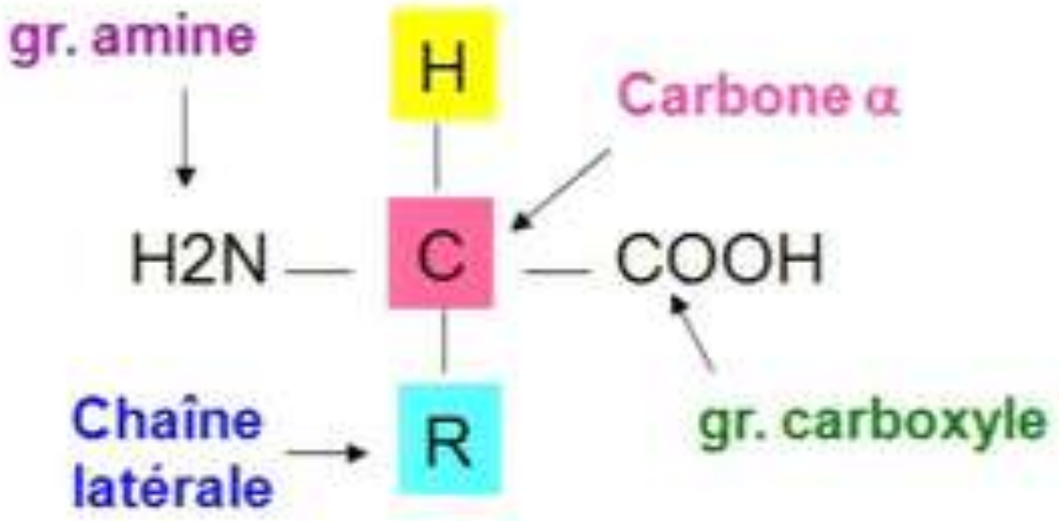


ARGININE (Arg)



HISTIDINE (His)

Les amino acides: formule générale



Cα: **asymétrique centre de chiralité**

Les aminoacides ont 3 caractères structuraux fondamentaux:

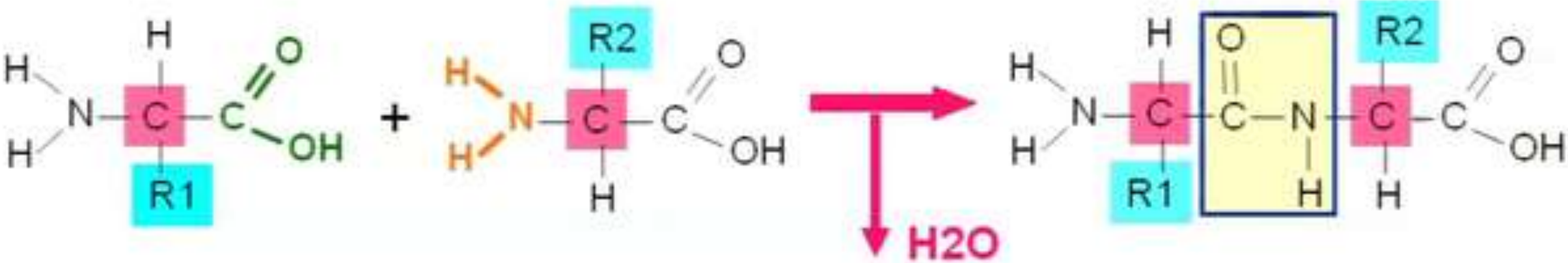
1= la configuration du C α

2= la fonction aminoacide: **-Ionisation des groupements fonctionnels**

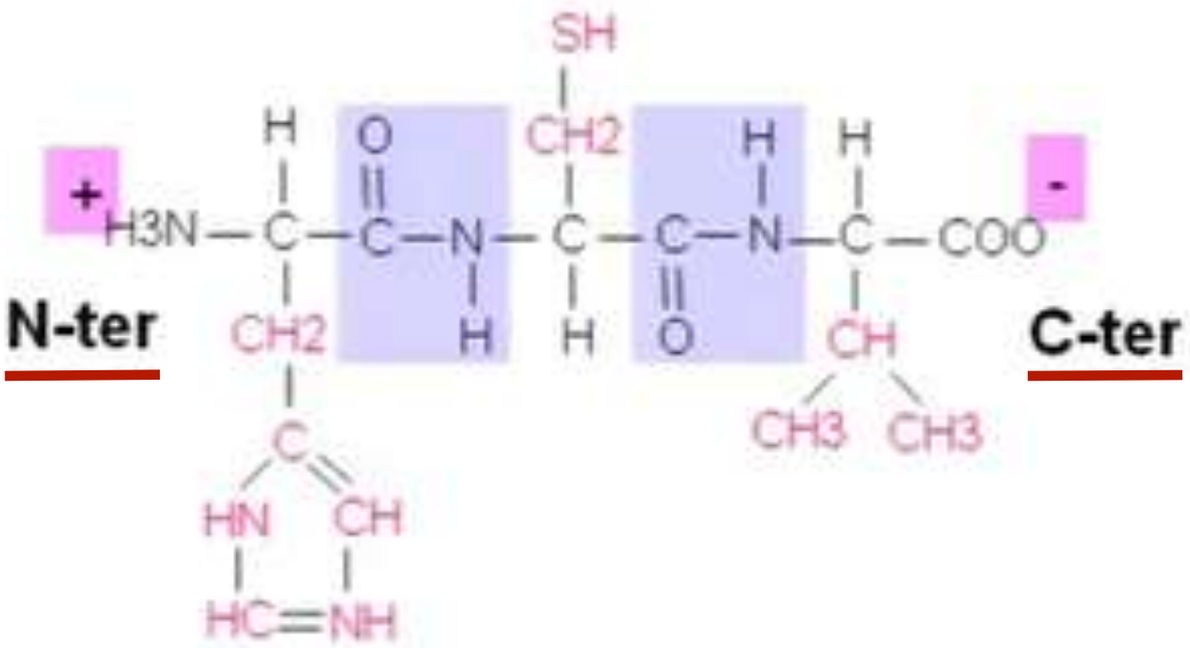
-Formation de la liaison peptidique

3= la nature de la chaîne latérale

La liaison peptidique est plane, rigide et polaire



polypeptide histidine-cystéine-valine



<u>Chaîne polypeptidique</u>:

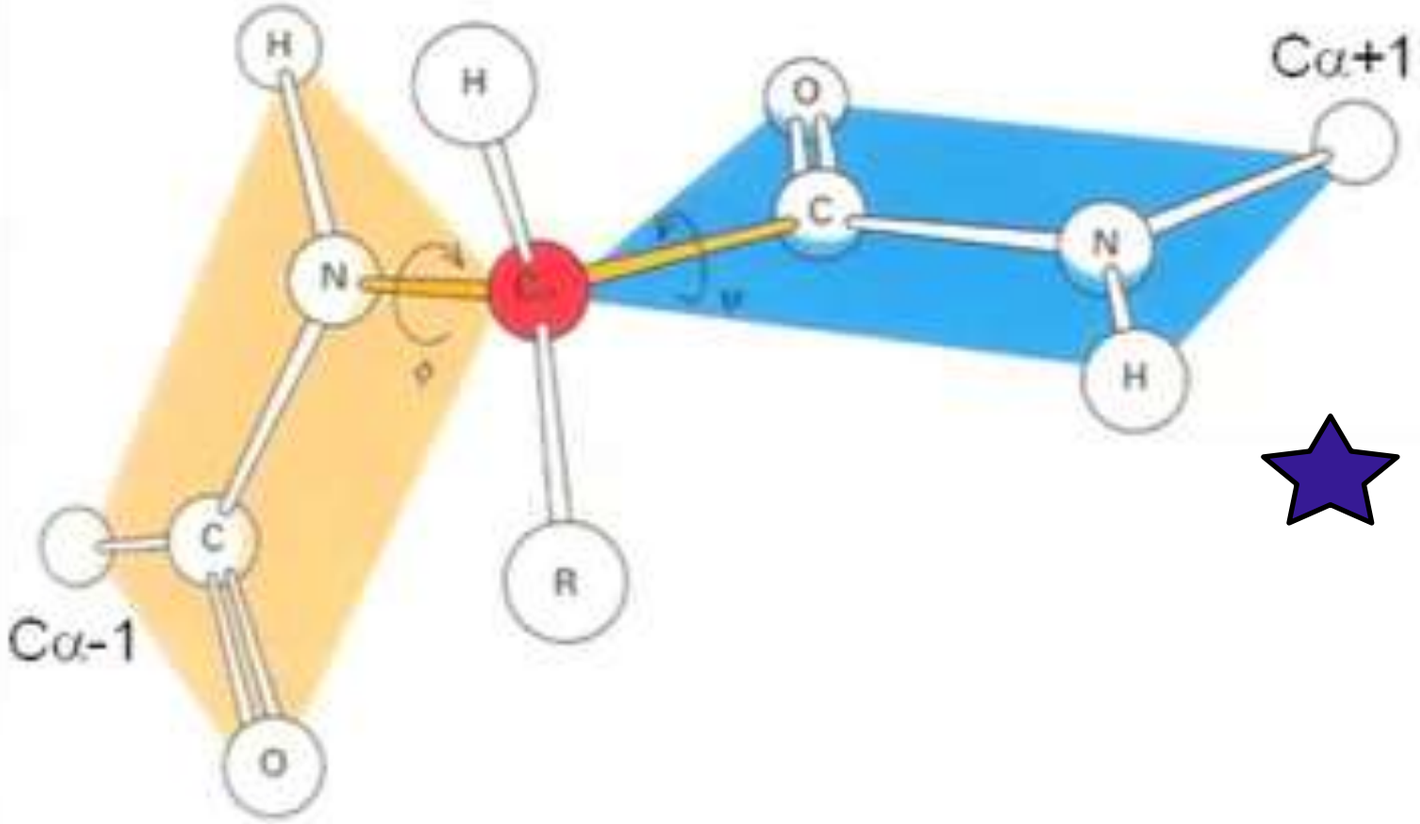
- <u>Orientée</u> et,

- <u>Polarisée</u>

(2 extrémités de la chaîne, 1 groupement NH3+ terminal libre, 1 groupement COO- libre).

La liaison peptidique est plane

Les 4 atomes de la liaison peptidique ainsi que Cα et Cα+1 sont dans le même plan



★ **Liaison peptidique présente deux caractéristiques essentielles qui conditionnent les <u>propriétés biologiques</u> des protéines:**

- **Structure <u>plane</u>**
- **<u>Rigide</u>.**

★ **Le <u>carbone asymétrique</u> (-NH2 et -COOH) offre une <u>rotation libre</u> autour de laquelle les radicaux pivotent librement.**

Hierarchisation de la structure des protéines

La structure des protéines est décomposée

caractérisé par

Gr fonctionnels:
ionisation
prop spécifiques

Struc primaire= séq des aa

conduit à

Struc secondaire= réarrang. régulier des aa dans la struc prim

conduit à

Struc tertiaire= forme 3D de la chaîne repliée

peut conduire à

Struc quaternaire= assembl de plusieurs s/u dans la protéines

Forme Native

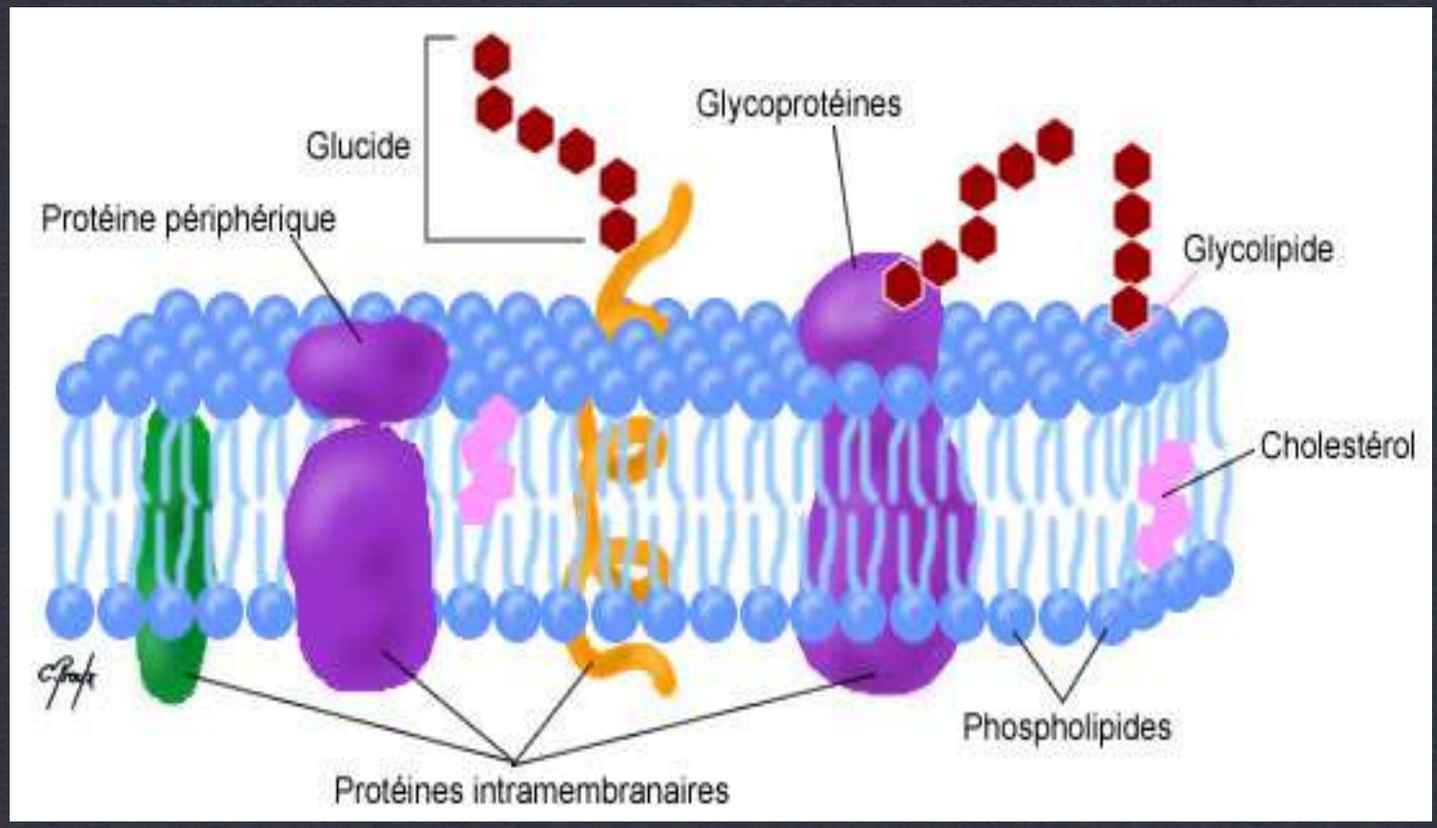
F. biologique
- Catalyse
- Protection
- Regulation
- Signal transduction
- Storage
- Structural
- Transport

- <u>Rotation</u> possible des aa autour des C, la <u>chaîne des aa</u> peut <u>se replier</u> et adopter une conformation tridimensionnelle, les <u>structures II</u> et <u>III</u>.

Fonctions et localisations

Deux catégories principales :

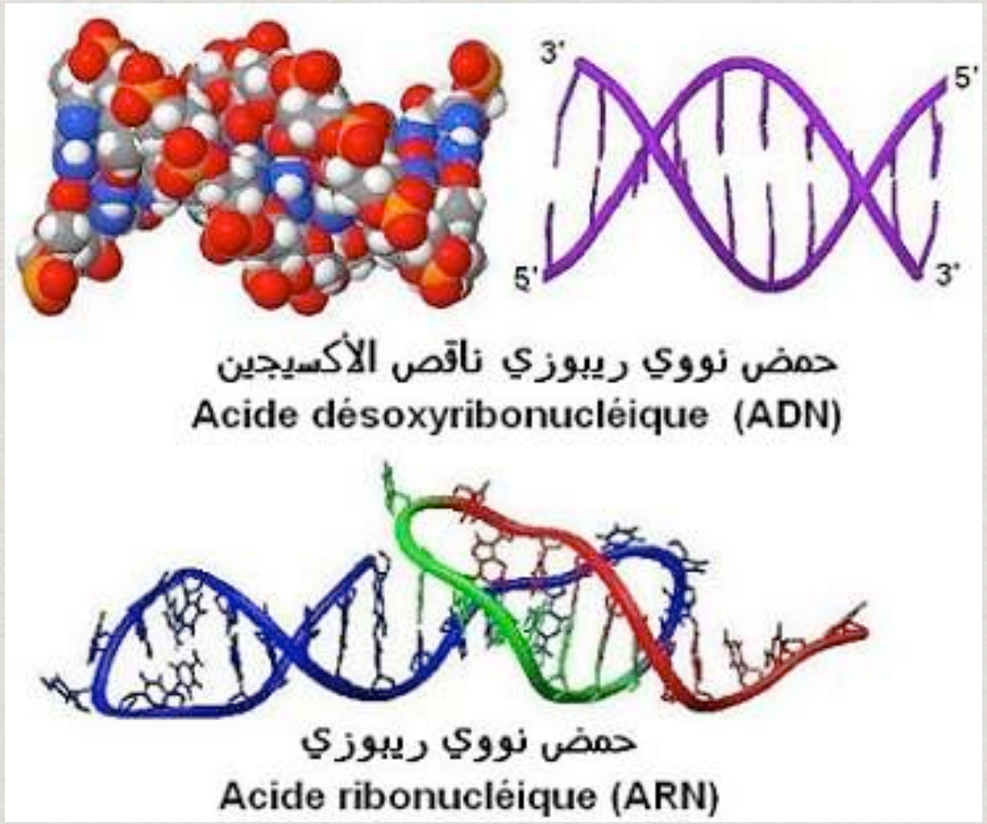
- Protéines de structure



- Protéines enzymatiques (= une enzyme a la même fonction qu'un catalyseur dans une réaction chimique et est hautement spécifique.

Acides nucléiques

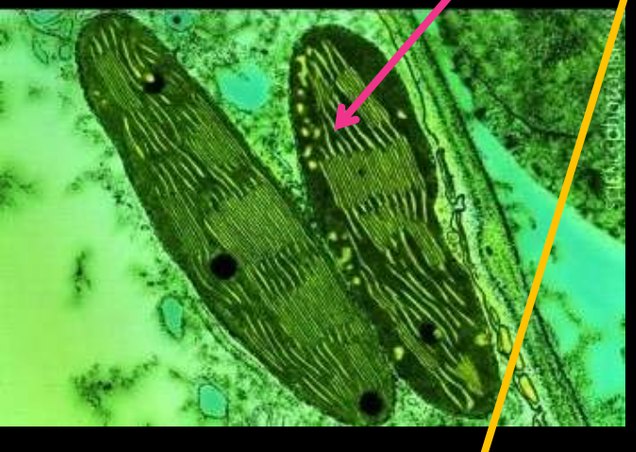
- = Polymères de nucléotides.
- Rôle principal:
  - Stockage,
  - Transmission de l'information génétique.
- Autres fonctions:
  - Structure
  - Catalyse

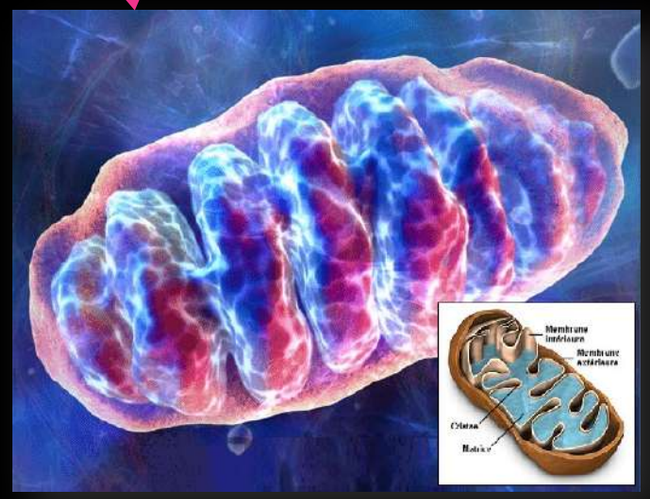


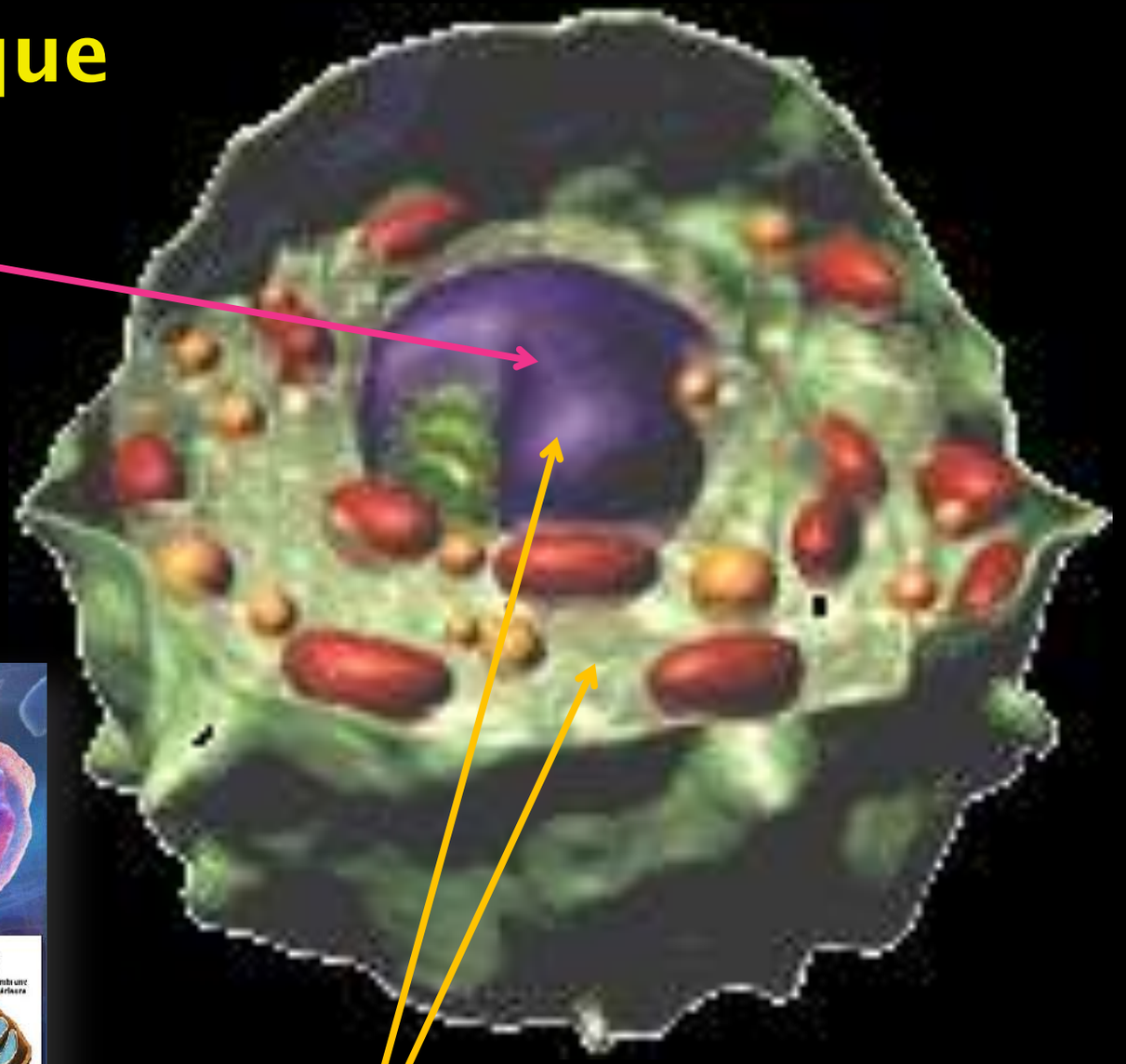
Les acides nucléiques

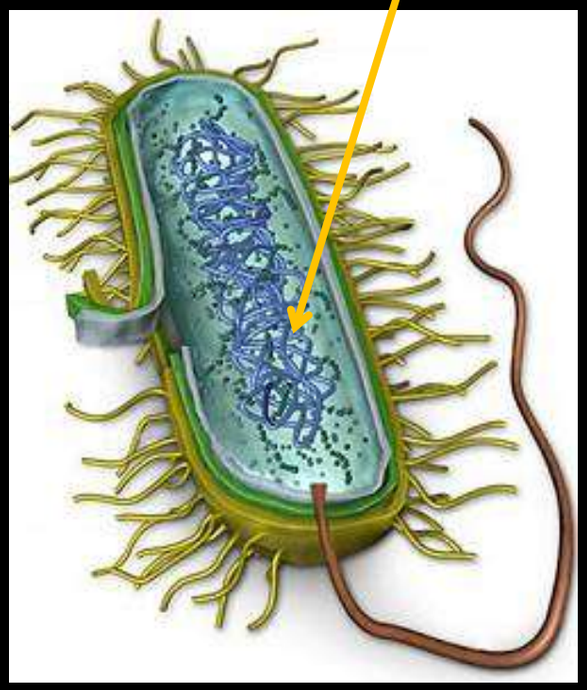
- **acide désoxyribonucléique**

ADN



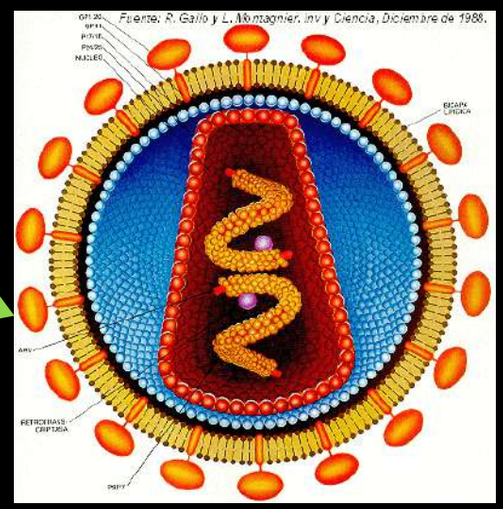






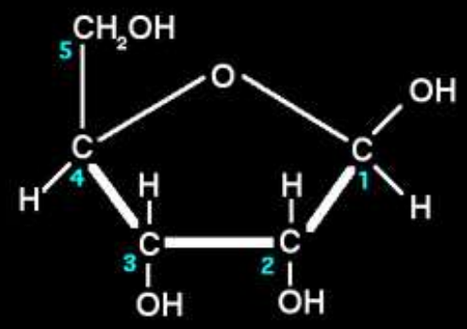
ARN

- **acide ribonucléique**



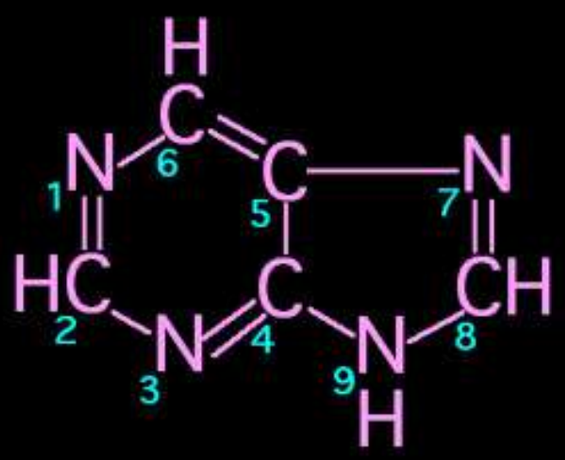
I- Structure des acides nucléiques

I-1- Molécules simples

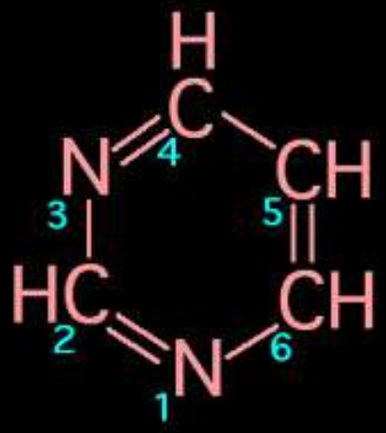


β-D-Ribose

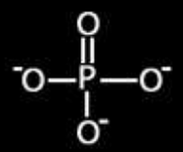
2-désoxy-β-D-Ribose



Purine

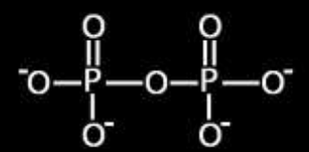


Pyrimidine

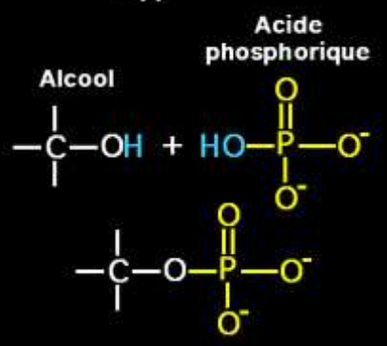


Phosphate inorganique = Pi

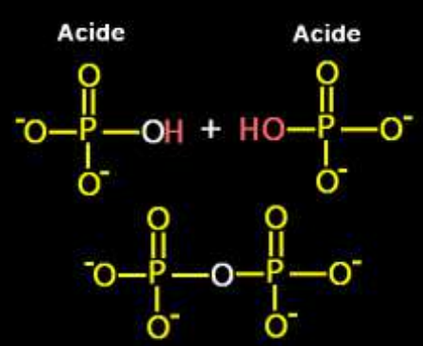
Phosphates



Pyrophosphate = PPi



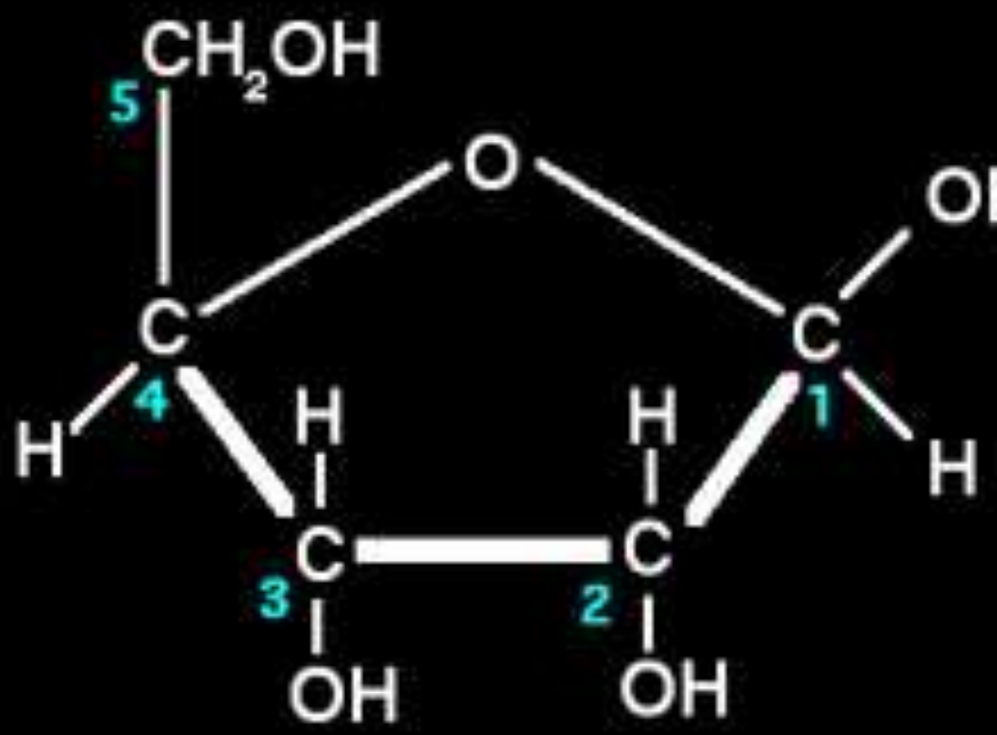
Liaison ester



Liaison anhydride d'acides

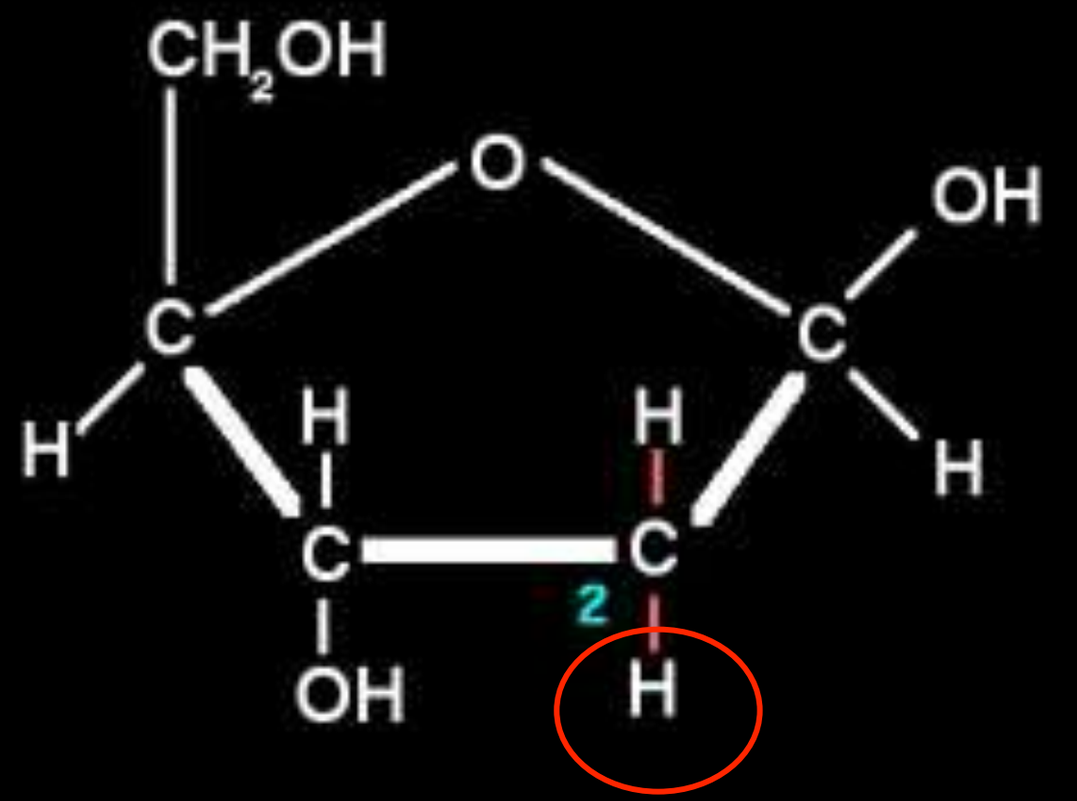
Sucres: Ribose, désoxyribose

Les carbones du ribose et désoxyribose sont numérotés : 1', 2', 3', 4' et 5' pour ne pas les confondre avec les atomes des bases.



β-D-Ribose

(ARN)

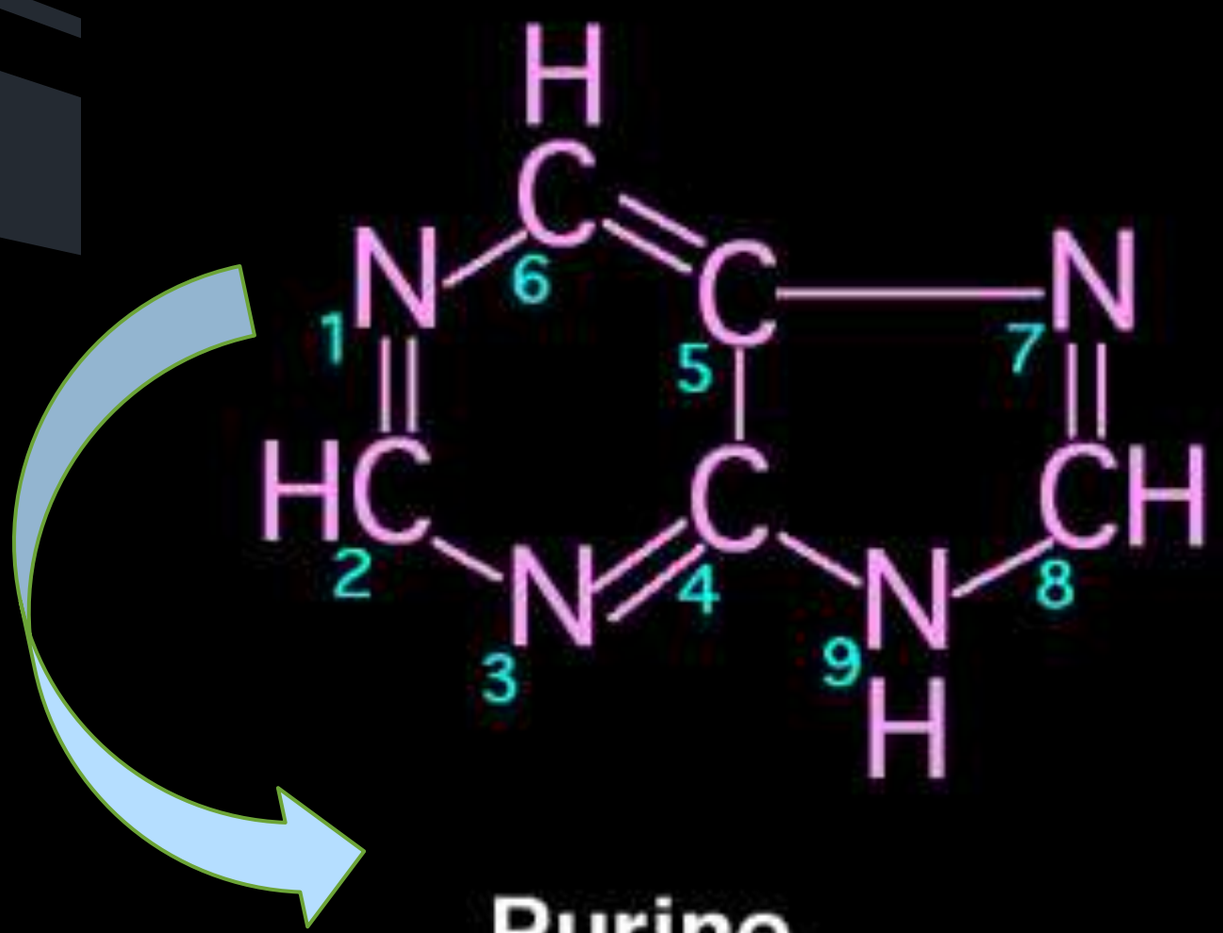


2-désoxy-β-D-Ribose

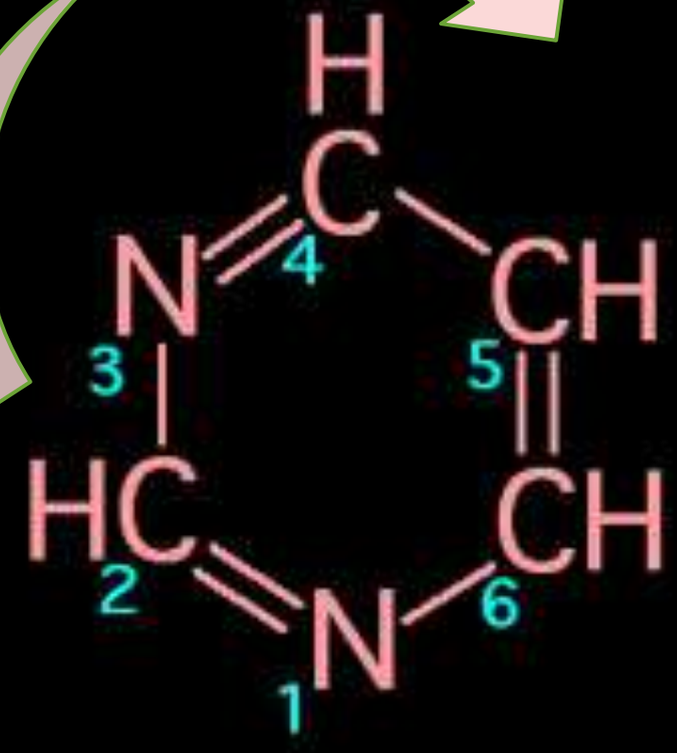
(ADN)

Bases azotées

Noyau purique, Noyau pyrimidique



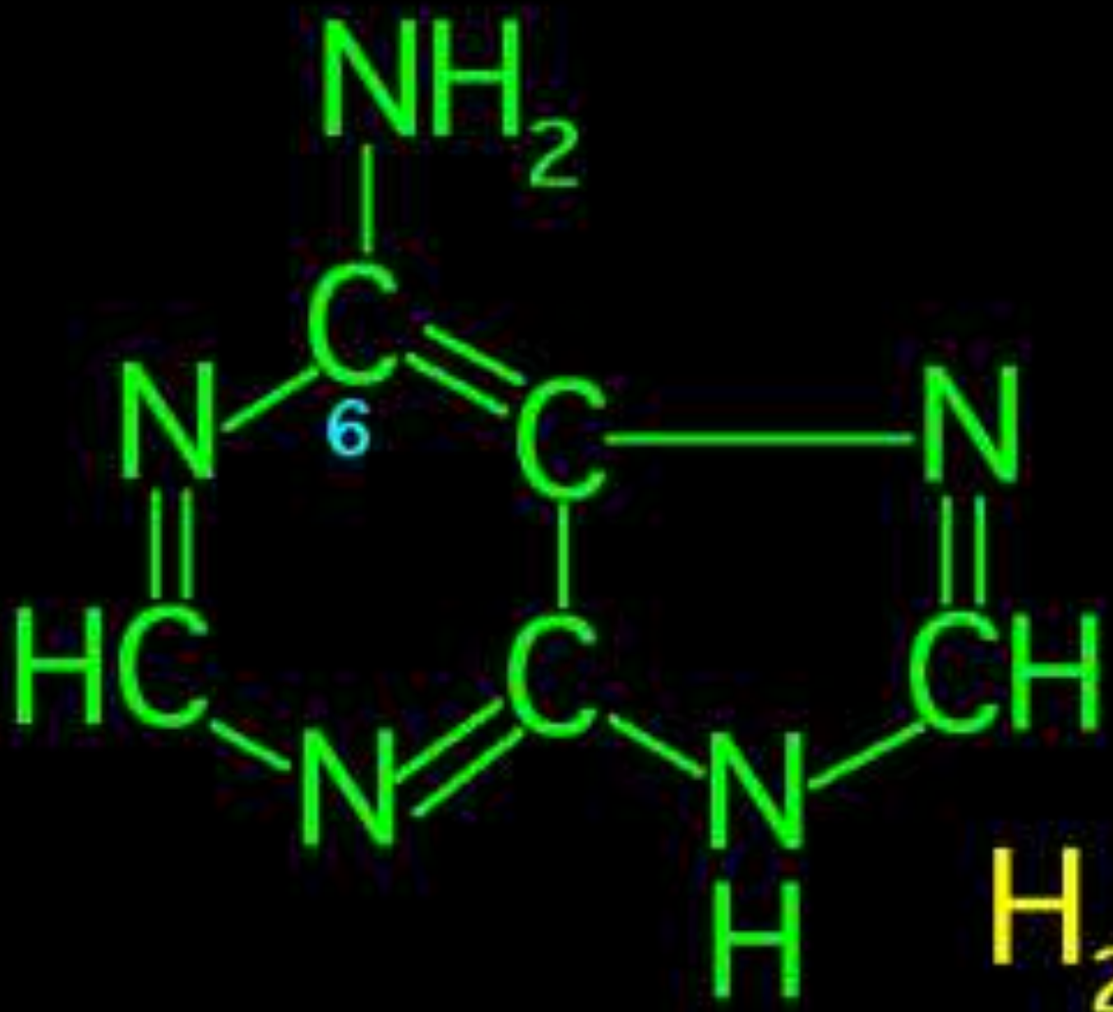
Purine



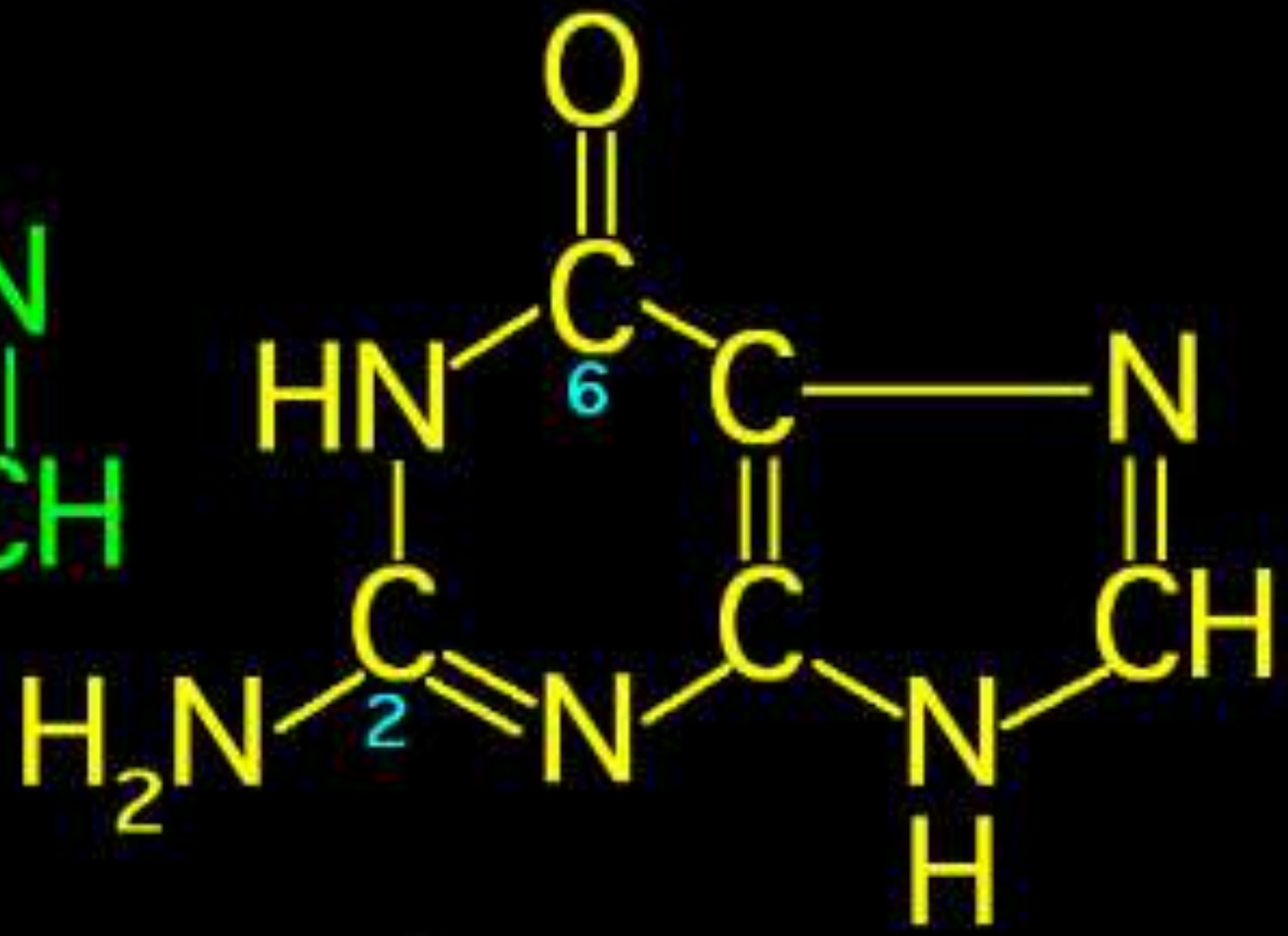
Pyrimidine

Adénine = 6-aminopurine.

Guanine = 2-amino-6-oxypurine.

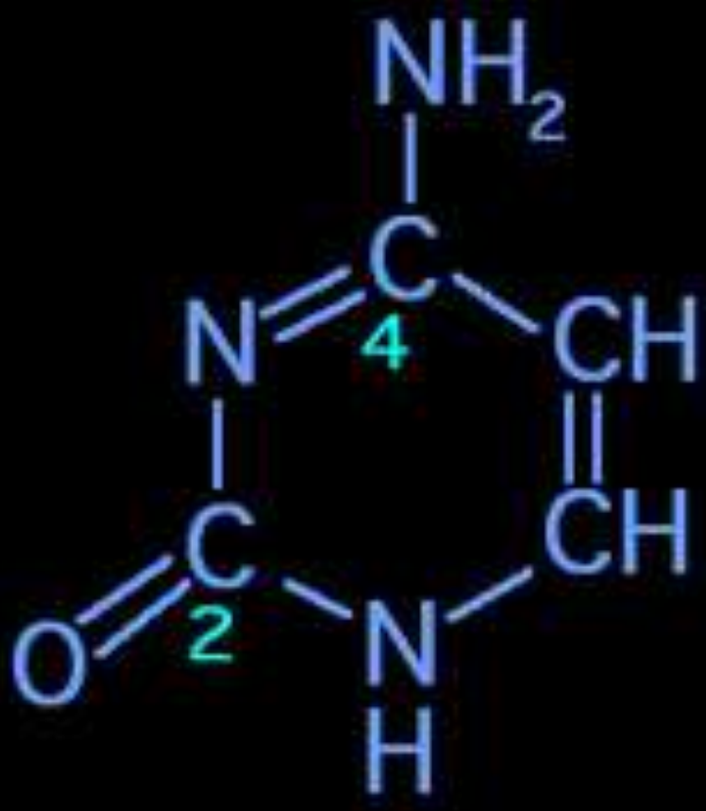


Adénine

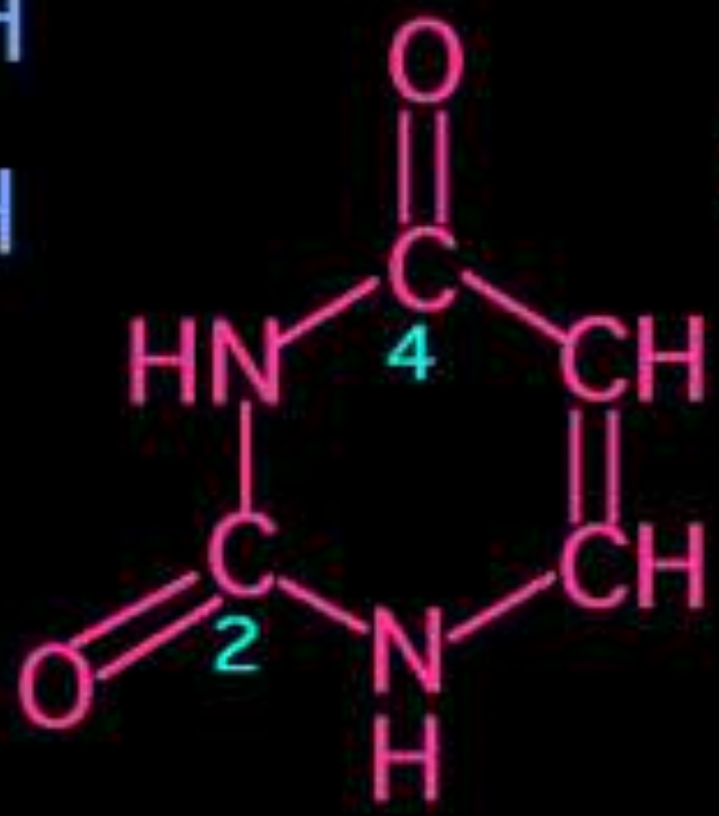


Guanine

Cytosine = 2-oxy-4-aminopyrimidine.
Uridine = 2, 4-dioxypyrimidine.
Thymidine = 2, 4-dioxy-5-méthylpyrimidine.



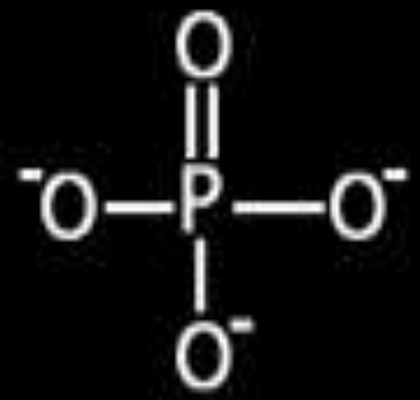
Cytosine



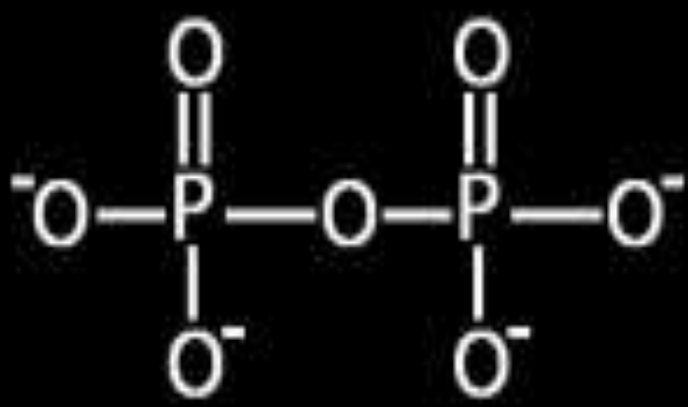
Uracile

Thymine

Phosphates



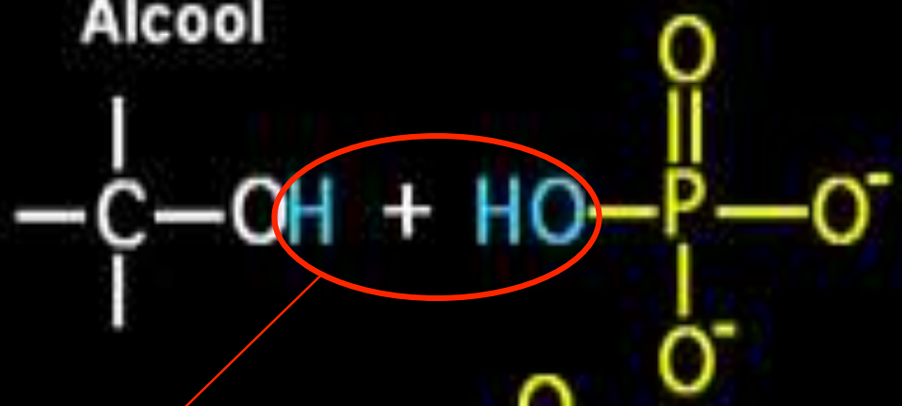
Phosphate inorganique = Pi



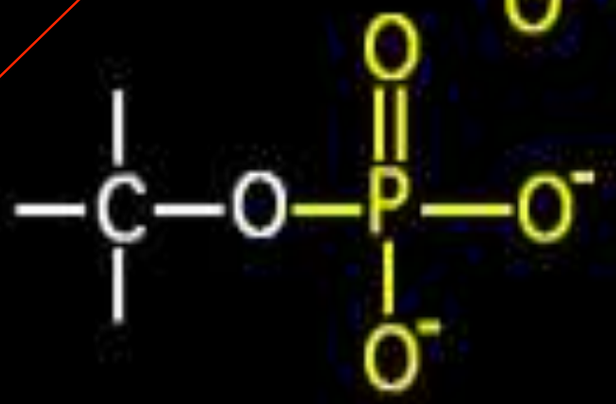
Pyrophosphate = PPi

Alcool

Acide phosphorique

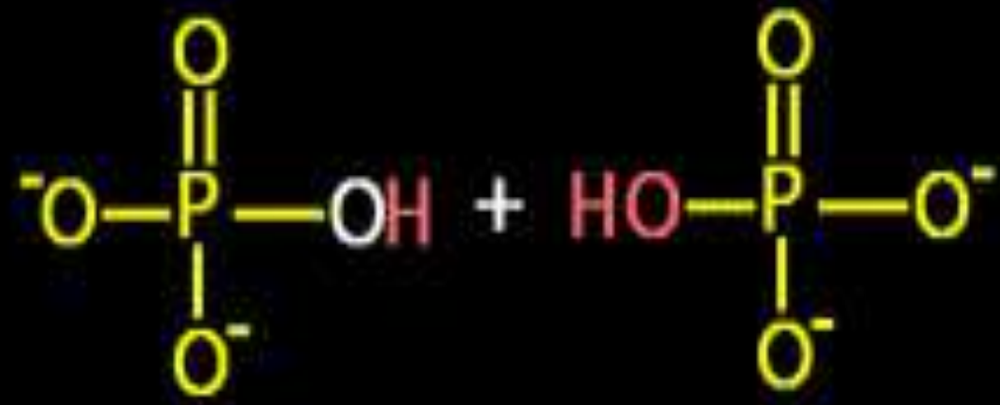


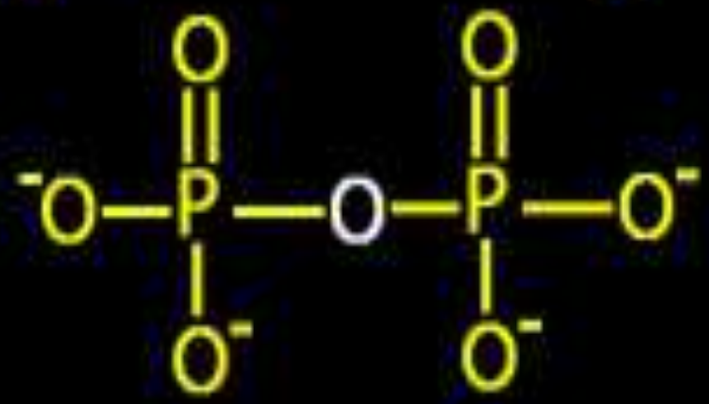
H2O



Liaison ester

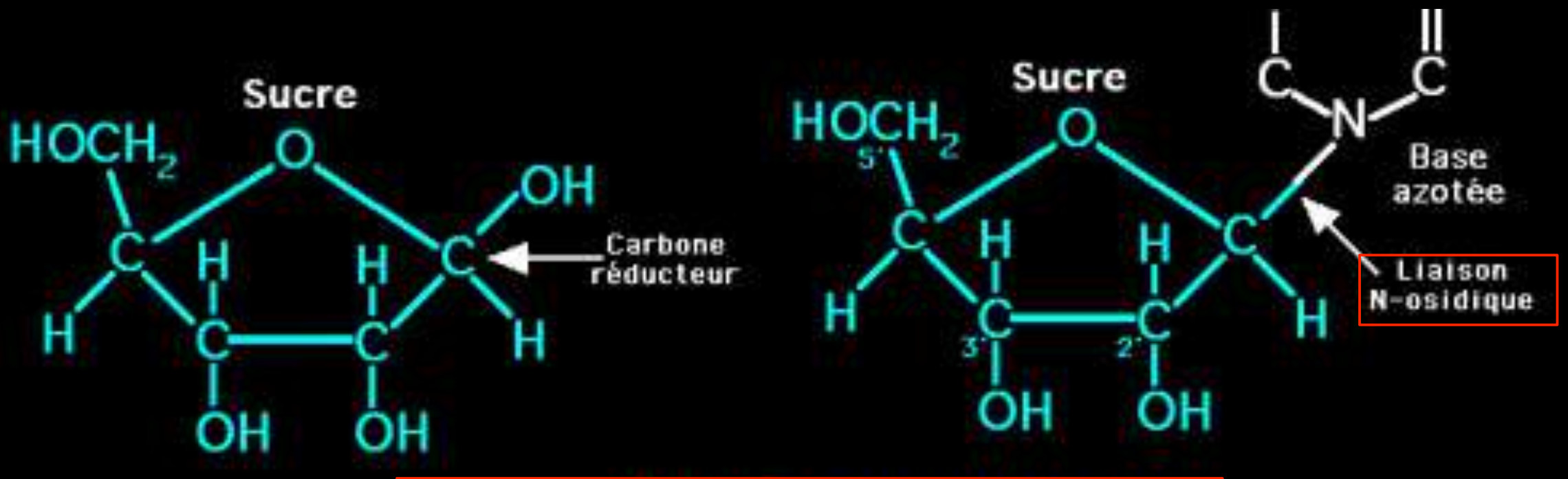
Acide





Liaison anhydride d'acides

Nucléosides

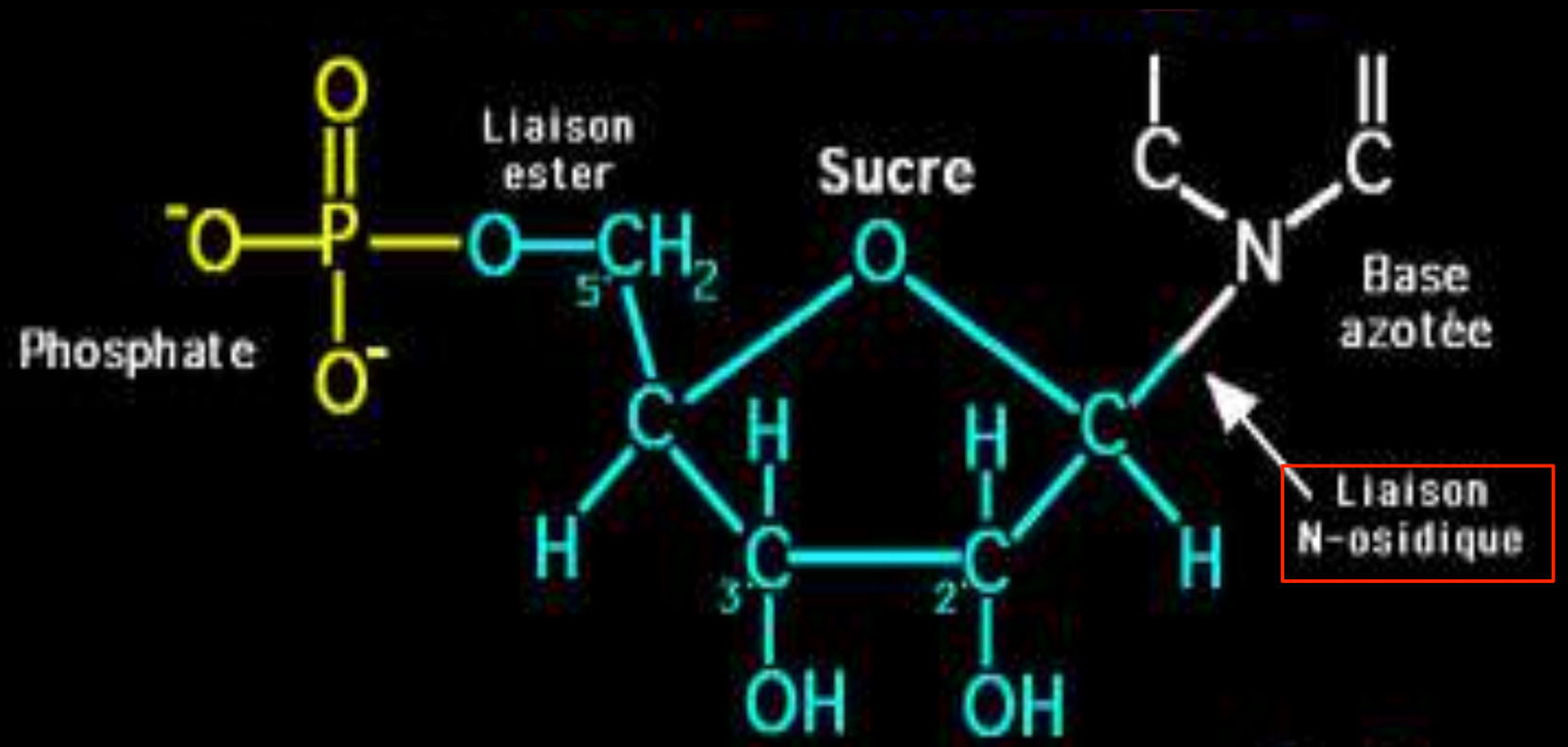


BASE + SUCRE = NUCLÉOSIDE

Dans chaque cas, les molécules de ribose et de désoxyribose sont liées aux bases par une liaison dite : **N-glycosidique** entre le **C-1** du glucide et **un** des atomes d'azote de la base.

- Si la base est **purique**, la liaison se fait avec le **N-9** de la base.
- Si la base est **pyrimidique**, la liaison se fait avec le **N-1** de la base.

Nucléotides

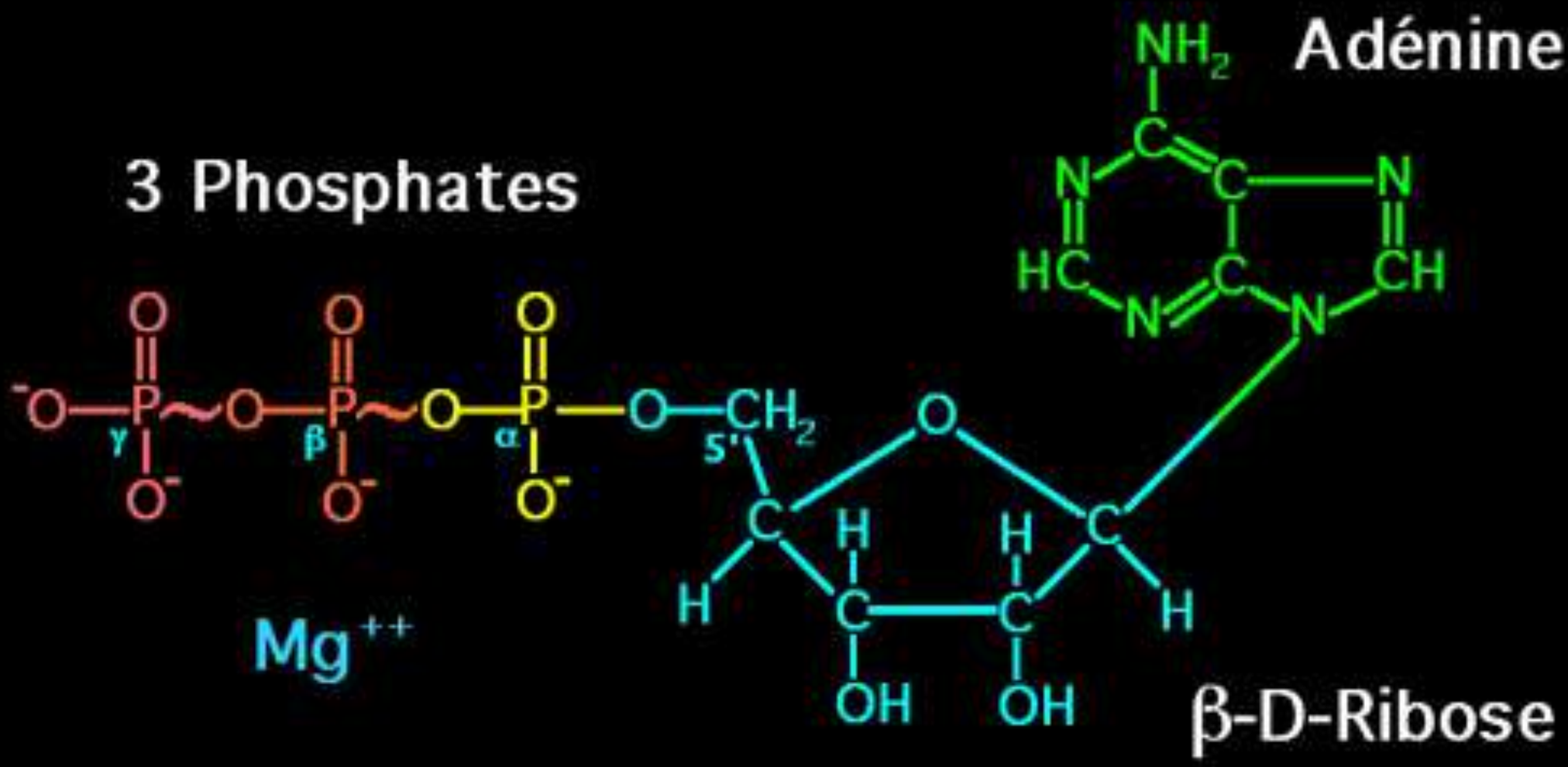


BASE + SUCRE + PHOSPHATE = NUCLÉOTIDE

Nomenclature des unités nucléotidiques

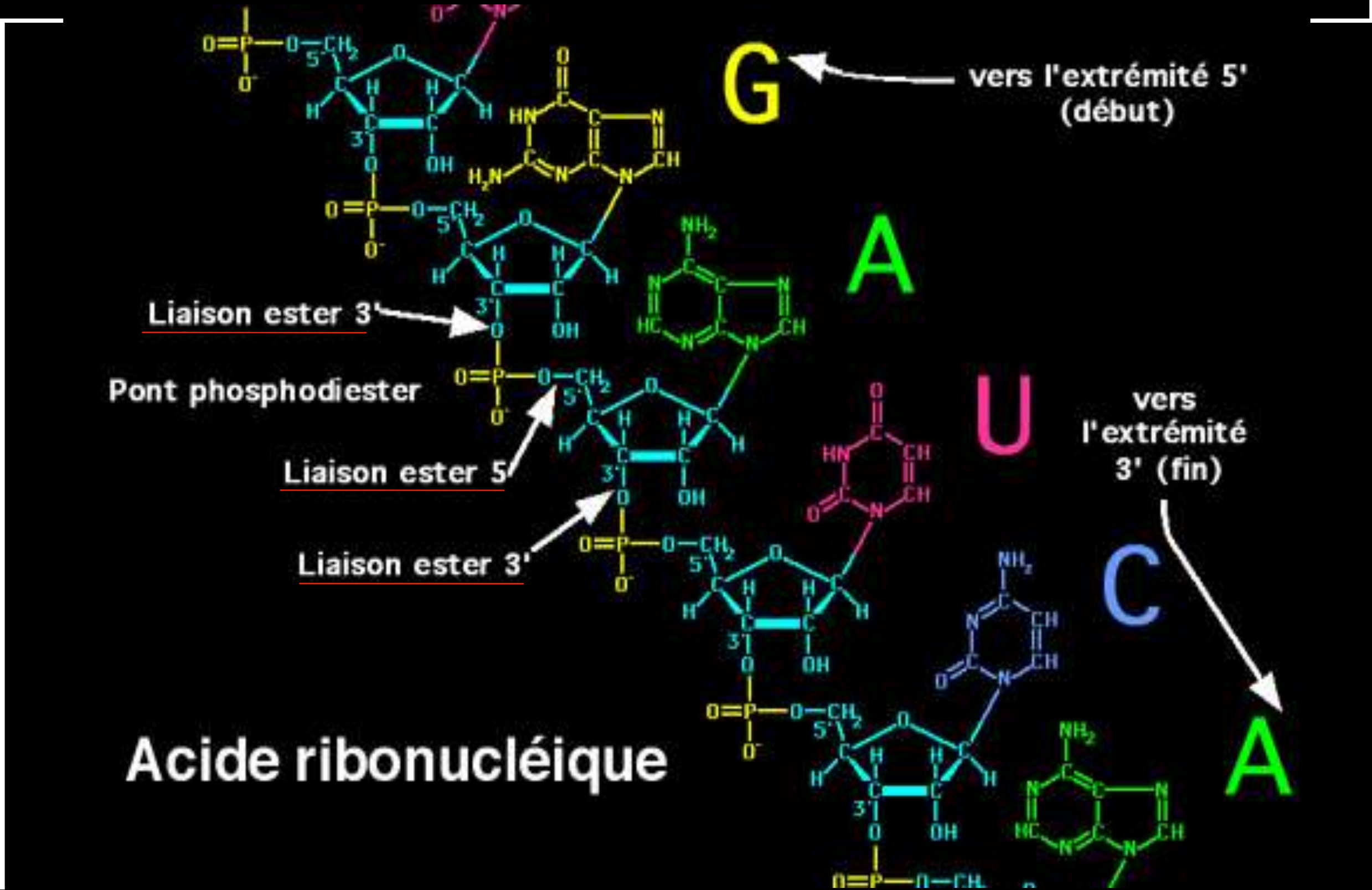
Bases	Nucléosides	Nucléosides 5'-mono, di, triphosphates	Unités nucléotidiques des acides nucléiques
A = Adénine	(désoxy-) adénosine	AMP, ADP, ATP dAMP, dADP, dATP	(d-) adénylate
G = Guanine	(désoxy-) guanosine	GMP, GDP, GTP dGMP, dGDP, dGTP	(d-) guanylate
C = Cytosine	(désoxy-) cytidine	CMP, CDP, CTP dCMP, dCDP, dCTP	(d-) cytidylate
U = Uracile	uridine	UMP, UDP, UTP	uridylate
T = Thymine	désoxy-thymidine	dTMP, dTDP, dTTP	d-thymidylate

L'adénosine triphosphate est un nucléotide composé. Sa structure comporte une **base azotée** (l'adénine), liée par une liaison **N-osidique** au **β-D-ribose** et trois **phosphates**.



Adénosine Tri Phosphate

L'ARN est un polymère de ribonucléotides puriques et pyrimidiques reliés par des ponts 3', 5'-phosphodiester



- Le **RNA natif** existe sous forme d'une molécule à un brin (**monocaténaire**) contrairement à l'ADN.
- Cependant, étant donné la séquence des bases complémentaires appropriées avec une polarité opposée, l'unique brin de RNA est capable de se replier sur lui-même pour former une épingle à cheveux (voir plus loin) ;
- il acquiert ainsi les caractéristiques de la **structure bicaténaire**.

Dans tous les organismes procaryotes et eucaryotes, 3 classes principales de molécules de RNA sont produites par transcription de l'ADN. On distingue selon leurs fonctions :

- rRNA (~ 80%) = acide ribonucléique ribosomique, qui participe à la structure des ribosomes ;
- tRNA (~ 15%) = acide ribonucléique de transfert, transporteur des acides aminés activés pour la traduction ;
- mRNA (~ 5%) = acide ribonucléique messager, produit de la transcription d'un gène qui porte l'information à traduire.

II-1-1- Différentes classes d'ARN

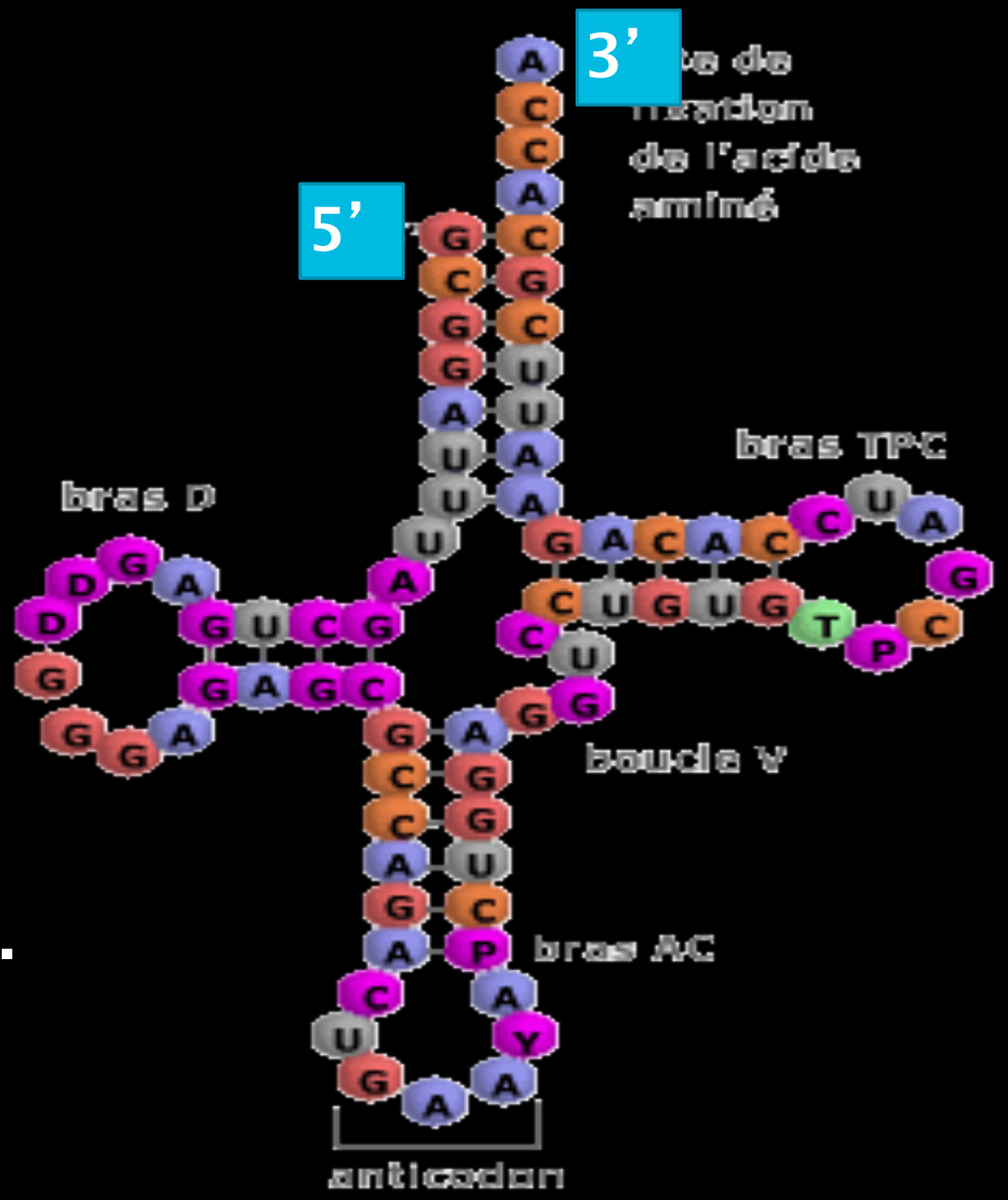
II-1-1-1- ARN messager

La classe de mRNA est la plus **hétérogène**.
L'ARN messager servant de matrice pour la synthèse des protéines, la taille de la molécule dépend de la longueur de la ou des chaîne(s) polypeptidique(s) pour laquelle il code.

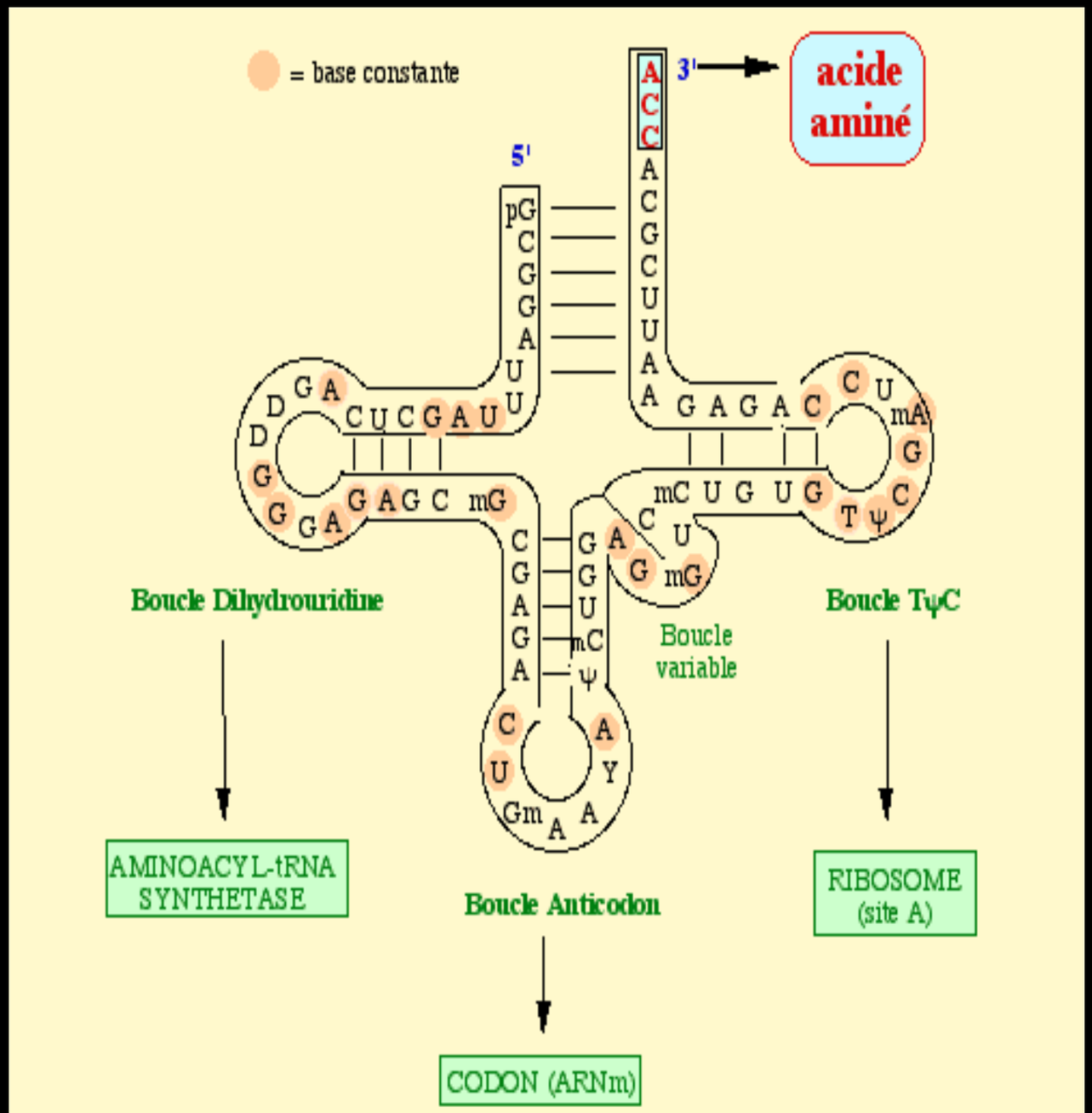
Les différents ARNm d'une cellule sont donc hétérogènes quant à la population de molécules qui les représentent et quant à leur séquence nucléotidique.
Les mRNA sont monocaténaires et complémentaires du brin moule de leurs gènes structuraux respectifs

II-1-1-2- ARN de transfert

- Elles servent de molécules adaptatrices pour la traduction en acides aminés spécifiques de l'information contenue dans la séquence nucléotidique du mRNA ; les codons mRNA ne reconnaissant pas directement les acides aminés qu'ils déterminent.



Il existe au moins 20 molécules de tRNA dans chaque cellule, une pour chacun des 20 acides aminés requis pour la synthèse des protéines.



- Même si les tRNA diffèrent les uns des autres par leurs séquences nucléotidiques, ils possèdent plusieurs caractéristiques en commun, notamment une **conformation tridimensionnelle** repliée ressemblant à une **feuille de trèfle.**

- La séquence nucléotidique de toutes les molécules de tRNA (structure I^{aire}) permet un vaste repliement dont la cohésion est assurée par **l'appariement des bases complémentaires** entre certains des résidus nucléotidiques de la même chaîne (structure II^{aire}).

II-1-1-3- ARN ribosomique

- Les ARN d'un ribosome sont appelés ARN ribosomiques (ou ARNr) et, comme les ARNm, ils sont transcrits à partir d'un des brins d'un gène.
- Les ARNr ne portent pas d'information, mais ils sont capables de reconnaître et de s'unir à d'autres molécules, d'apporter un support structural et de catalyser la réaction chimique permettant de réunir les acides aminés.

Dans tous les organismes procaryotes et eucaryotes, 3 classes principales de molécules de RNA sont produites par transcription de l'ADN. On distingue selon leurs fonctions :

- rRNA (~ 80%) = acide ribonucléique ribosomique, qui participe à la structure des ribosomes ;
- tRNA (~ 15%) = acide ribonucléique de transfert, transporteur des acides aminés activés pour la traduction ;
- mRNA (~ 5%) = acide ribonucléique messager, produit de la transcription d'un gène qui porte l'information à traduire.

Eléments minéraux

- **- Les macro-éléments**

- **2 types :**
- **<u>Cations</u> = ions chargés positivement : Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}**
- **<u>Anions</u> = ions chargés négativement : Cl^{-}, PO_4^{3-} (surtout HPO_4^{2-} et $H2PO_4^{-}$), HCO_3^{-}, SO_4^{2-}**
- **On distingue classiquement :**
- **<u>Eléments majeurs</u> :**
- **C, H, O, N (P, S) des molécules organiques ;**
- **P, S, Na, Cl, Mg, K, Ca des sels minéraux ;**
- **<u>Oligoéléments</u>**

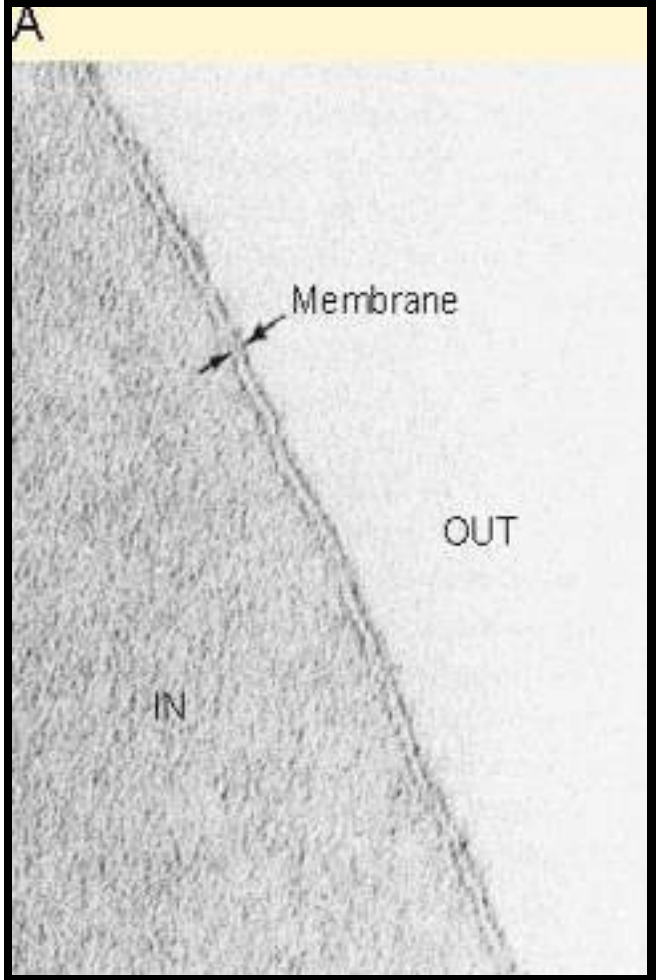
- **= Eléments présents en <u>très petites quantités</u> dans l'organisme (cuivre, du cobalt, du manganèse, du zinc, du fer, du fluor, du silicium, du molybdène, du chlore...)**

Chapitre II

La membrane plasmique

Pr. Boutaïna BELQAT

I- Définition



- = **membrane biologique** très fine (75 Å de diamètre), de structure asymétrique, dont la fonction fondamentale :
- délimiter le milieu intracellulaire,
- le maintenir constant et,
- le séparer du milieu extracellulaire.

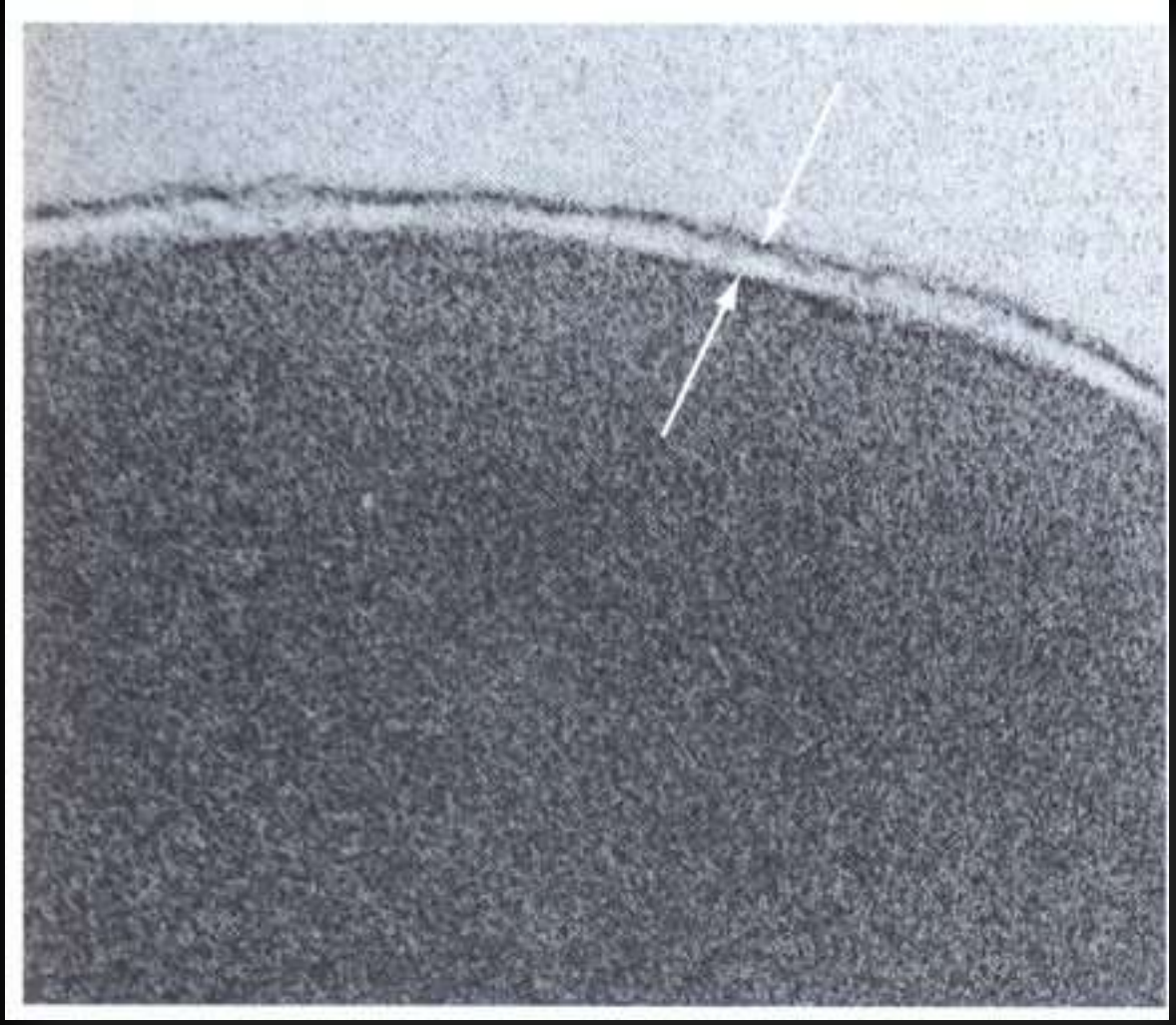


Figure 1. Aspect trilamellaire des membranes.
Micrographie électronique montrant la structure en trois assises

II- Isolement des membranes plasmiques et composition chimique

- L'isolement des membranes plasmiques par les techniques d'ultracentrifugation ne permet pas d'en étudier la composition biochimique avec précision à cause de la présence de débris d'organites.
- Les **hématies** sont utilisées, comme matériel d'étude, en raison de la simplicité de leur structure; ils sont dépourvus de noyau et d'organites cytoplasmiques.

II-1- Isolement des membranes des érythrocytes

Globules rouges humains qui sont le plus employés (collectés en grandes quantités par les banques du sang).

-Lavage des globules rouges dans une solution saline isotonique (Nacl 9‰, tamponné à pH 7,0 ou légèrement alcalin),

- Centrifugation

- Remise en suspension du culot de cellules ainsi obtenu dans un milieu hypotonique (solution tamponnée de Nacl à 5‰ ou moins).

II-1- Isolement des membranes des érythrocytes

- Les globules gonflent puis 15 secondes après le début de ce choc osmotique, de petits trous de 200 à 300 Å de diamètre se font dans la membrane plasmique.

- Dans ces conditions le hyaloplasme riche en hémoglobine sort des globules et se dilue dans le milieu hypotonique extracellulaire; les globules se vident ainsi de leur contenu. C'est le phénomène d'hémolyse.

- Après cette hémolyse les trous se referment et par centrifugation et lavages successifs on sédimente un culot de membranes plasmiques appelées **fantômes de globules rouges**

Équilibre

Entrée massive

Sortie massive

Isolement des membranes des érythrocytes

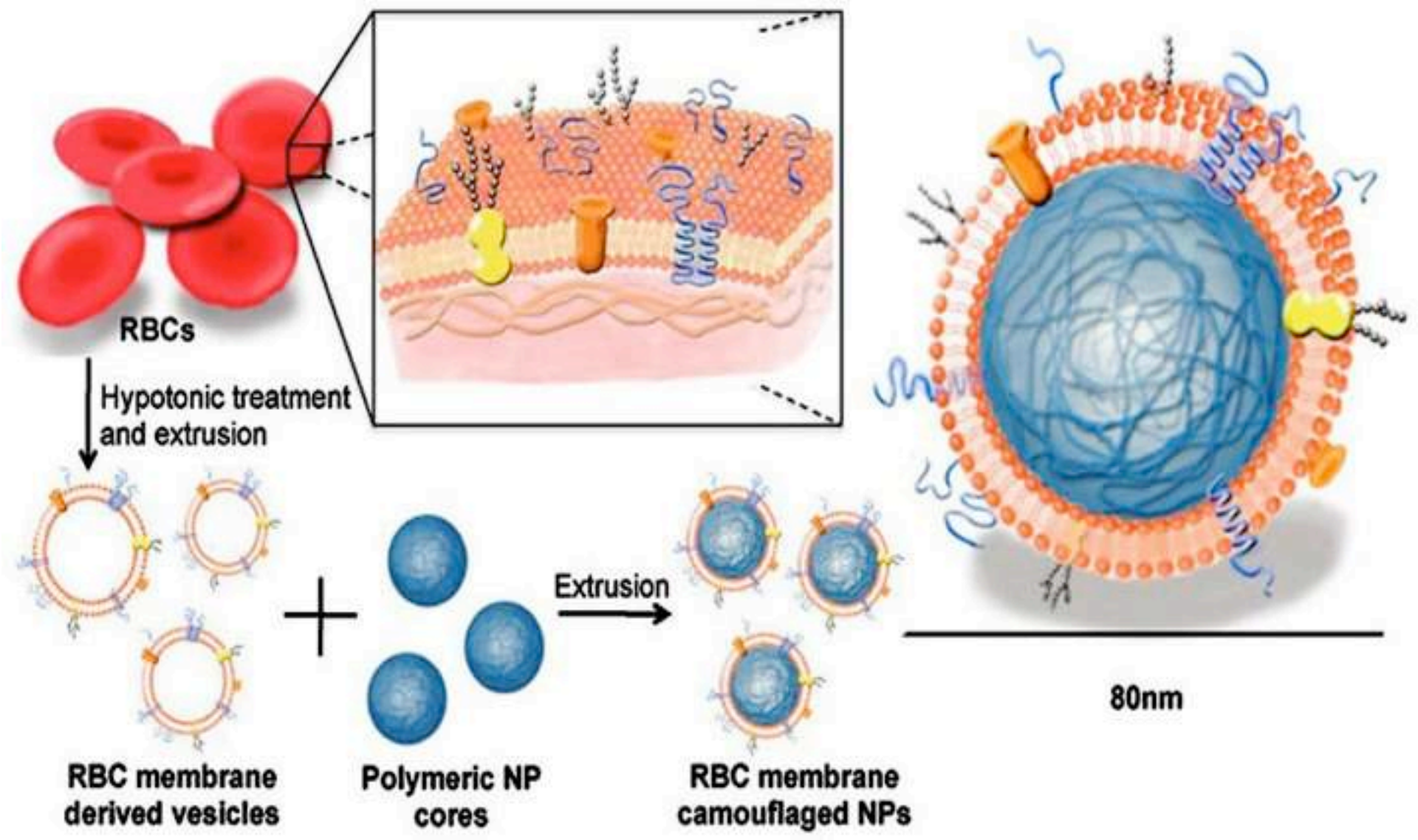
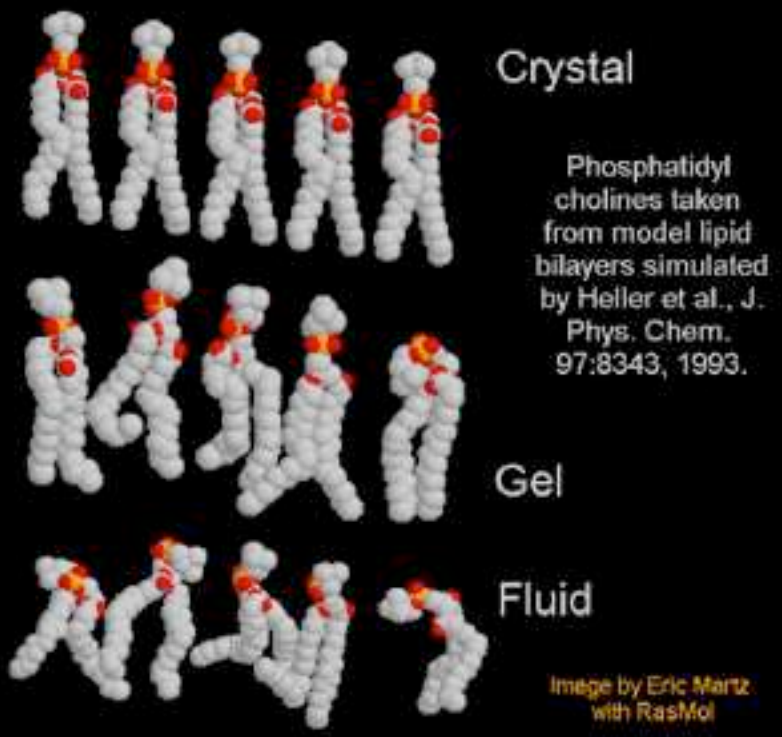


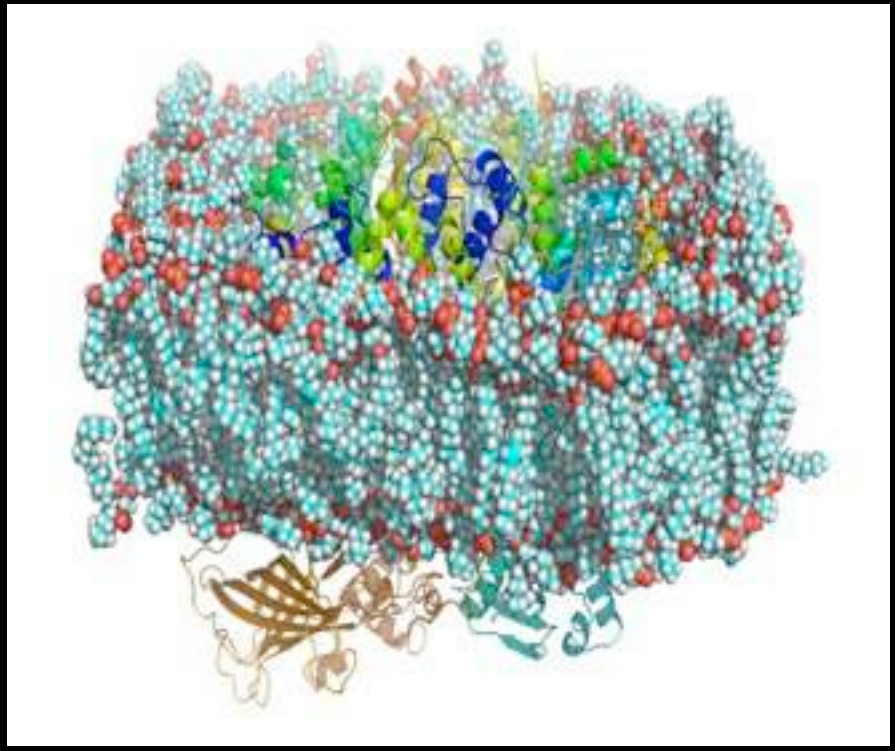
Figure 2. Isolement et observation de membranes plasmiques de globules rouges.

II-2- Analyse chimique des membranes plasmiques

- 40% de lipides (phospholipides, glycolipides…)

- 60% de protéines (dont les glycoprotéines)

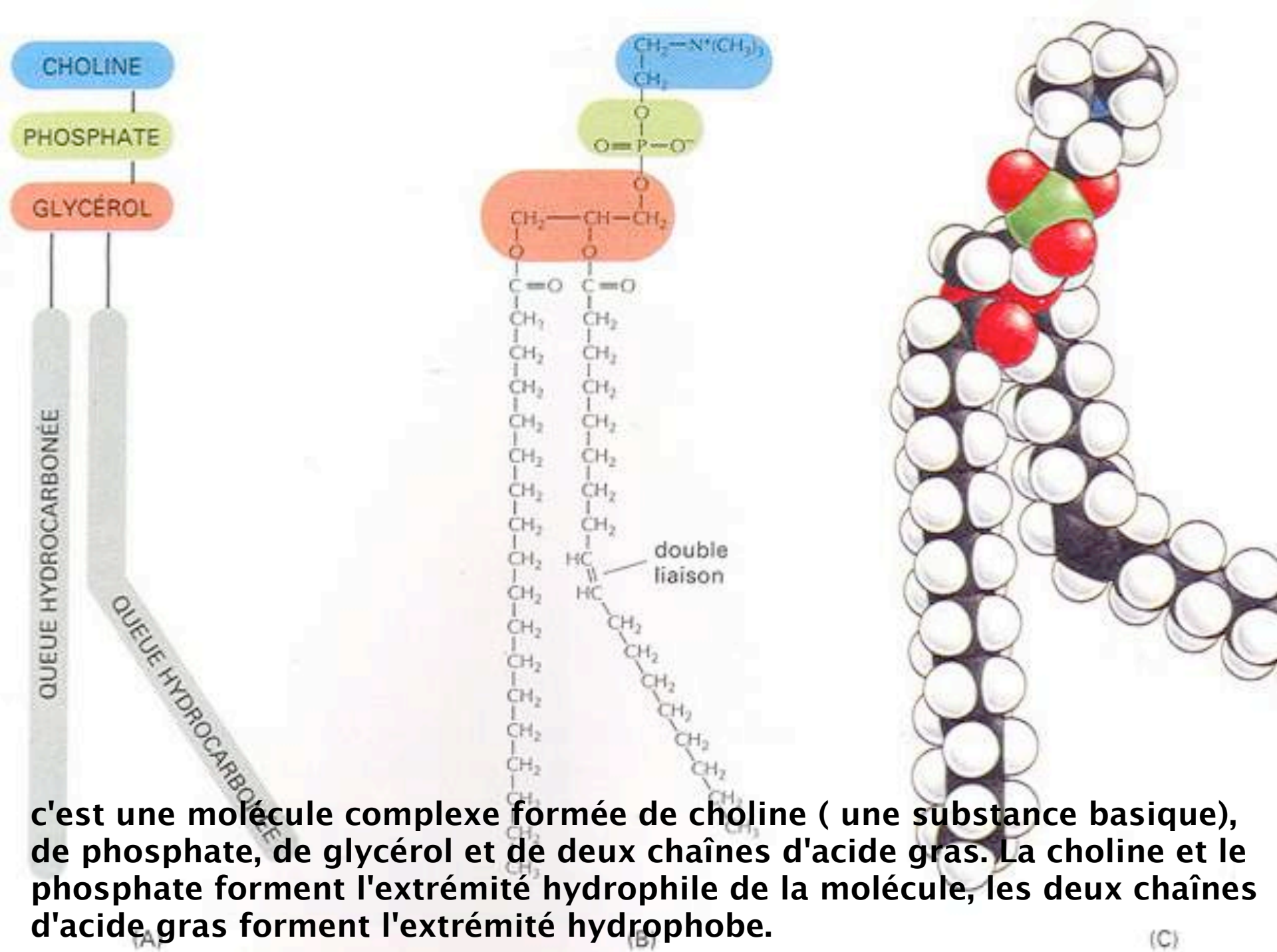




II-2-1- Les lipides

- Ce sont les constituants des corps gras (= combinaison d'alcools et d'acides gras).
- Les lipides membranaires sont **amphiphiles**:
- un **pôle hydrophile** (extrémité soluble dans l'eau) et ,
- un **pôle hydrophobe** (extrémité formée d'atomes de carbone et d'hydrogène, insoluble dans l'eau).

Les lipides sont essentiellement des lipides phosphorés ou **phospholipides** et du cholestérol en proportions variables suivant les types cellulaires et les espèces étudiées.



c'est une molécule complexe formée de choline (une substance basique), de phosphate, de glycérol et de deux chaînes d'acide gras. La choline et le phosphate forment l'extrémité hydrophile de la molécule, les deux chaînes d'acide gras forment l'extrémité hydrophobe.

II-2-2- Les protéines membranaires

- Importantes par leur taille (30 à 50 fois plus volumineuses que les lipides; PM compris généralement entre 20000 et 215000),
- elles représentent 50% de la masse de la membrane.
- Elles n'ont pas de pôle, mais deux **extrémités hydrophiles**.
- Tout au long de la protéine alternent des zones hydrophiles et hydrophobes en fonction de la nature des acides aminés qui les constituent.

III- Organisation moléculaire

- E. Corter et F. Grendel supposèrent que les membranes cellulaires étaient composées d'une **double couche de molécules lipidiques.**
- Ils firent éclater des globules rouges et séparèrent l'hémoglobine des membranes.
- Puis ils effectuèrent une dissolution des lipides membranaires dans l'acétone.
- Quand on mélangeait cette préparation avec de l'eau, les lipides remontaient à la surface et s'étalaient en une pellicule d'une seule épaisseur de molécules.
- La surface de cette monocouche lipidique correspondait au double de la surface des membranes plasmiques des globules rouges utilisés.

les lipides de la membrane plasmique forment une couche bimoléculaire.

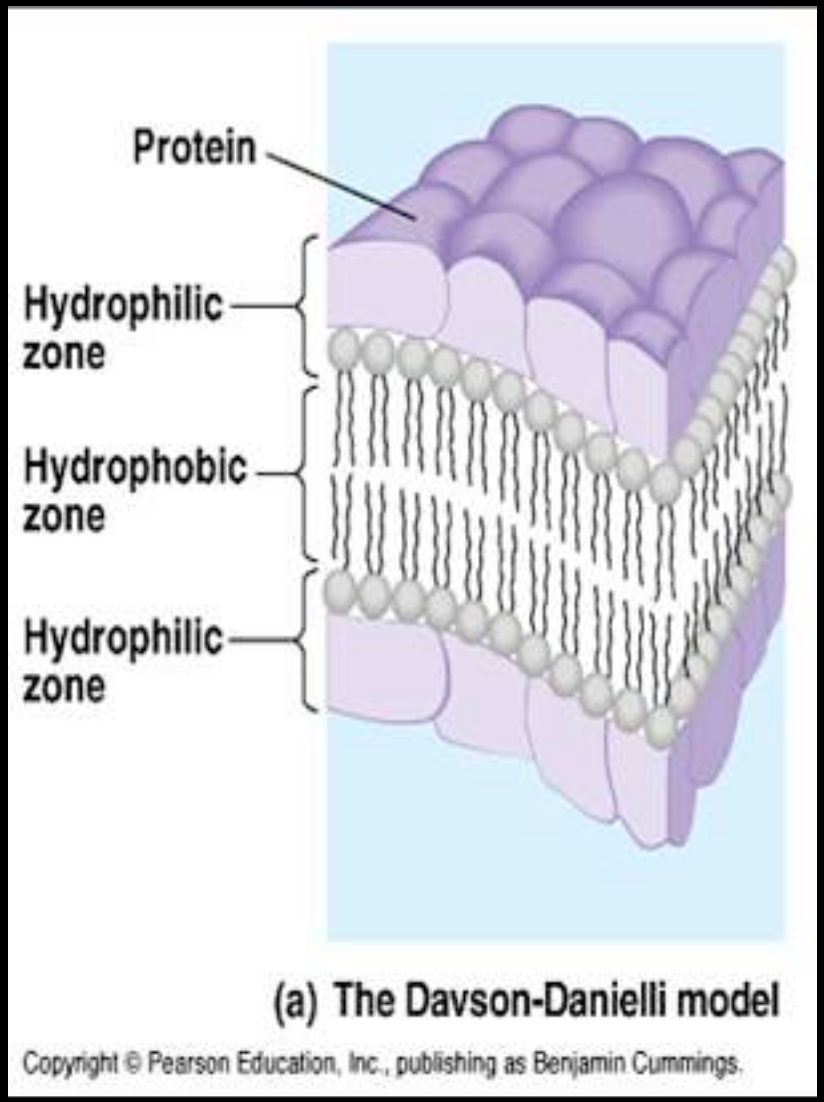
Surface = S

Surface = 2S

Membrane plasmique: double couche de molécules lipidiques.

acétone

Modèle de Davson et Danielli (1935)



- Les membranes cellulaires seraient composées :
  - d'une double couche de lipides encadrée,
  - par deux couches de protéines.

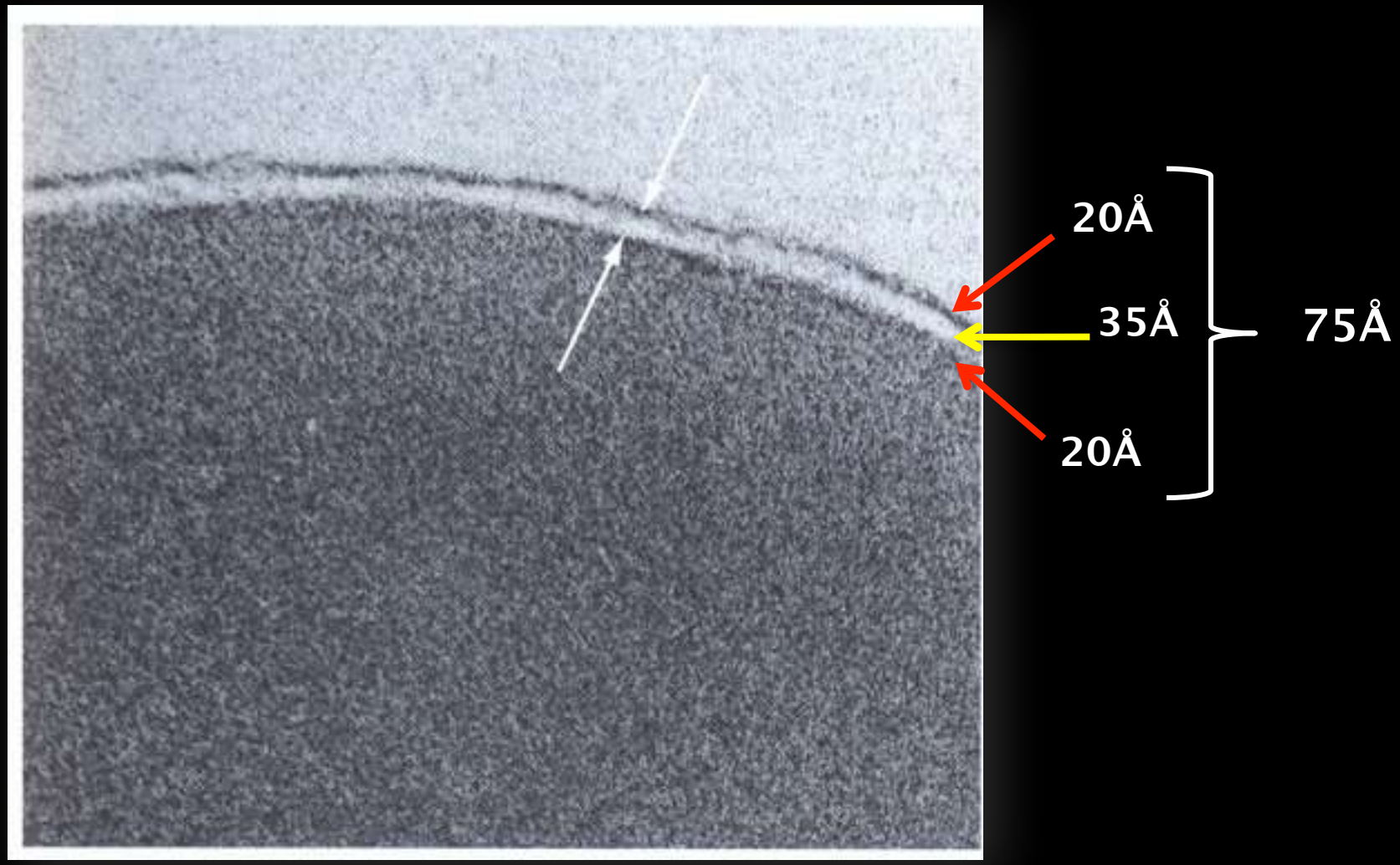
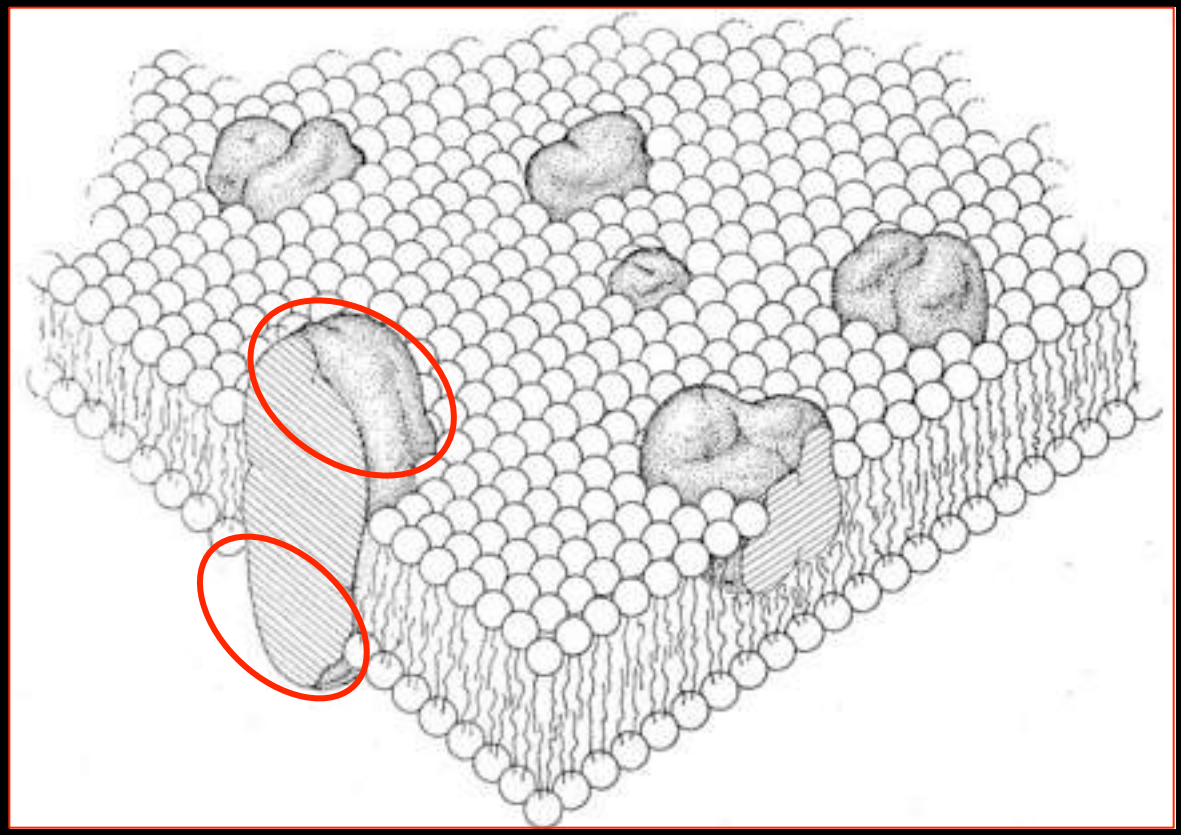


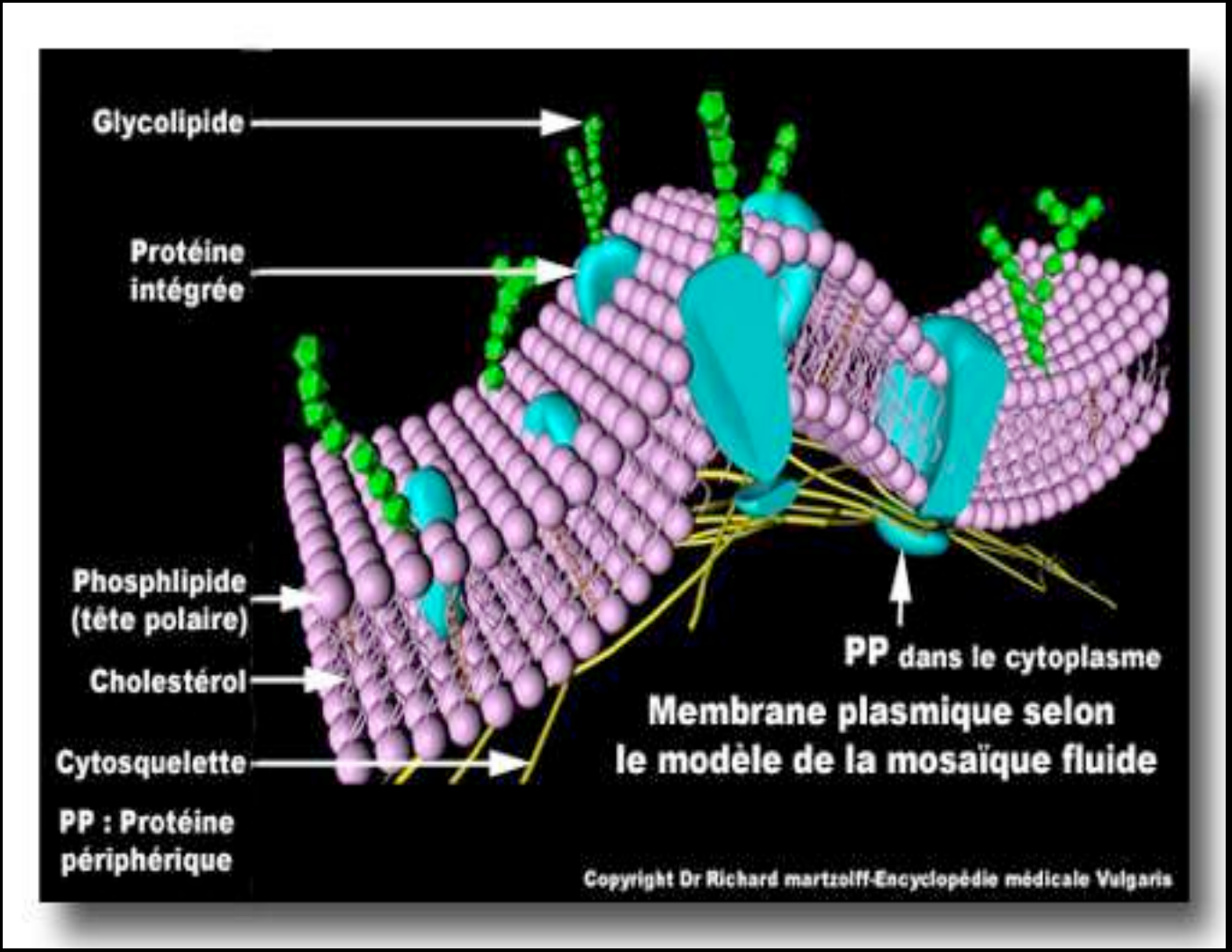
Figure. Stucture trilamellaire des membranes (trois feuillets: deux feuillets sombres de 20Å de part et d'autre d'un feuillet clair de 35Å).
(Microscope électronique, grossissement X 150000)

S.J. Singer et G. Nicolson (1972)

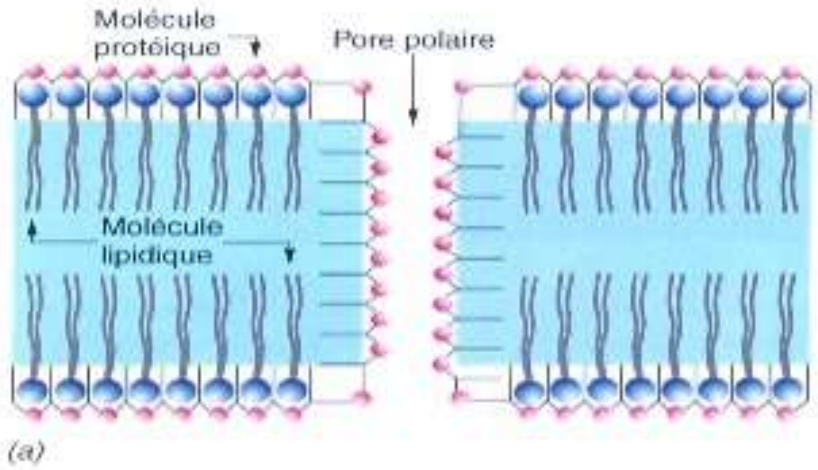


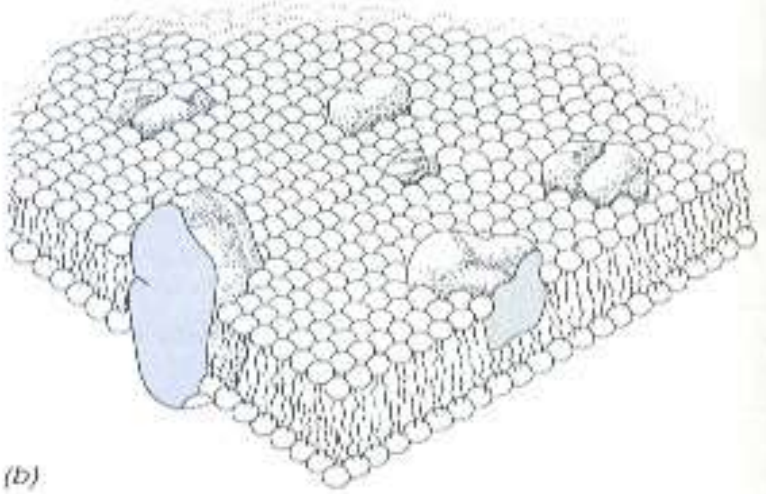
Les protéines membranaires sont dispersées et individuellement insérées dans la bicouche lipidique et seules leurs parties hydrophiles en émergent suffisamment pour entrer en contact avec l'eau.

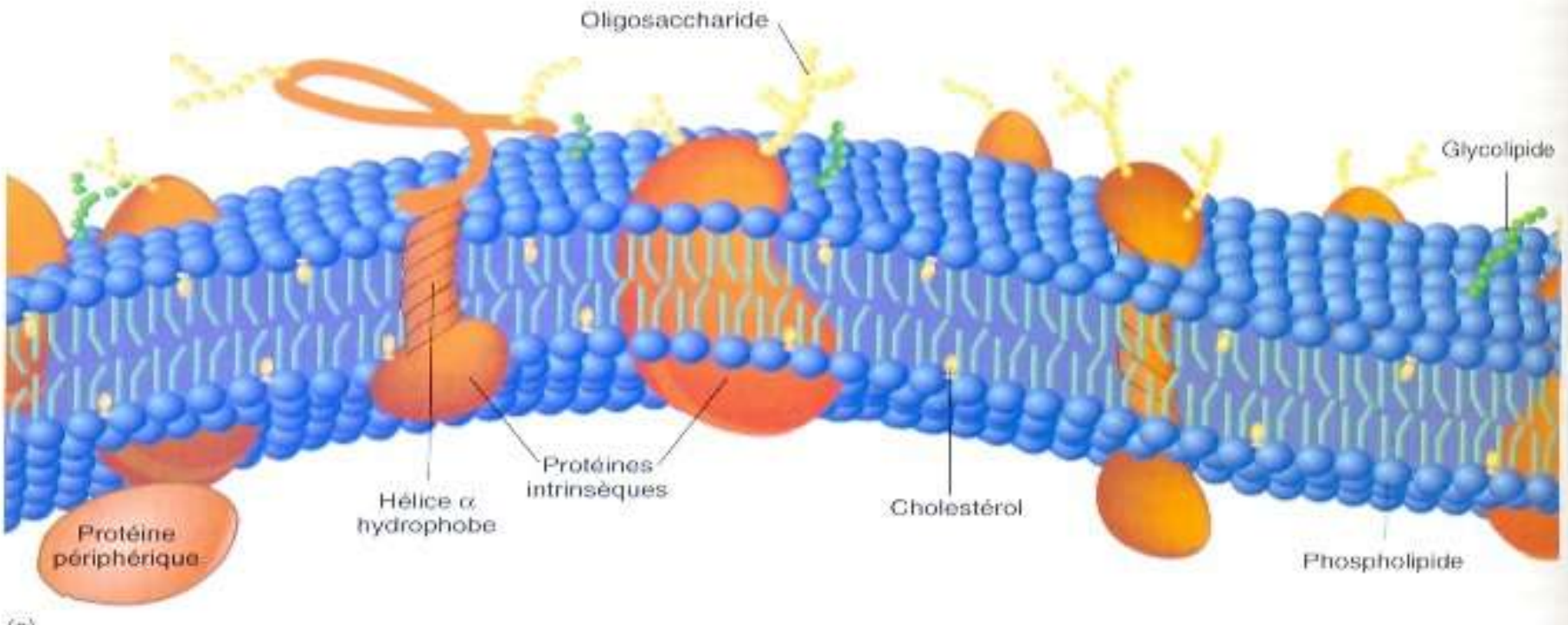
Modèle de la mosaïque fluide (membrane = une mosaïque constituée d'une double couche fluide de phosphoglycérolipides dans laquelle flottent des molécules protéiques)



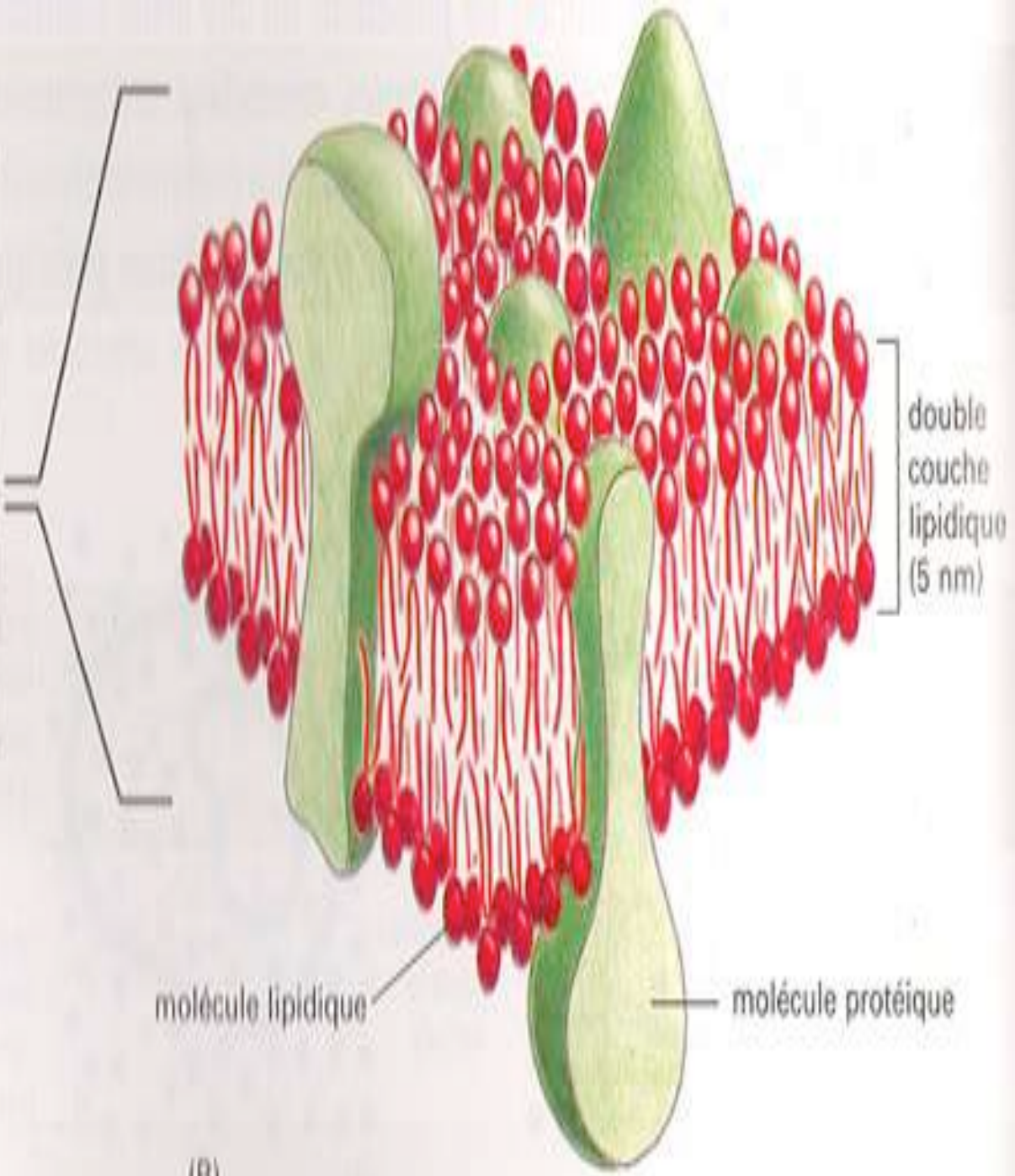
Modèle de la mosaïque fluide







(A)


double couche lipidique (5 nm)
molécule lipidique
molécule protéique

(B)

V- Régulation des échanges entre la cellule et le milieu externe

- La membrane plasmique agit à la manière d'une barrière semi-perméable entre le compartiment cellulaire et l'environnement extracellulaire.
- Sa perméabilité doit être suffisamment sélective pour permettre:
  - l'entrée des molécules essentielles (glucose, acides aminés...),
  - le rejet des déchets du métabolisme,
  - le transit, dans les deux sens, d'ions spécifiques assurant les concentrations ioniques intracellulaires qui diffèrent fortement de la composition ionique des liquides extracellulaires.
- Les échanges entre la cellule et son environnement se font:
  - soit par perméabilité à travers la membrane pour les petites molécules = perméabilité membranaire ou transport transmembranaire,
  - soit par voie vésiculaire pour les grosses

V-1- Perméabilité transmembranaire

Toutes les substances ne traversent pas la barrière membranaire sans restrictions:

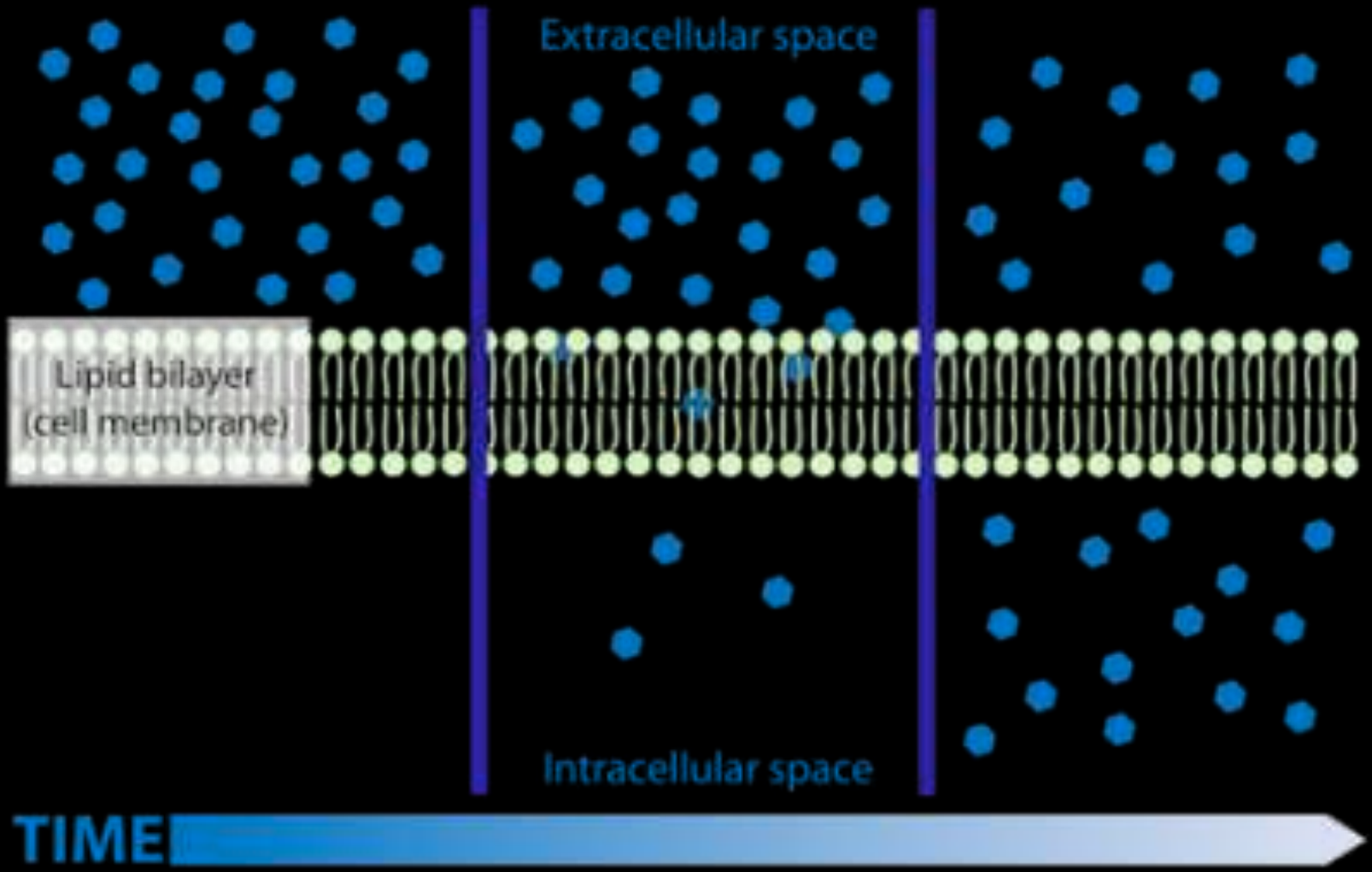
- La cellule a la capacité d'admettre de nombreuses variétés de petites molécules et de refuser son accès à d'autres.
- Toutes les substances ne traversent pas la membrane à la même vitesse.

V-1- Perméabilité transmembranaire

V-1-1- Participation des

- Le caractère hydrophobe de la partie interne de la phase lipidique bimoléculaire fait d'elle une barrière **imperméable** à la plupart des molécules polaires (hydrophiles).
- Les études expérimentales effectuées sur des membranes artificielles constituées d'une couche bimoléculaire de phospholipides ont montré que :
  - Toute molécule diffuse à travers la membrane si le temps lui est donné,
  - **La vitesse de diffusion** varie en fonction de la taille des molécules et de leur solubilité dans l'huile (les molécules hydrophobes, comme les hydrocarbures et l'oxygène, se dissolvent dans la membrane et la traversent aisément.
  - De deux molécules également solubles dans les lipides, c'est la plus petite des deux qui traversera la

Toute molécule diffuse à travers la membrane si le temps lui est donné



V-1- Perméabilité transmembranaire

V-1-1- Participation des lipides

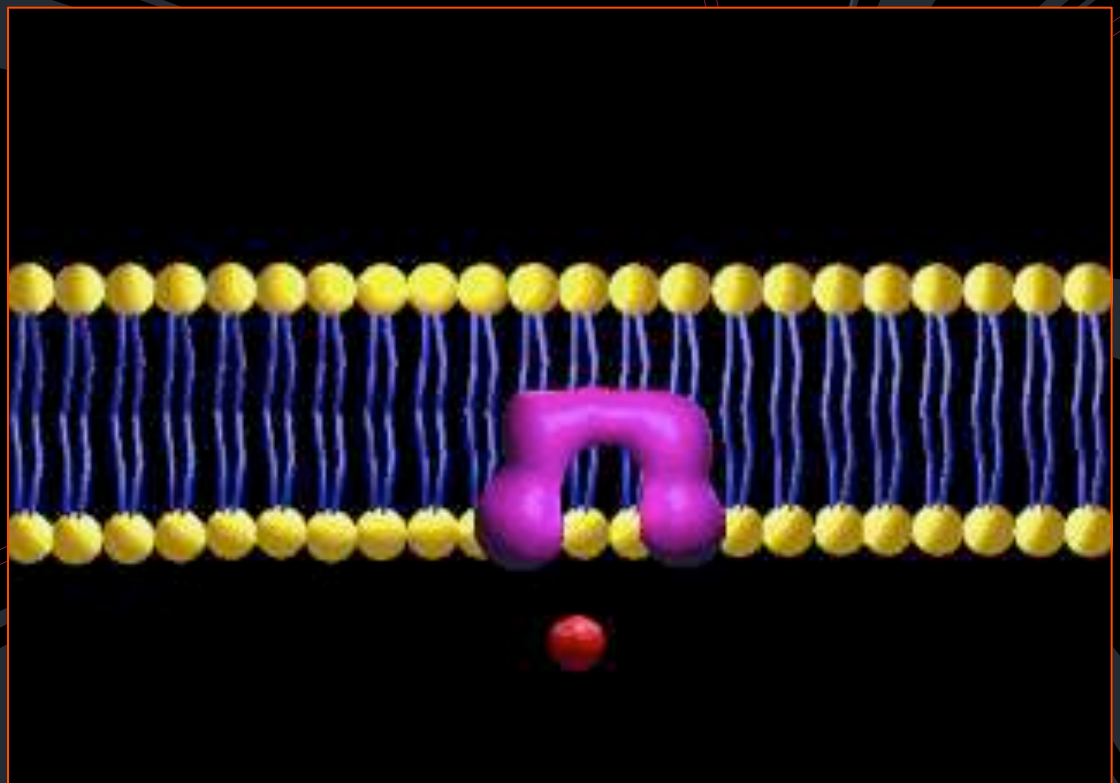
Le gradient obéit aux lois du **gradient des concentrations** (tendance à l'équilibre des concentrations de part et d'autre de la membrane).

H2O, petite molécule non chargée, et les petites molécules hydrophobes d'un PM faible pénètrent dans la cellule par **simple diffusion physique**, les molécules en solution migrant **des zones de forte concentration vers celles de faible concentration.**

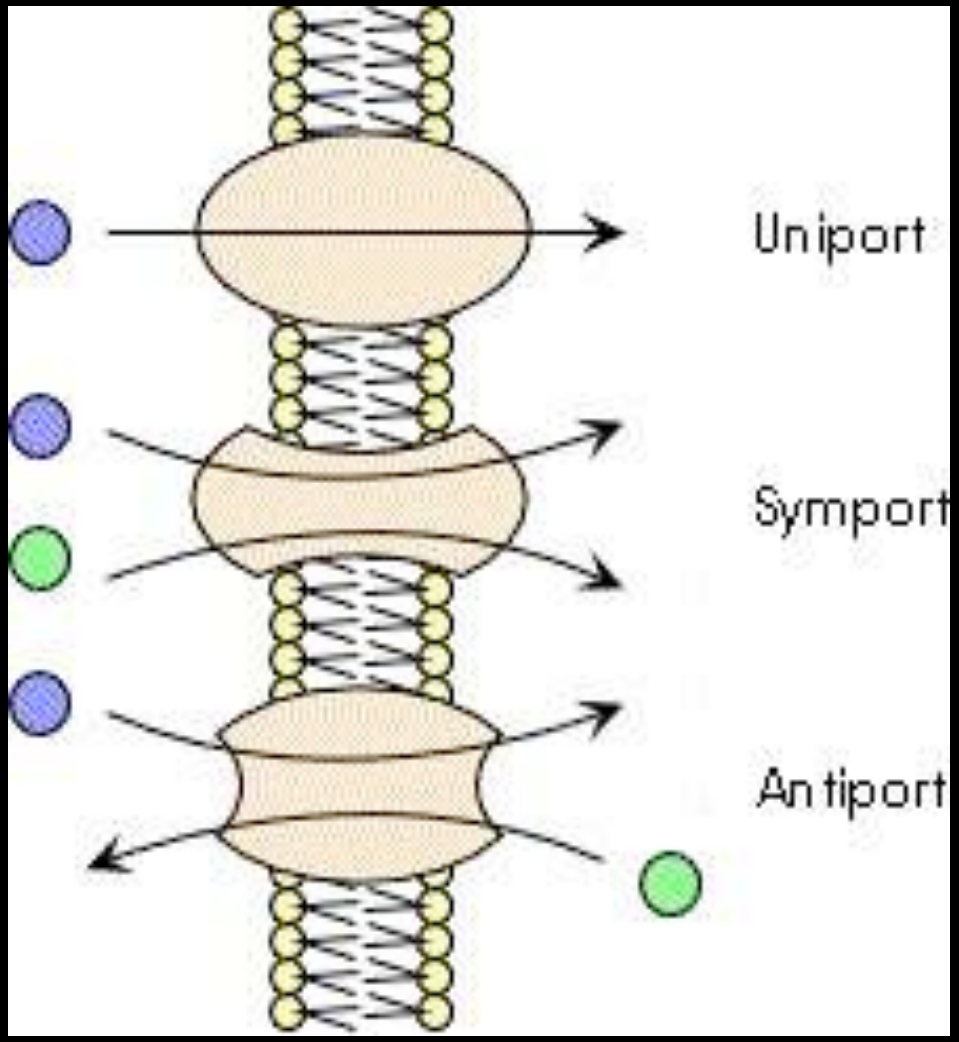
V-1- Perméabilité transmembranaire

V-1-2- Participation des protéines

Le transport des petites molécules non liposolubles se fait grâce à des **protéines transmembranaires spécialisées**, chacune étant responsable du transfert d'un type de molécules ou d'un groupe de molécules étroitement apparentées.



Les protéines de transport appartiennent à l'une des catégories suivantes:



- Les protéines de **type uniport**

(une seule molécule ou un seul ion dans un sens ou dans l'autre)

- Les protéines de type **symport**

(deux substances de nature différente dans la même direction)

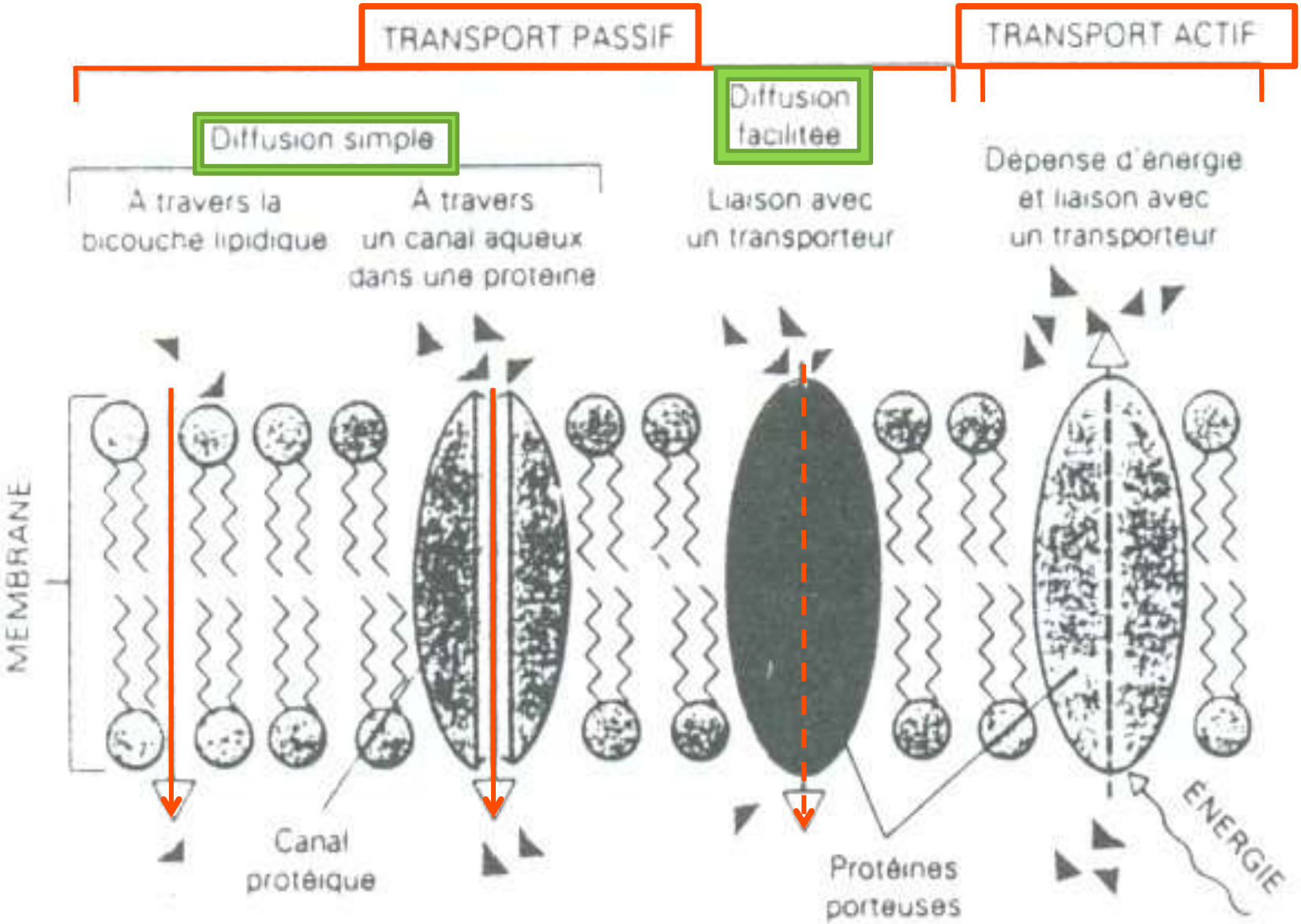
- Les protéines de type **antiport**

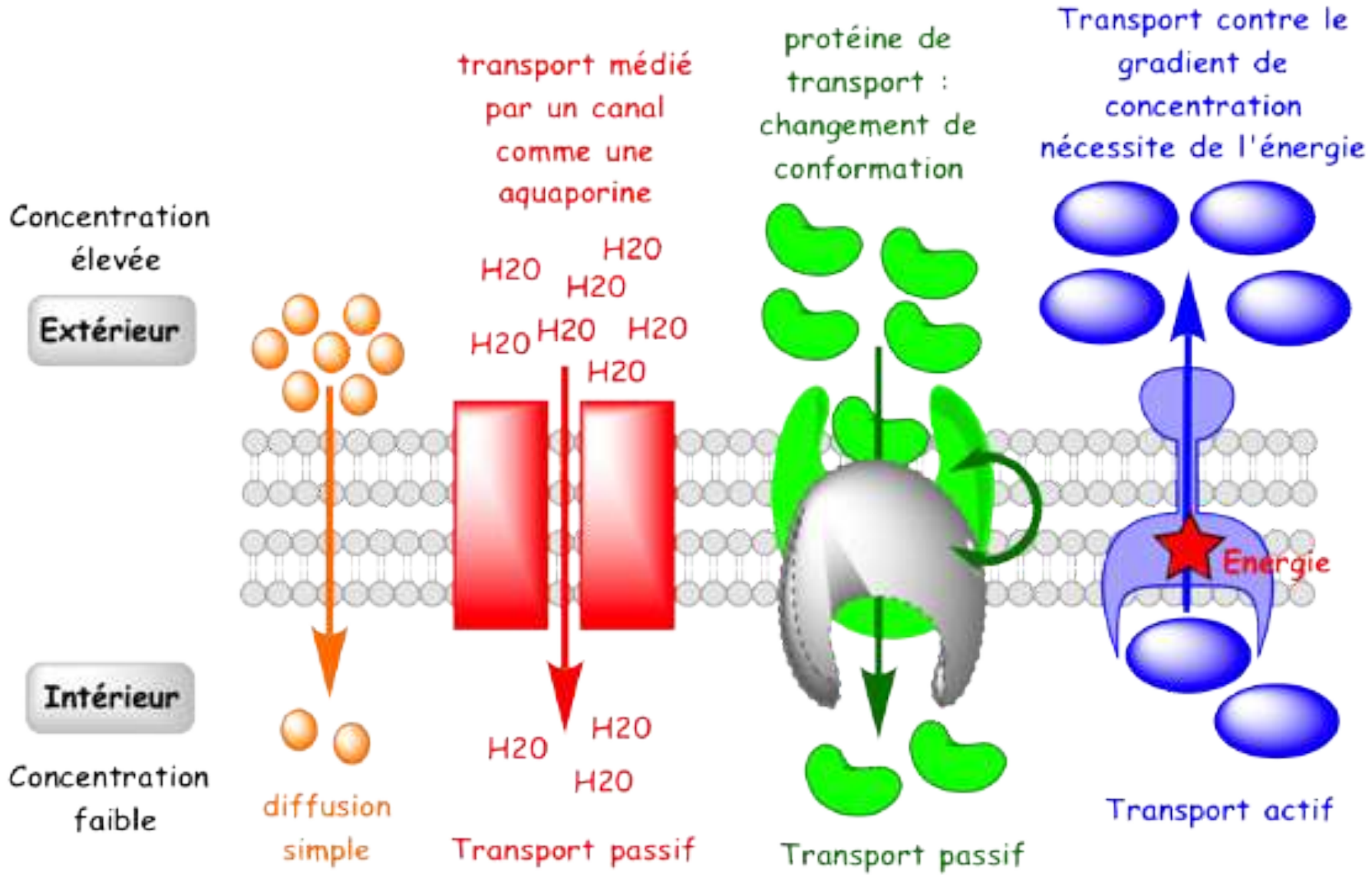
(deux substances de nature différente dans la même

V-1-3- **Déplacement des substances à travers les membranes** cellulaires

Fondamentalement ce déplacement peut emprunter deux voies :

- Une **voie passive**, par **diffusion**, si la molécule transportée n'est pas chargée ; dans ce cas, seul le gradient de concentration détermine la direction du transport qui est dit **transport passif**, et
- une **voie active**, par un mécanisme de transport nécessitant de l'énergie, si le soluté porte une charge nette (cas des ions) ; son transport est alors influencé par le gradient de concentration mais aussi par le gradient électrique à travers la membrane (potentiel de membrane) ; dans ce cas, le transport est dit **transport actif**.


TRANSPORT PASSIF
TRANSPORT ACTIF
Diffusion simple
Diffusion facilitée
A travers la bicouche lipidique
A travers un canal aqueux dans une protéine
Liaison avec un transporteur
Dépense d'énergie et liaison avec un transporteur
MEMBRANE
Canal protéique
Protéines porteuses
ÉNERGIE


Concentration élevée
Extérieur
Intérieur
Concentration faible
diffusion simple
transport médié par un canal comme une aquaporine
H20
H20
H20
H20
H20
H20
H20
H20
H20
Transport passif
protéine de transport : changement de conformation
Transport passif
Transport contre le gradient de concentration nécessite de l'énergie
Energie
Transport actif

V-1-4- Diffusion de l'eau à travers les membranes

L'osmose

- L'**osmose** est un phénomène physique passif qui se produit seulement si les solutions sont séparées par une **membrane semi-perméable**. Elle est influencée par des solutés qui sont trop gros pour traverser la membrane.

- Seul le **solvant** (eau) peut alors **traverser** la membrane du côté **hypotonique** (le moins concentré) vers le côté **hypertonique** (le plus concentré) jusqu'à ce que les solutions soient **isotoniques** (de même concentration).

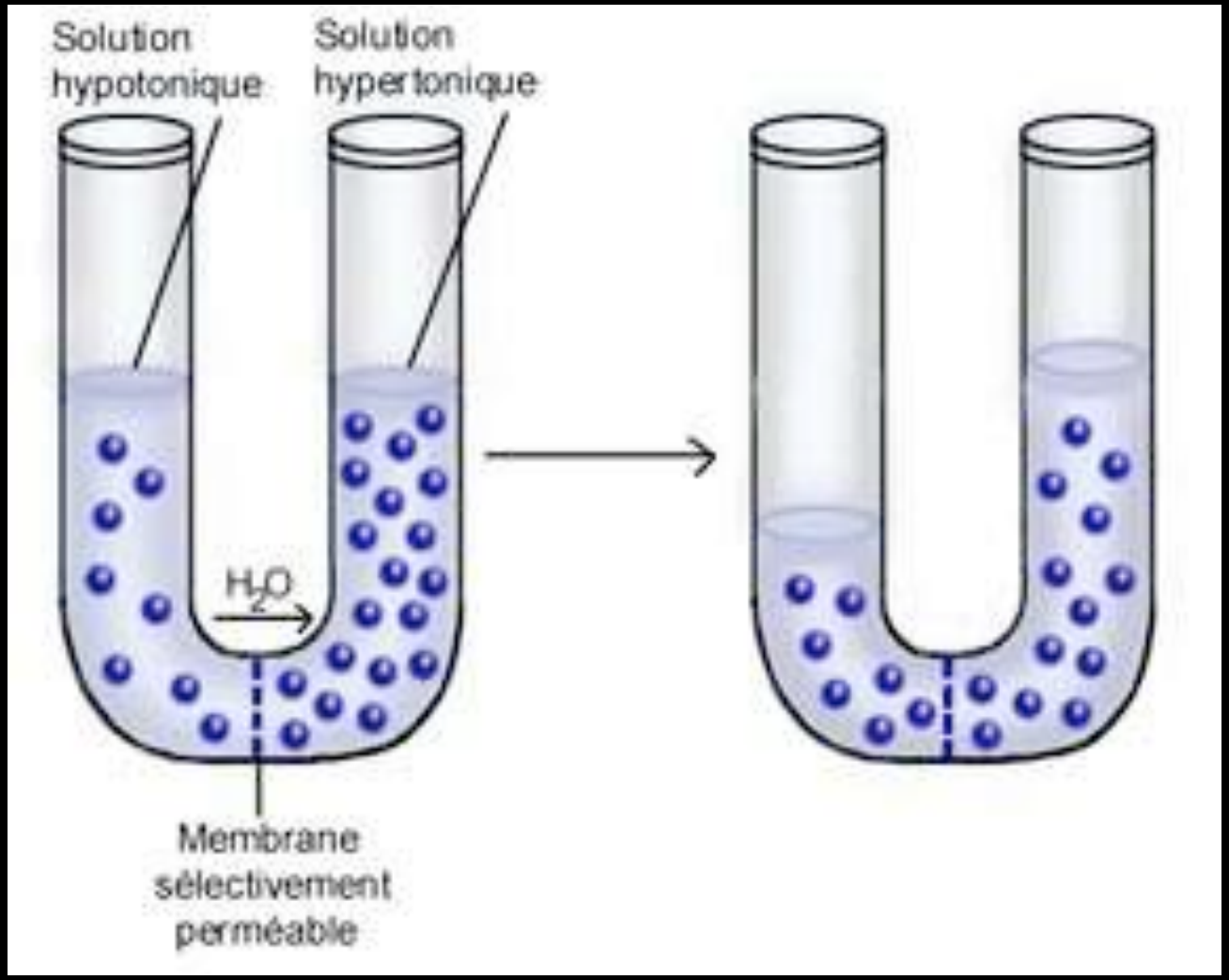
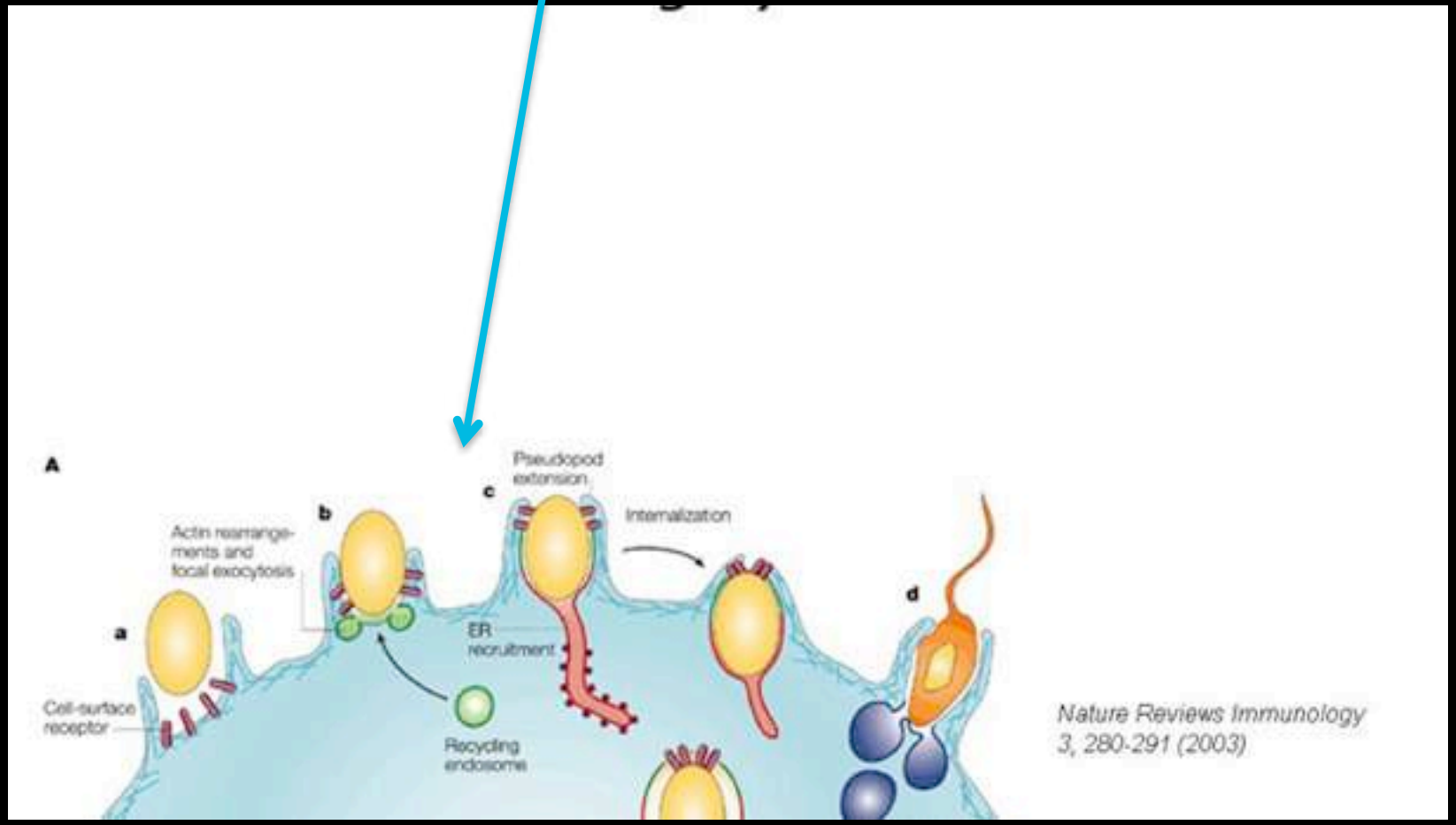


Figure 14. Osmose. Deux solutions de glucose de concentrations différentes sont séparées par une membrane perméable au solvant mais imperméable au soluté. La forme en U du récipient facilite l'observation des changements de volume.

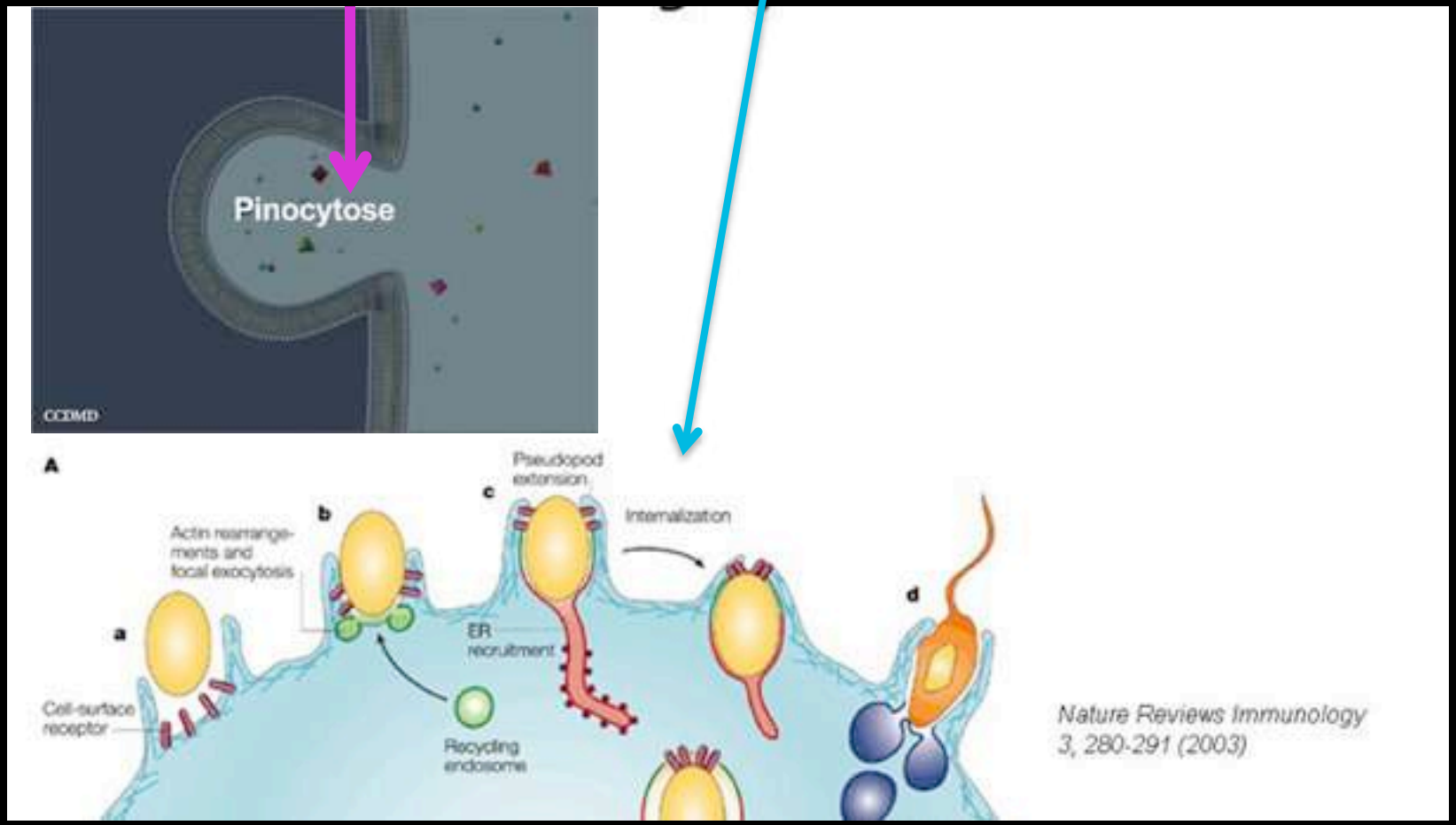
VI-2- Transport par voie vésiculaire

La pénétration de gros matériaux extracellulaires par des vésicules cytoplasmiques peut s'effectuer de deux façons distinctes, la phagocytose et l'endocytose*

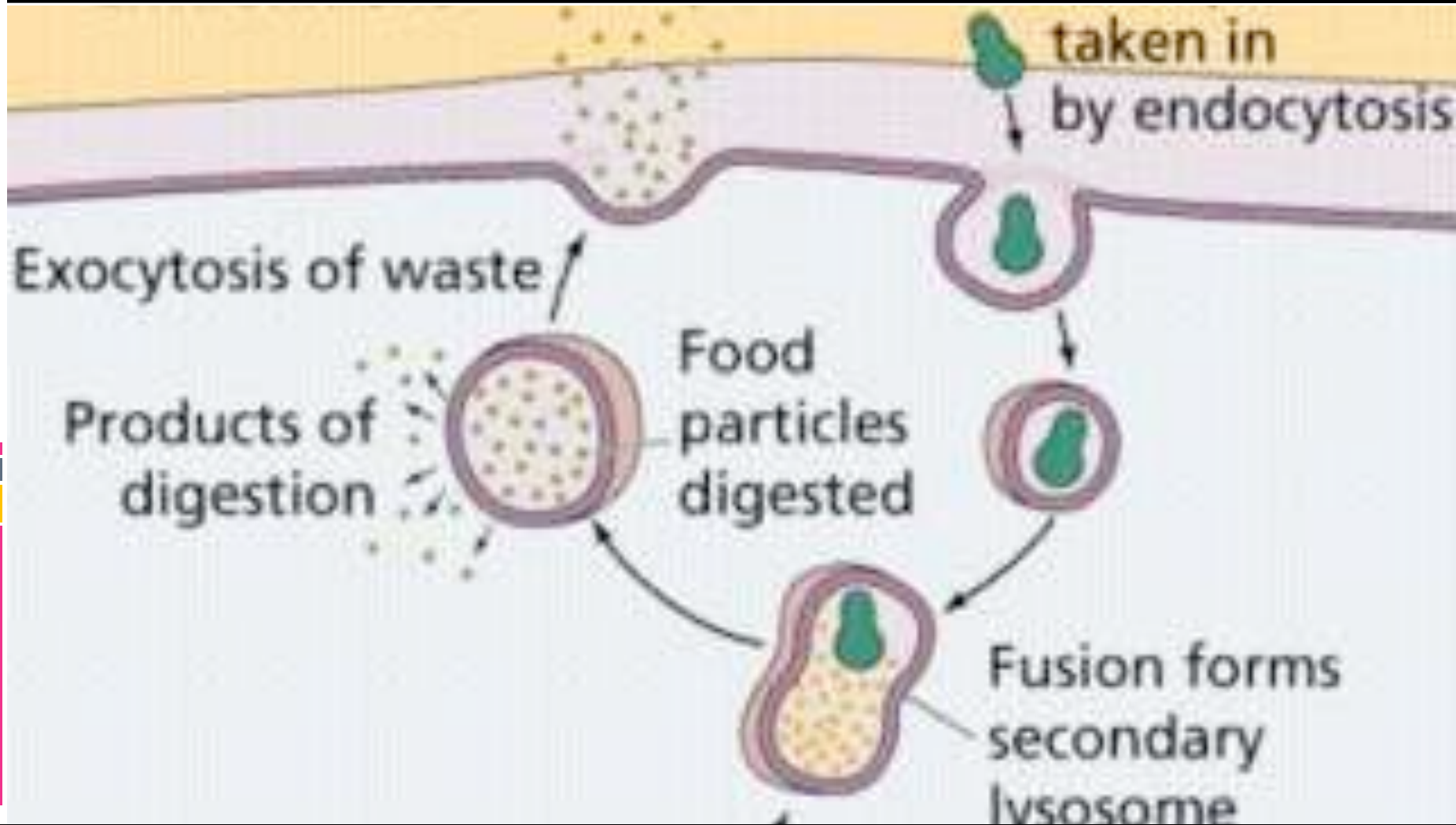


VI-2- Transport par voie vésiculaire

La pénétration de gros matériaux extracellulaires par des vésicules cytoplasmiques peut s'effectuer de deux façons distinctes, **la phagocytose** et l'endocytose **(pinocytose)***

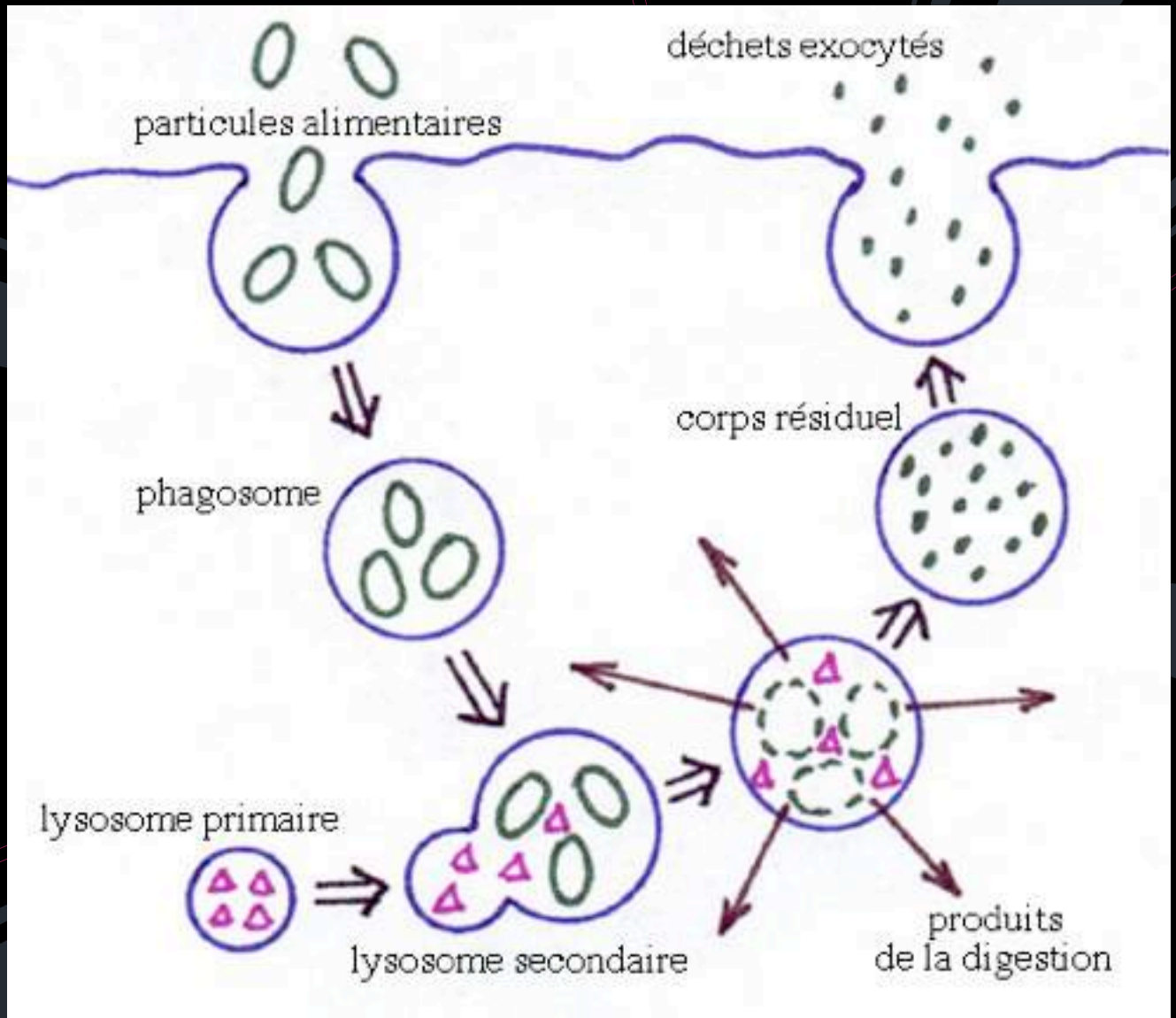


* : La terminologie a subi un remaniement au cours des dernières années. En 1963, Christian de Duve introduisait le terme **endocytose**, terme général qui regroupait les deux types d'activités, l'ingestion de particules solides (phagocyte) ou la pénétration de liquides et solutés (pinocytose). Actuellement, le terme pinocytose est devenu inhabituel, et le terme « endocytose » est devenu d'usage commun pour **décrire la prise du liquide** et **des molécules dissoutes** ou **en suspension** et elle se distingue de la phagocytose.



VI-2-1-1- La phagocytose

Elle correspond à l'ingestion de grosses particules solides dont la taille peut atteindre plusieurs micromètres.



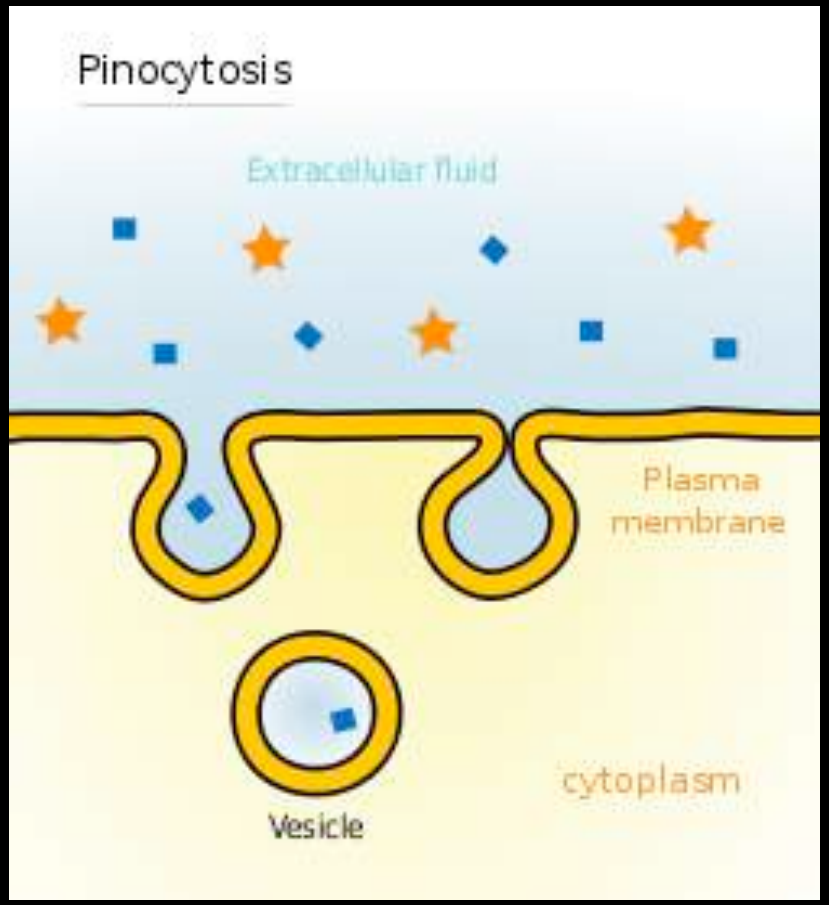
VI-2-1-2- L'endocytose

- Correspond au prélèvement d'une gouttelette (diamètre<0.1 microns) d'un liquide extracellulaire contenant ou non des petites molécules.

-On peut diviser grossièrement l'endocytose en deux catégories :

- l'endocytose en vrac et,
- l'endocytose par récepteur interposé. L'**endocytose par récepteur interposé (ERI**) aboutit à la capture de molécules extracellulaires spécifiques (ligands) après leur liaison à des récepteurs de la surface externe de la membrane plasmique.

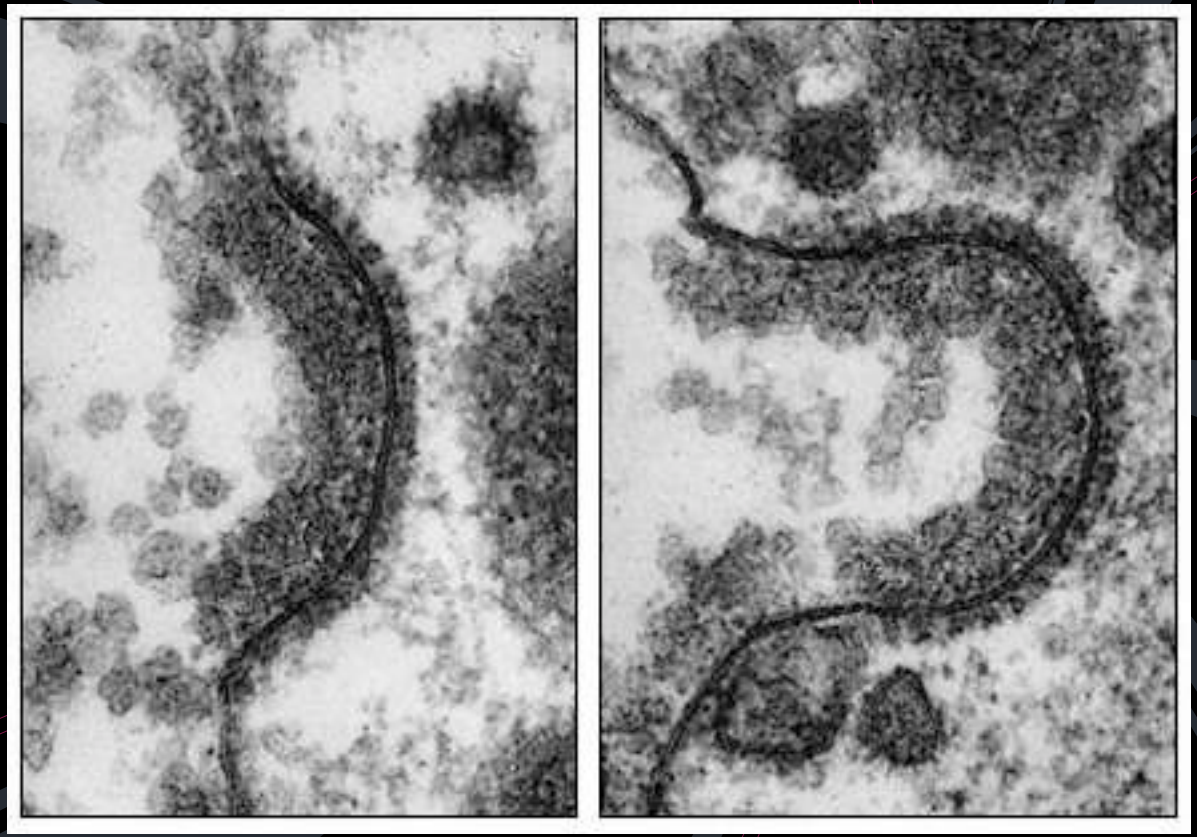
Endocytose en vrac =



capture non spécifique de liquides extracellulaires sans aucune reconnaissance par la surface membranaire.

Endocytose par récepteur interposé =

processus hautement spécifique grâce à des récepteurs, protéines transmembranaires amphiphiles, groupées en des régions déterminées de la membrane, qui reconnaissent sélectivement une substance donnée.



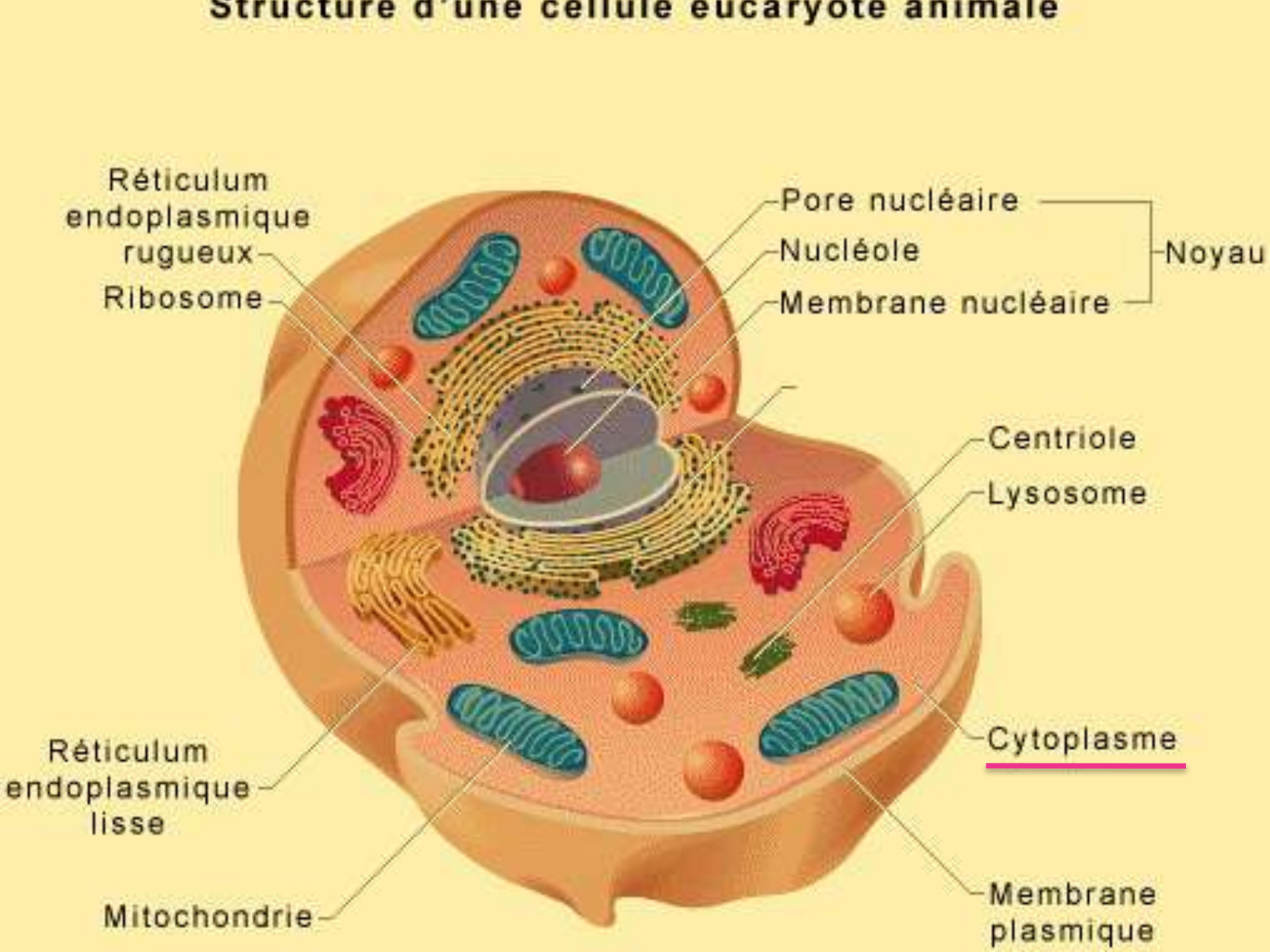
Clathrine

Chapitre III

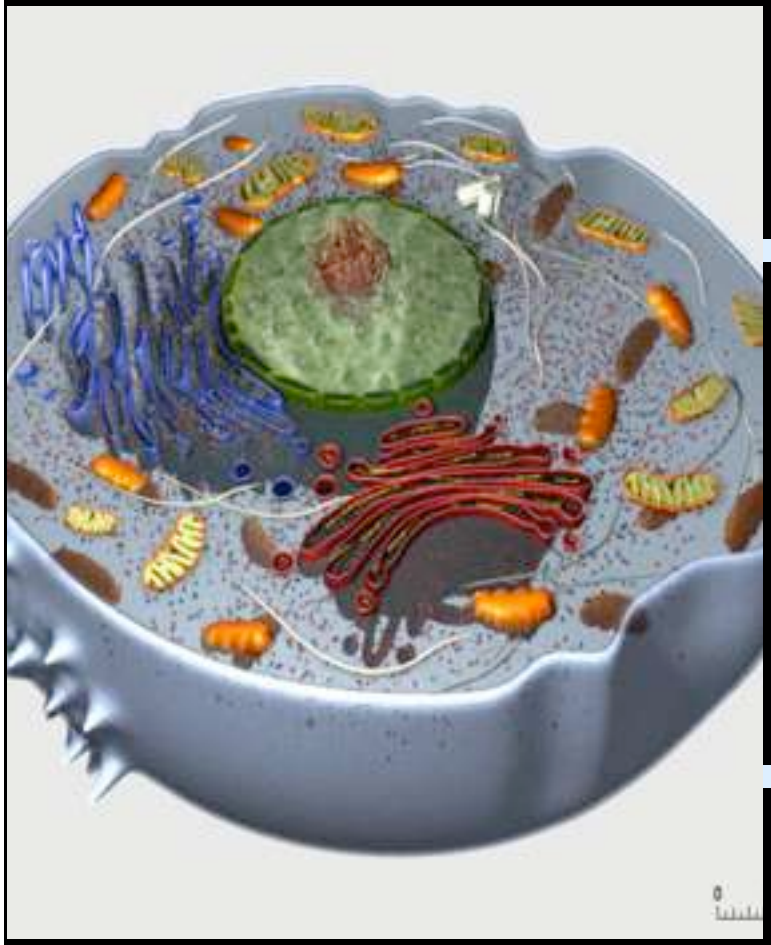
LE CYTOSOL et LE CYTOSQUELETTE

Pr. Boutaïna BELQAT

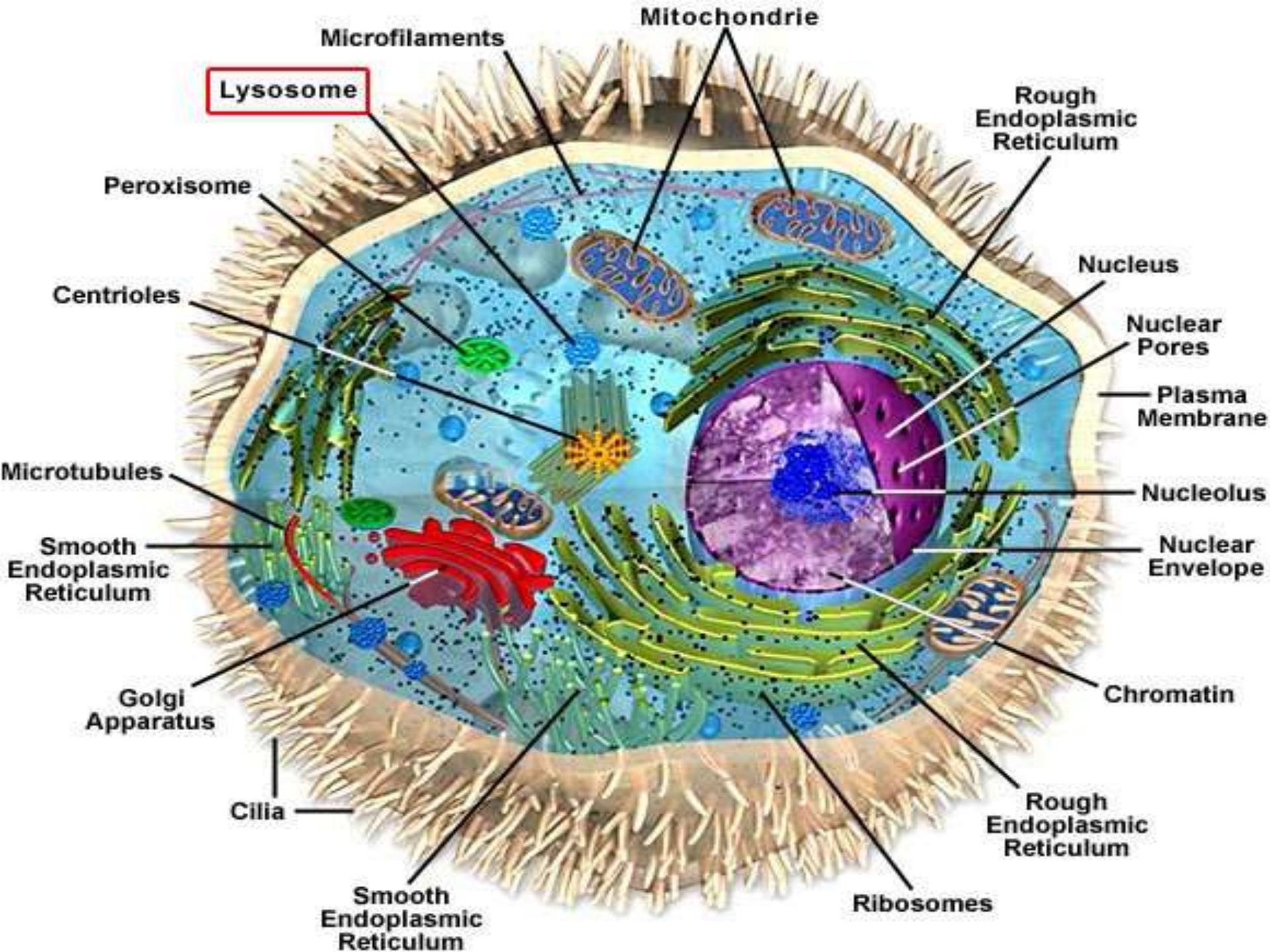
Structure d'une cellule eucaryote animale



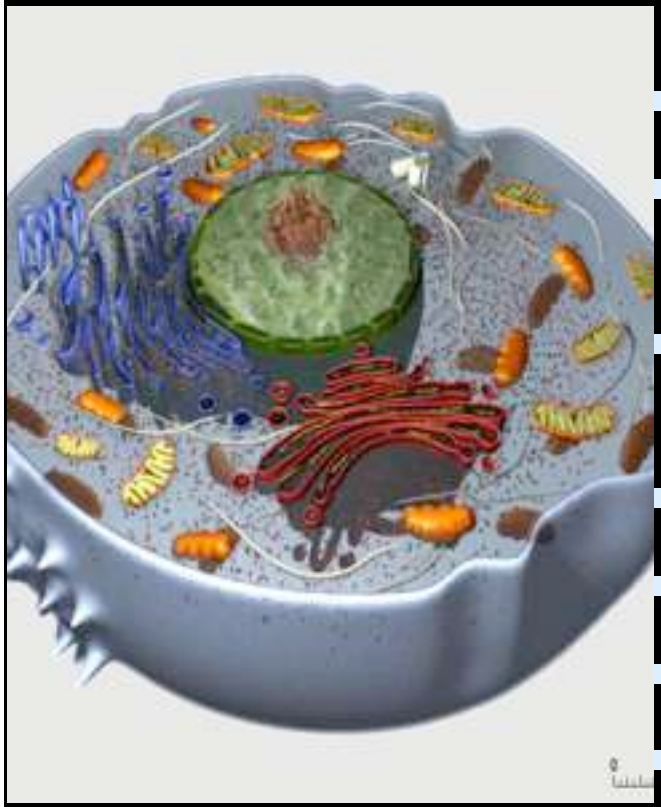
I- Définition 1: LE CYTOPLASME



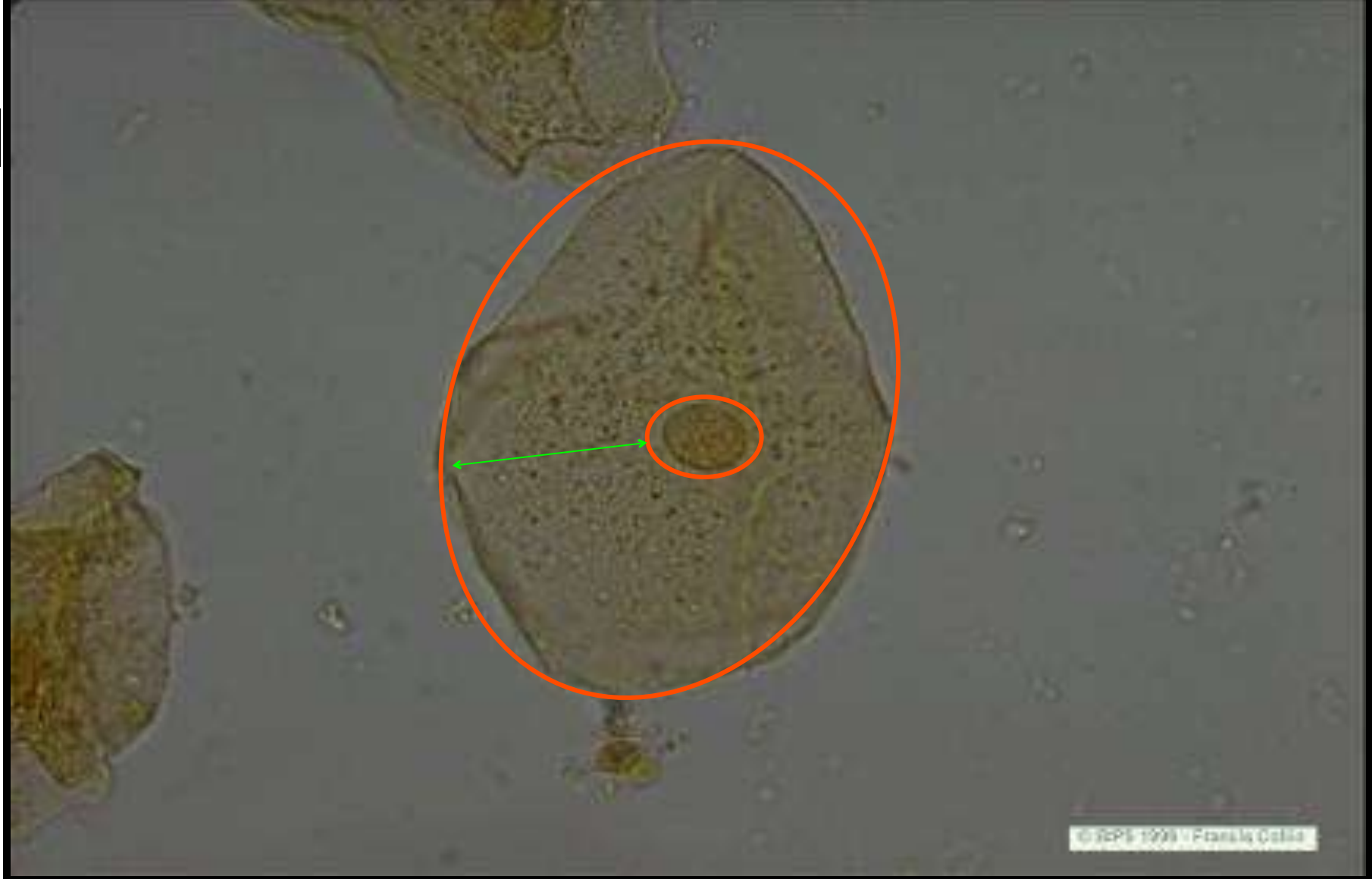
- = **matériel biologique** contenu entre la membrane plasmique et la membrane nucléaire.
- = phase liquide qui contient de nombreux organites et des structures en suspension.
- = cytosol + cytosquelette + organites


Microfilaments
Mitochondrie
Lysosome
Rough Endoplasmic Reticulum
Peroxisome
Nucleus
Centrioles
Nuclear Pores
Plasma Membrane
Microtubules
Nucleolus
Smooth Endoplasmic Reticulum
Nuclear Envelope
Golgi Apparatus
Chromatin
Cilia
Rough Endoplasmic Reticulum
Smooth Endoplasmic Reticulum
Ribosomes

I- Définition 2: LE CYTOSOL



- = **phase liquide où baignent les organites cytoplasmiques**, tels que :
- Le noyau
- Le réticulum endoplasmique rugueux
- Le réticulum endoplasmique lisse
- L'appareil de Golgi
- Les ribosomes
- Les différentes vacuoles
- Les mitochondries et,
- Les chloroplastes (chez les plantes).



Le cytosol est limité par la membrane plasmique et l'enveloppe nucléaire et contient des substances solubles comme des protéines, des enzymes et de l'ARN.

I- Structure du cytosol

- En **microscopie électronique**, il apparaît granuleux alors qu'en **microscopie optique** il paraît optiquement vide. On peut des fois y différencier des **globules lipidiques** et des particules de **glycogène** qui disparaissent après avoir fourni de l'énergie utilisée par la cellule.
- Le **pH** de la phase soluble est proche de la **neutralité**. Avec ses macromolécules en suspension dans un milieu aqueux salé, le cytosol présente une viscosité 4 fois supérieure à celle de l'eau et correspond à un gel colloïde.

Composition biochimique

- Phase liquide ou semi-liquide
- Gel colloïde 4 fois plus visqueux que l'eau
- pH 7,0
- 85% d'eau

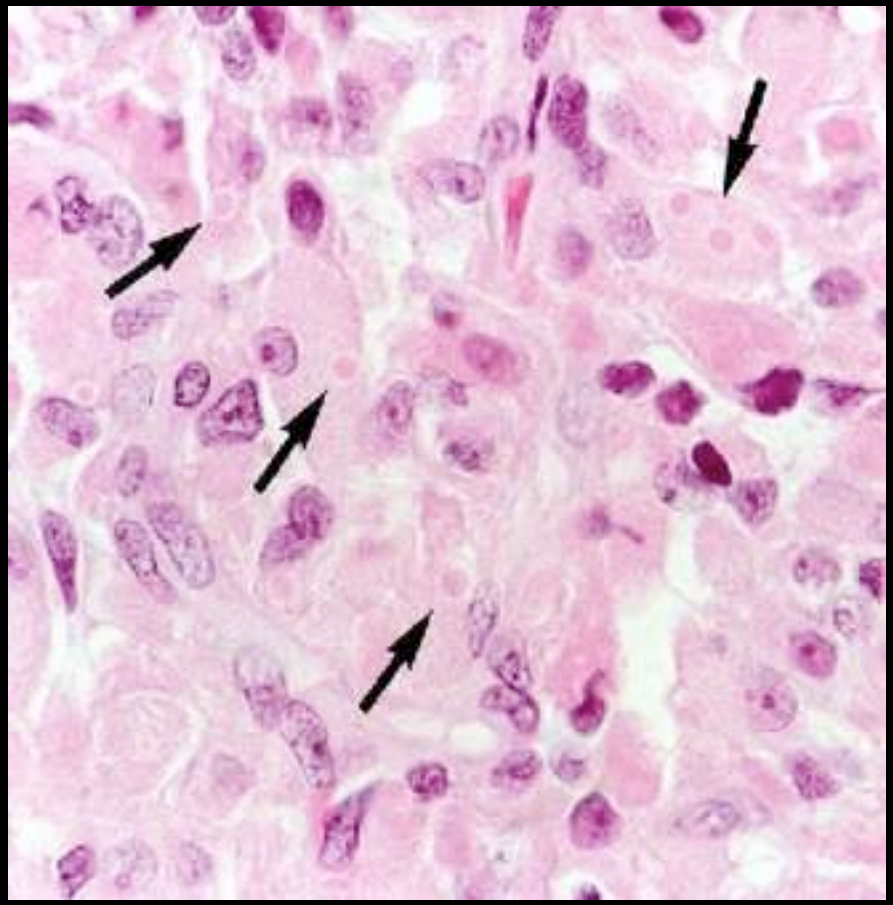
- **Ions** : Na^+, K^+, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}
- **Gaz** : O_2, CO_2
- **Molécules simples** : lipides, glucides, acides aminés …
- **Macromolécules** : Protéines, polysaccharides, acides nucléiques …

Les graisses et le glycogène sont stockés dans des vésicules sécrétoires

Les **nutriments** qui ne sont pas utilisés immédiatement pour la production d'ATP sont **stockés** sous une forme qui les rend **visibles au microscope optique.**

Les **inclusions** sont des **réserves** qui ne se trouvent pas dans toutes les cellules.

Inclusions de **lipides** dans les cellules **adipeuses**



- **Figure 1. Micrographie en microscopie électronique montrant des inclusions de lipides**

Particules de glycogène:

Stockées, visibles sous forme de granules ou de grappes dans le cytosol.

Figure 2. Micrographie en microscopie électronique montrant des grains de glycogène dans une cellule humaine. G : grains de glycogène ; M : mitochondrie ; C : cytosol.

II-Rôles et activités physiologiques

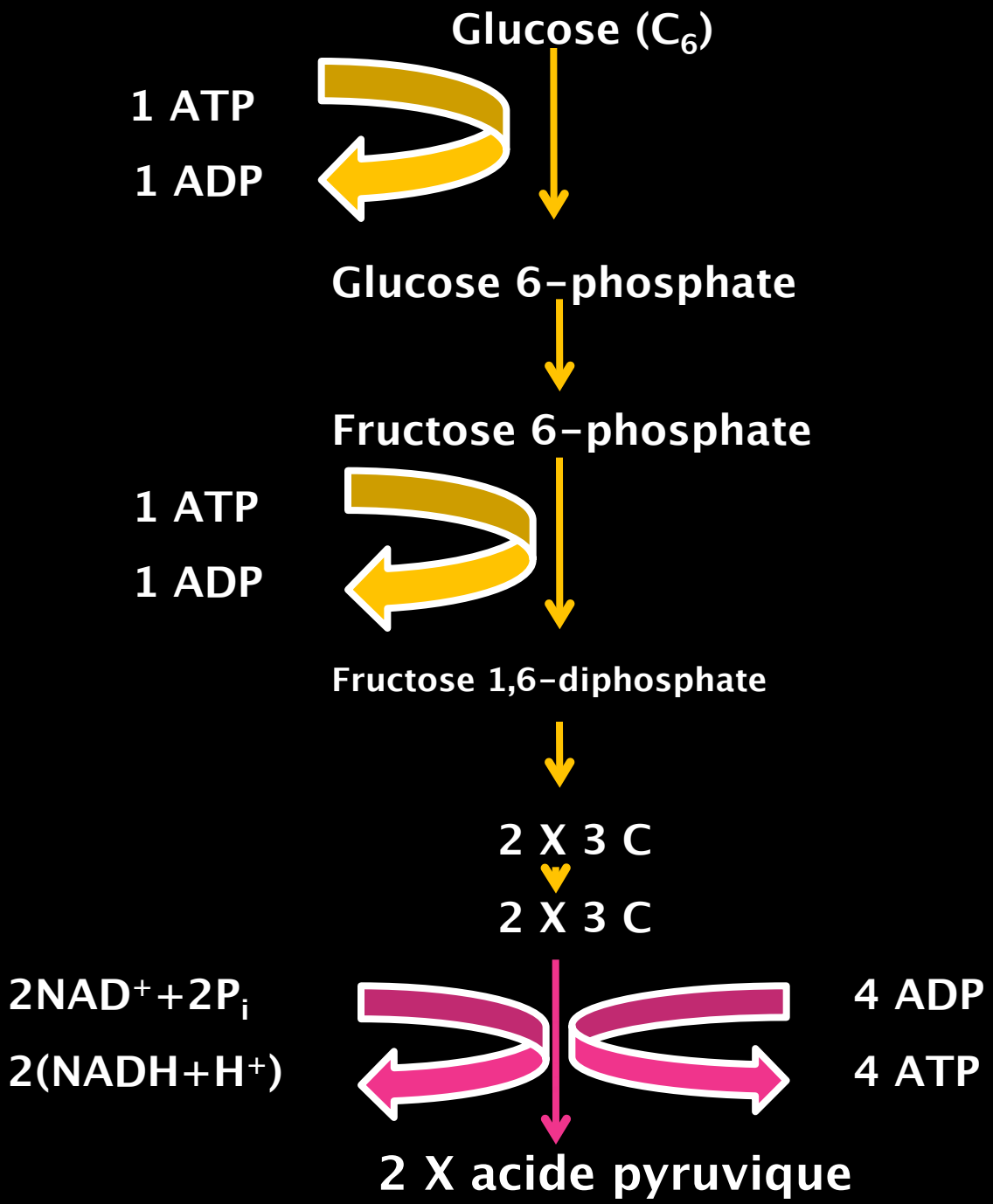
- Le cytosol est considéré comme étant le **carrefour** des **voies métaboliques** ; il intervient dans l'**anabolisme** et le **catabolisme** des **glucides**, des **acides aminés**, des **acides gras** et des **nucléotides**.

- **Trois grands types** d'activités sont associés aux **composants** du cytosol :
  - La **prise en charge** du **métabolisme intermédiaire** par les **enzymes** ;
  - La **synthèse des protéines** par les **ribosomes** ; et
  - Le **stockage de graisses**, de **glycogène** et de **vésicules sécrétoires**

II-1- Prise en charge du métabolisme intermédiaire

- Le **métabolisme intermédiaire** = l'ensemble des **réactions chimiques intracellulaires** qui interviennent dans la **dégradation**, la **transformation** et la **synthèse de petites molécules organiques**, comme les **sucres simples**, les **acides aminés** et les **acides gras**.

- La **totalité du métabolisme intermédiaire** a lieu dans le **cytosol**. Des milliers d'**enzymes** qui interviennent dans la **glycolyse** et dans d'autres **voies** du **métabolisme intermédiaire** sont localisées dans le **cytosol**.
- Les voies métaboliques qui concernent la molécule de **glucose** sont particulièrement importantes car elles concernent la **production d'énergie cellulaire** (**ATP**).

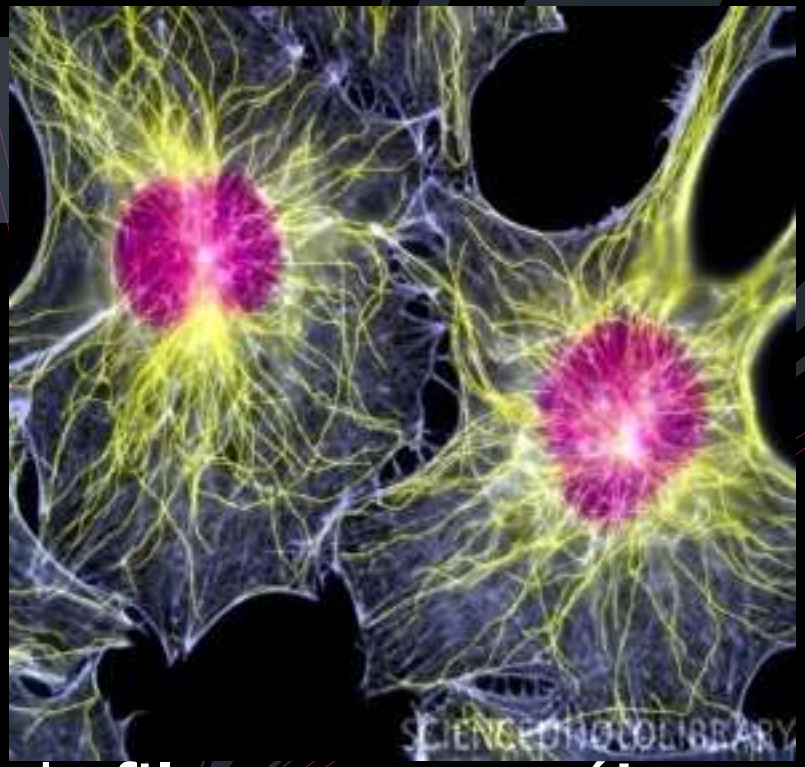

Glucose (C_6)
1 ATP
1 ADP
Glucose 6-phosphate
Fructose 6-phosphate
1 ATP
1 ADP
Fructose 1,6-diphosphate
2 X 3 C
2 X 3 C
$2NAD^+ + 2P_i$
$2(NADH + H^+)$
4 ADP
4 ATP
2 X acide pyruvique

II-2- Synthèse des protéines par les ribosomes

Les **ribosomes libres**, dispersées dans le cytosol **synthétisent** les **protéines utilisées** dans le **cytosol** même.

Par contre les **ribosomes du RER** synthétisent les **protéines** qui sont destinées à la **sécrétion** et à la formation de **nouveaux constituants cellulaires**.

LE CYTOSQUELETTE



I- Définition

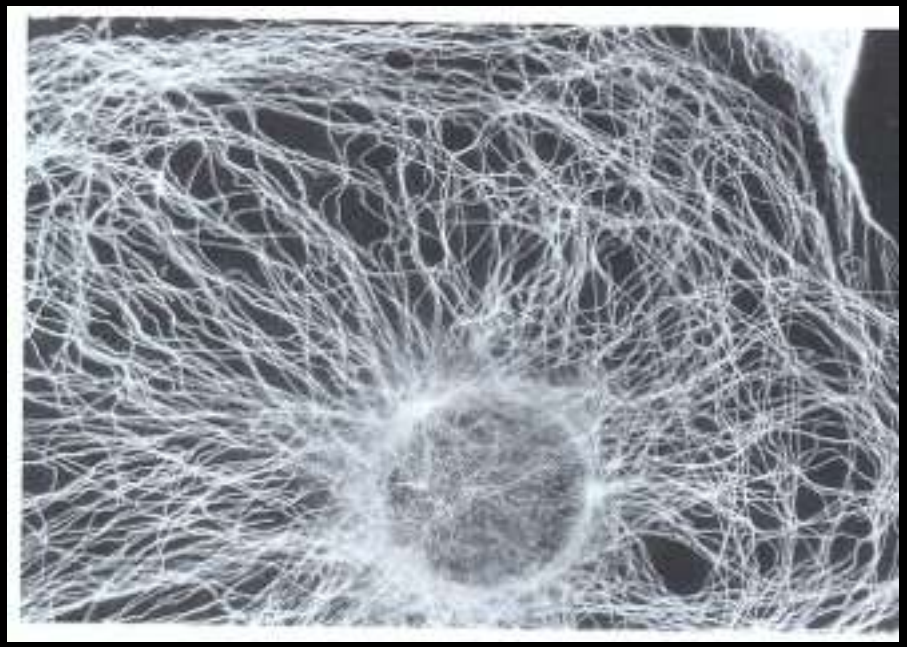
Le **cytosquelette** est un réseau de **filaments protéiques** variés, attachés à la membrane plasmique et à différents organites.

Il existe dans le cytoplasme de toutes les **cellules eucaryotes**.

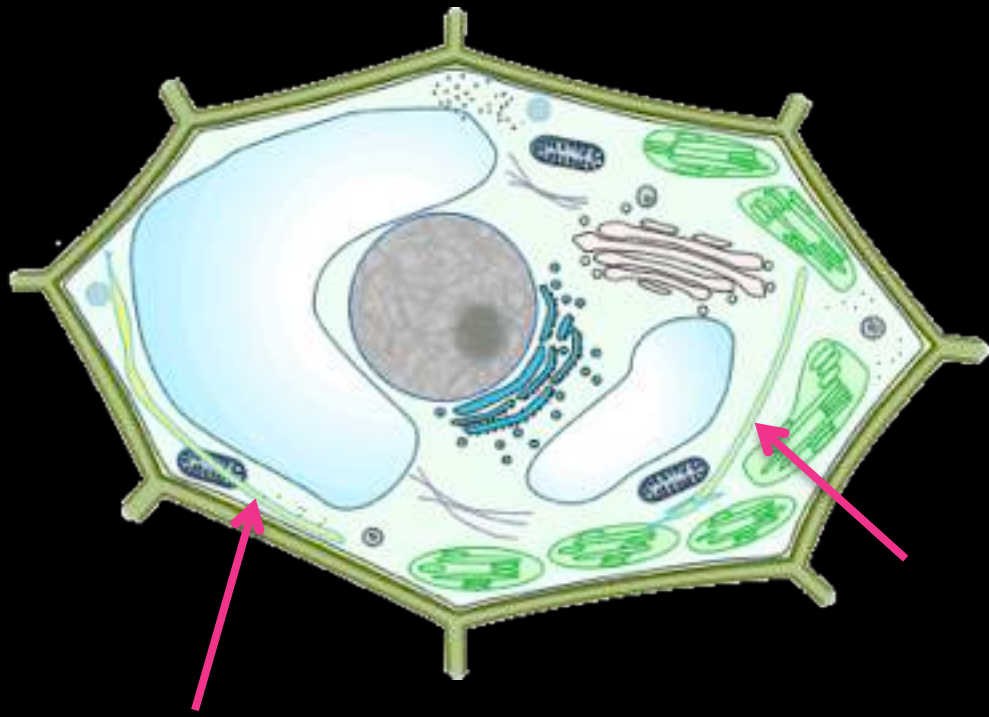
Il fournit à la cellule une **ossature** lui permettant le **maintien de sa forme** et **l'exécution de ses mouvements**.

Les cytosquelettes de tous les eucaryotes sont assez similaires (bien que des différences importantes existent entre les cellules animales et végétales)

Cytosquelette des cellules animales



Cytosquelette des cellules végétales



Le cytosquelette des procaryotes

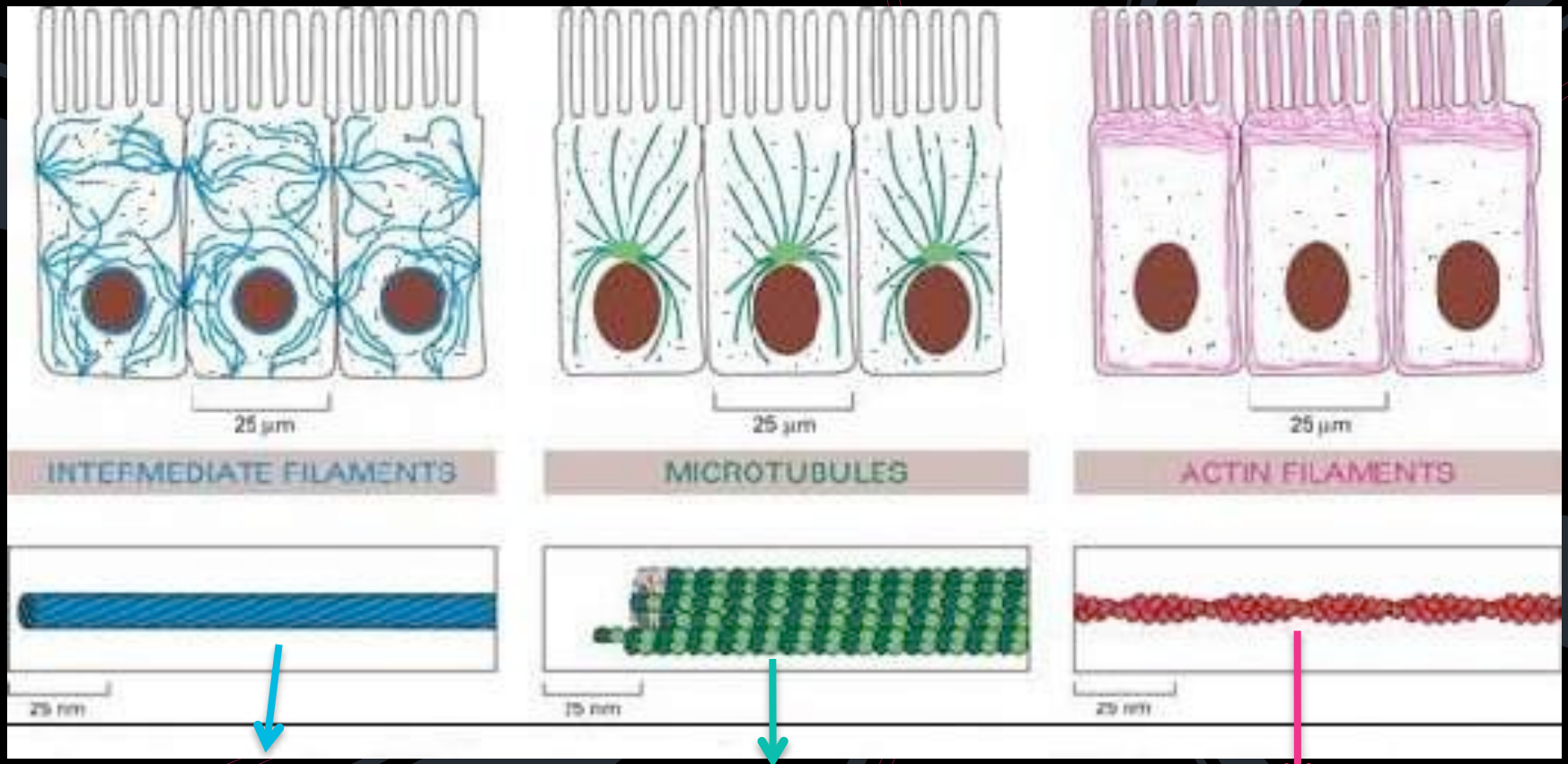
Récemment découverts chez les procaryotes , les cytosquelettes semblent organisés de façon tout à fait différente de ceux des eucaryotes.

Les travaux de certains chercheurs, notamment ceux de Rut Carballido-López et de son équipe, ont récemment mis en évidence la présence d'un cytosquelette chez les procaryotes.

Ces chercheurs ont découvert la protéine Mreb, homologue à la protéine d'actine, et de structure similaire, localisée sous la membrane et semblant jouer un rôle important dans la structure et la forme cellulaire.

II- Composition et Structure globale du cytosquelette

Le cytosquelette des eucaryotes est formé de **trois structures** filamenteuses bien définies qui forment ensemble un **réseau interactif** élaboré :



Fibres résistantes (diverses **protéines** de **structure semblable**)

composés d'une protéine, la **tubuline**

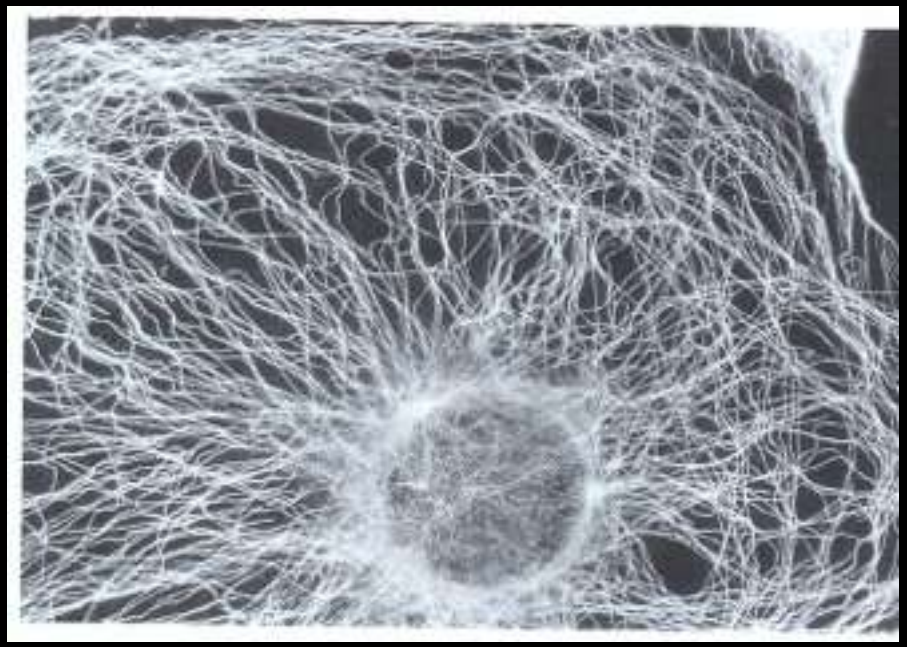
sont formés d'**actine**

Structure globale du cytosquelette

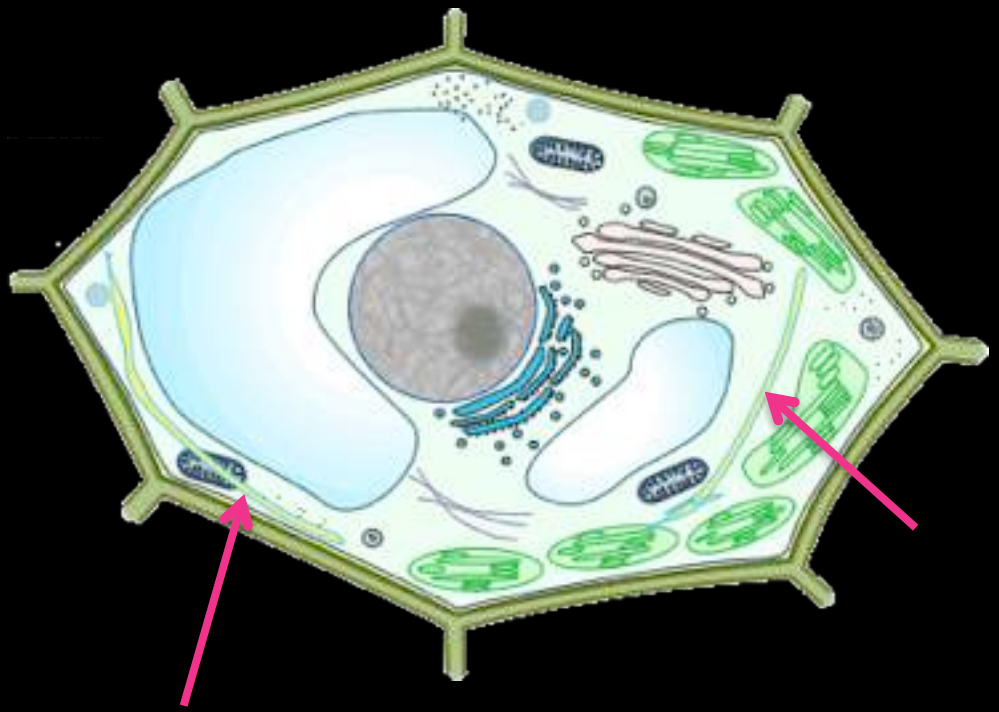
- Microtubules : Tubuline
- Filaments intermédialres: fibres protéiques de structure semblable
- Microfilaments: filaments d'actine

Ces filaments protéiques sont **unis** à :
– des **protéines motrices** qui **organisent les fibres du cytosquelette** et à,
– des **protéines associées** qui interviennent dans la **réalisation de l'organisation structurale des fibres du cytosquelette.**

Chez les **végétaux**, la forme de la cellule étant principalement définie par l'interaction pression osmotique/résistance de la paroi, on constate une moindre importance du cytosquelette : **absence** de **microfilaments** d'**actine** et de **filaments intermédiaires** (**sauf au niveau du noyau**).
Seul le réseau de **microtubules** est **développé**. Il est plaqué contre la membrane (Fig. 7) et on pense qu'i intervient dans le sens de synthèse des fibres de cellulose de la paroi squelettique

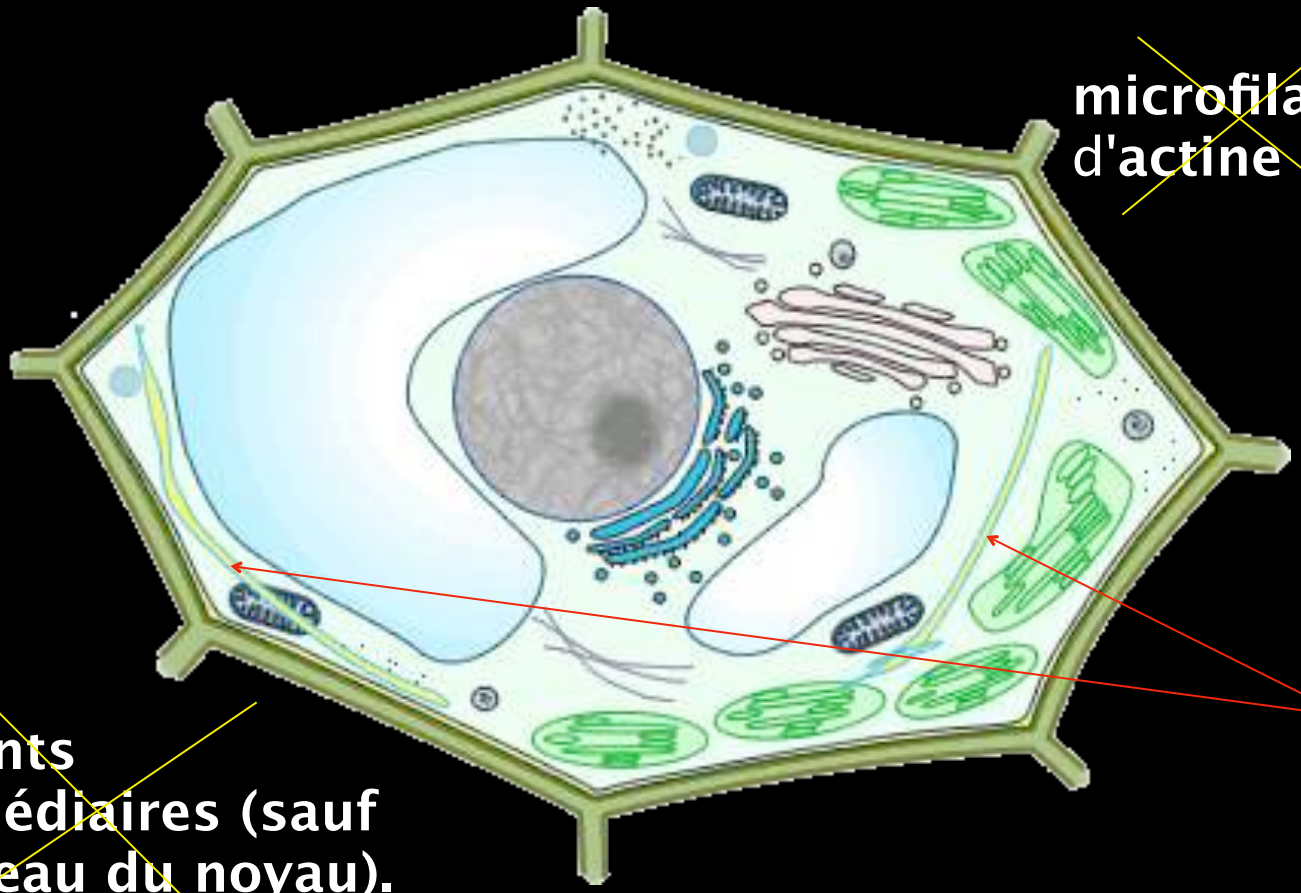


Cytosquelette des cellules animales



Cytosquelette des cellules végétales

Chez les végétaux, la forme de la cellule étant principalement définie par l'interaction pression osmotique/résistance de la paroi, on constate une moindre importance du cytosquelette :→ →



microfilaments d'actine

filaments intermédiaires (sauf au niveau du noyau).

Filaments intermédiaires

Fonctions du cytosquelette

(1) Structure et support (2) Transport intracellulaire (3) Contractilité et motilité (4) Organisation spatiale

(1) Filament d'actine **(2) Microtubules**

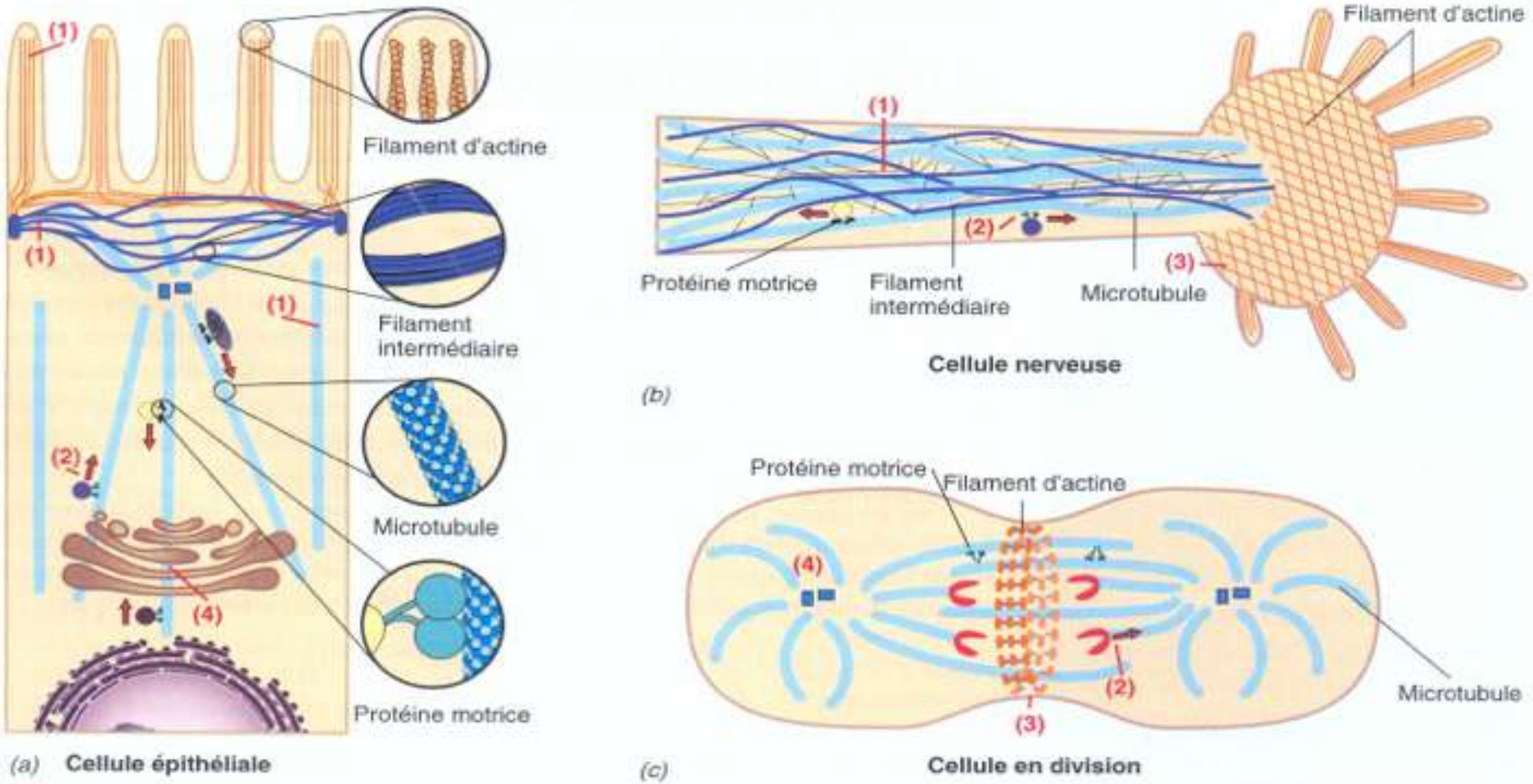
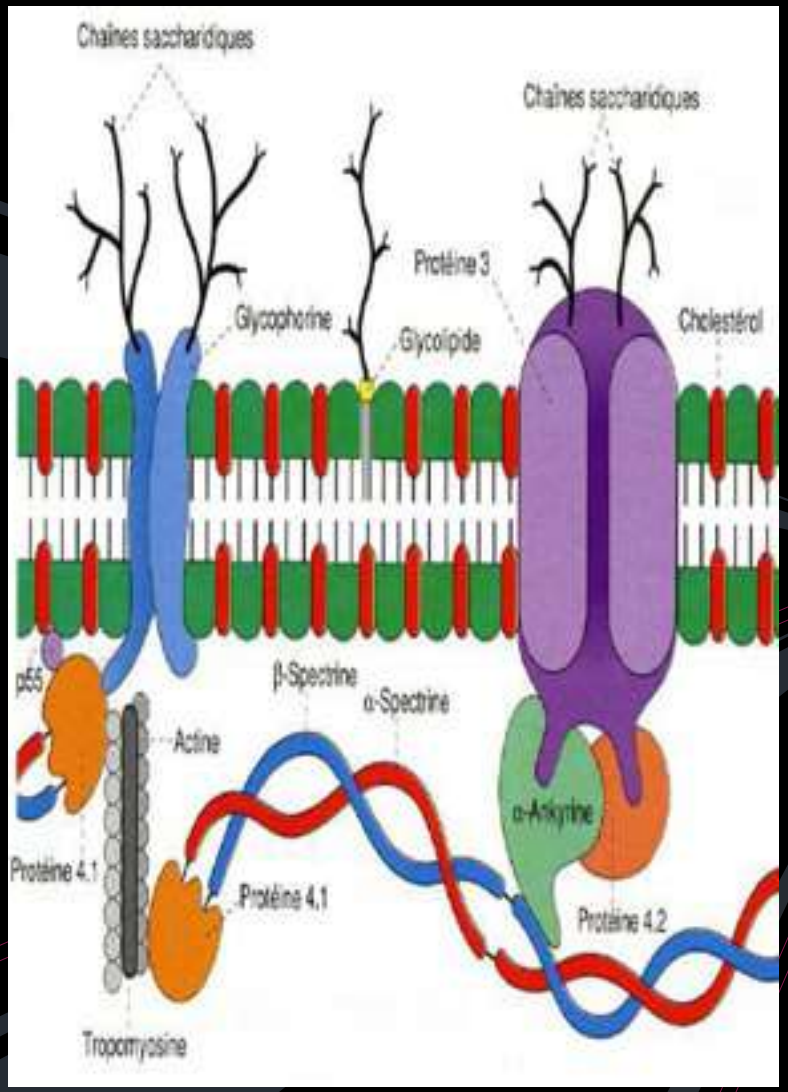


Figure 9.1 Aperçu général de la structure et des fonctions du cytosquelette. Représentation schématique (*a*) d'une cellule épithéliale, (*b*) d'une cellule nerveuse et (*c*) d'une cellule en division. Les microtubules des cellules épithéliale et nerveuse servent surtout de soutien et de moyen de transport pour les organites, tandis que la cellule en division produit le fuseau mitotique indispensable à la ségrégation des chromosomes. Les filaments intermédiaires apportent un soutien structural aux cellules épithéliale et nerveuse. Les microfilaments supportent les microvillosités de la cellule épithéliale et font partie intégrante du mécanisme impliqué dans l'élongation de la cellule nerveuse et dans la division cellulaire.

Cytosquelette sous-membranaire de l'hématie



Cytosquelette ancré à la membrane plasmique par

plusieurs protéines

Rôle du cytosquelette de l'hématie

- Maintien de la forme discoïdale biconcave
- Plasticité des hématies

- Déformation des hématies dans la lumière des capillaires de 4 µm de Ø

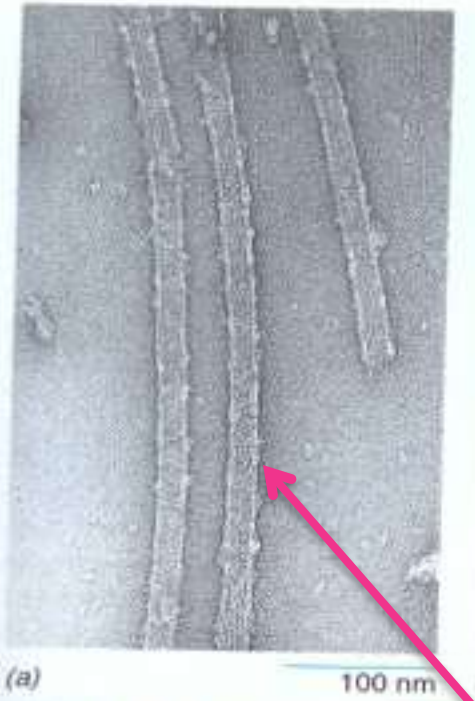
II-4- Les microtubules

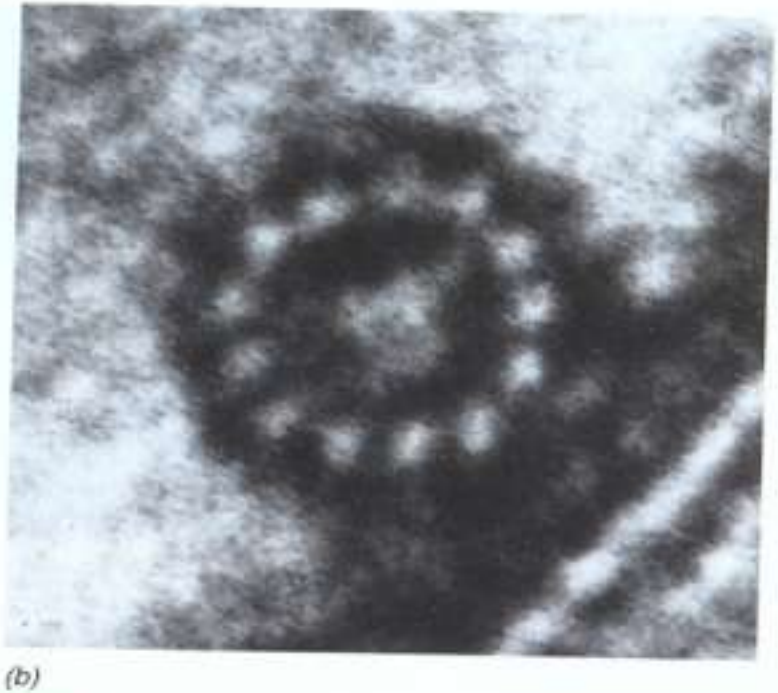
II-4-1- Structure et composition

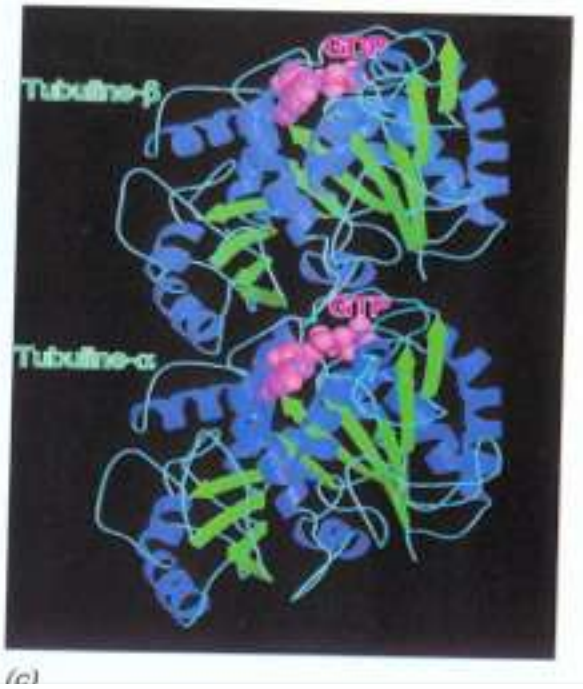
= **Structures cylindriques creuses** présentes dans presque toutes les cellules eucaryotes.

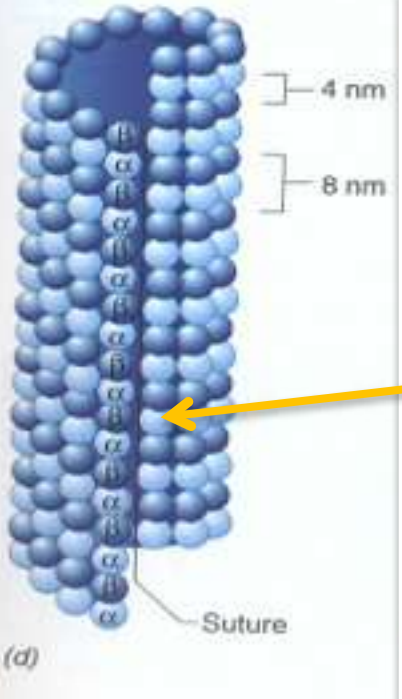
- Diamètre d'environ 24 nm,
- Paroi épaisse d'environ 5nm
- Longueur peut atteindre la longueur ou la largeur d'une cellule.

La **paroi** du microtubule est composée de **protéines tubulaires** disposées en rangées longitudinales = **protofilaments**, alignés parallèlement au grand axe du tubule (Fig. 8.9a).

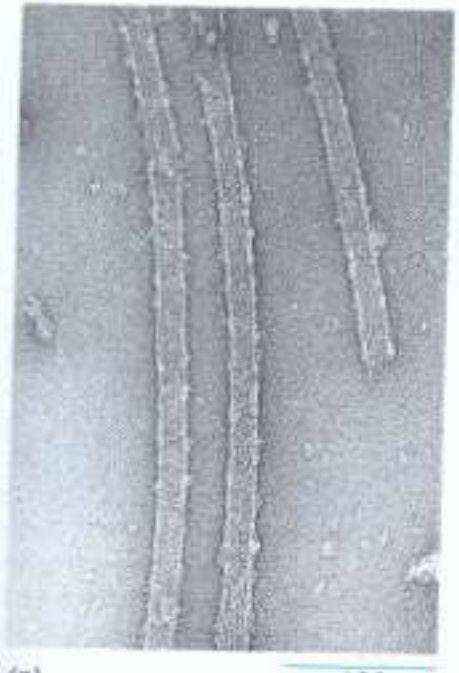


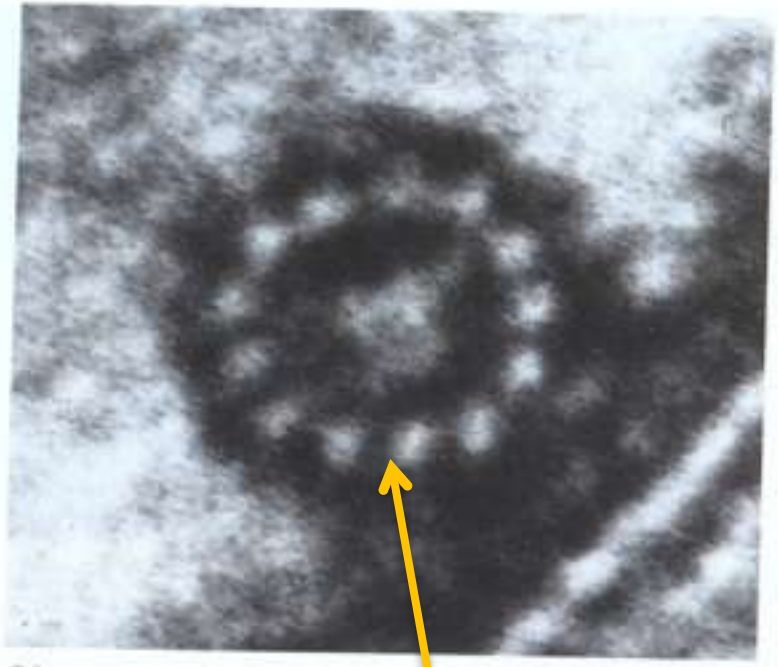


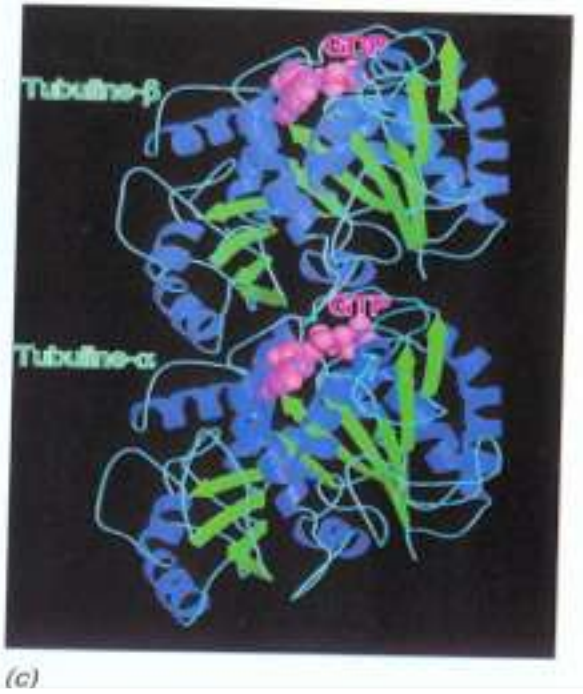


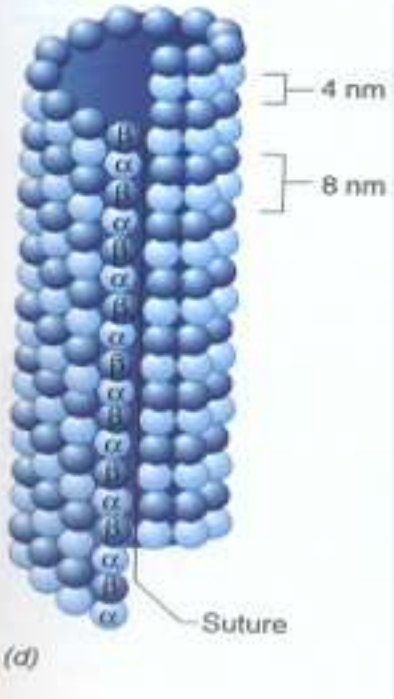


La **paroi** du microtubule est composée de **protéines tubulaires** disposées en rangées longitudinales = **protofilaments**, alignés parallèlement au grand axe du tubule (a,d).

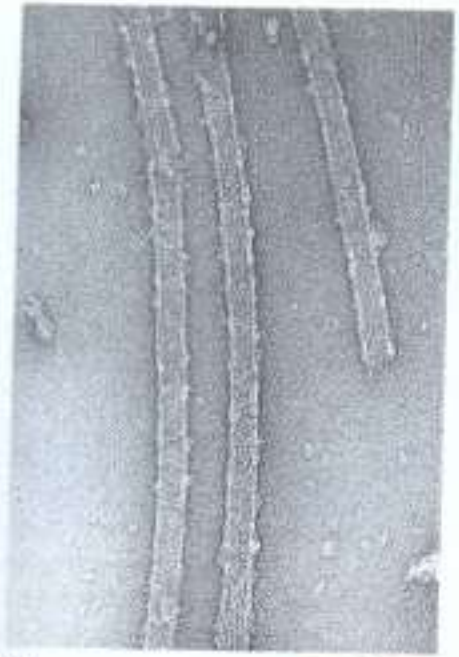


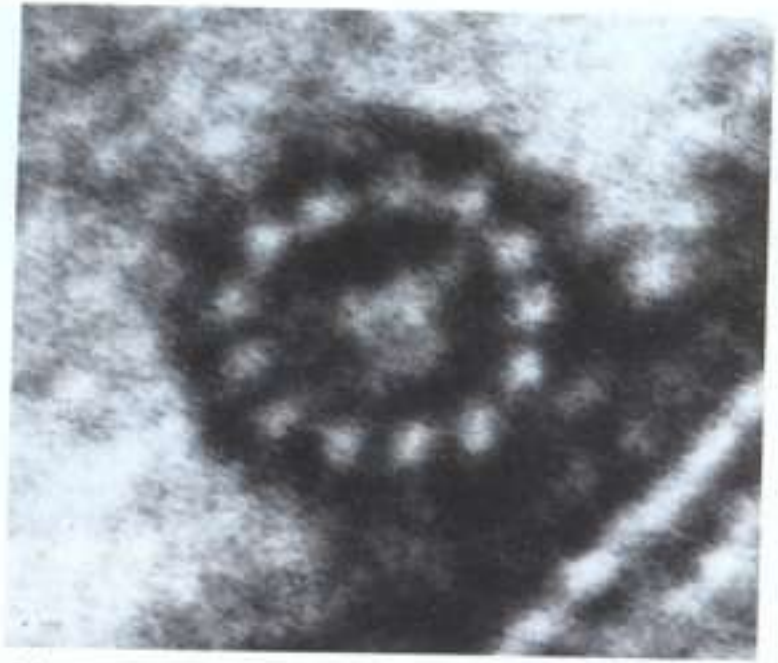


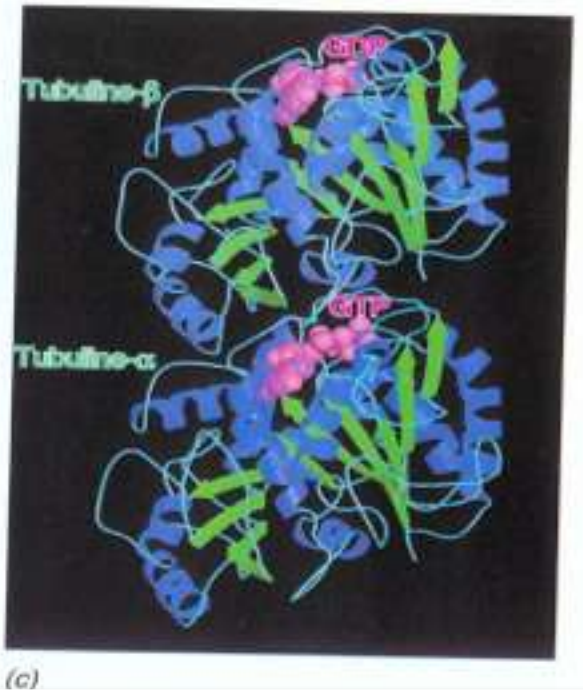


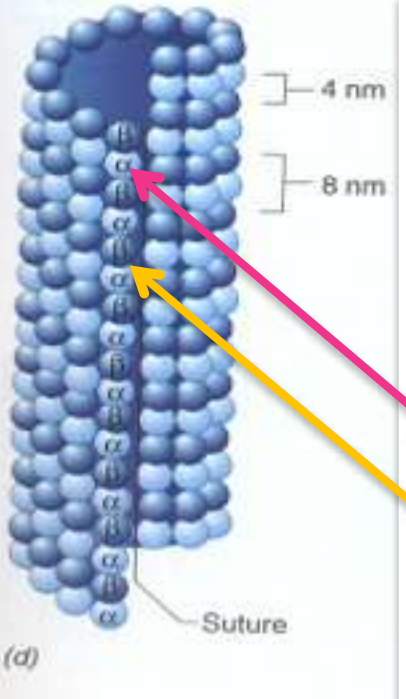


En coupe transversale,
les microtubules montrent
13 protofilaments disposés en
cercle dans la cellule (b).





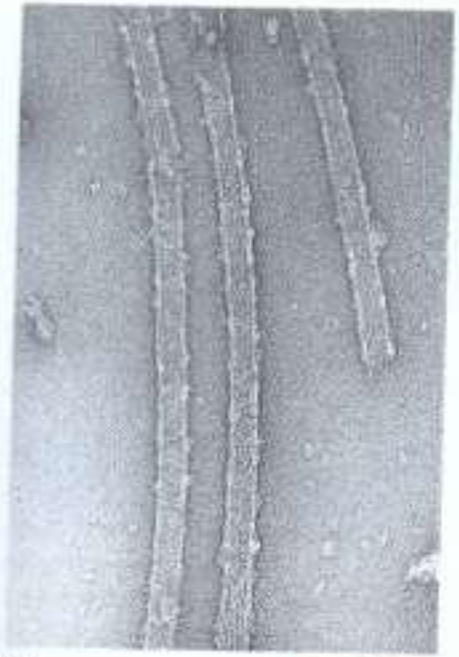


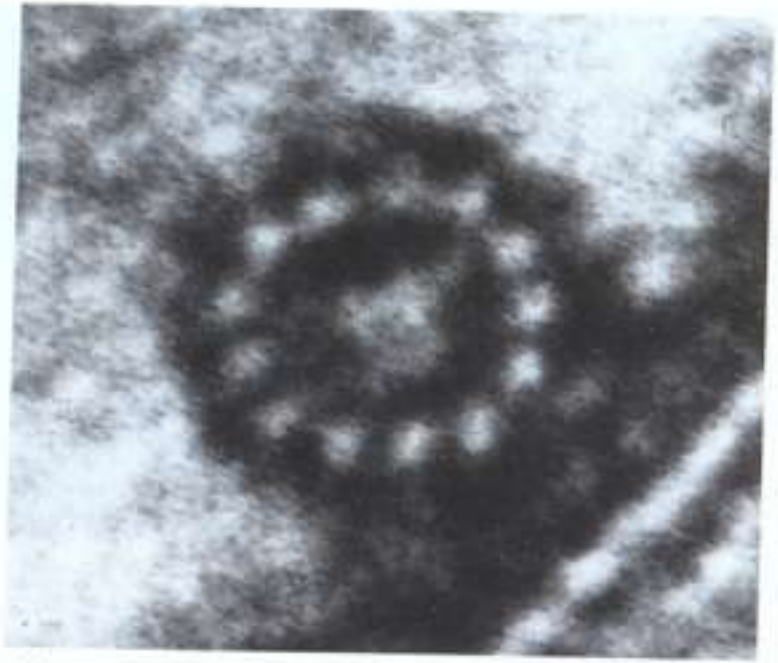


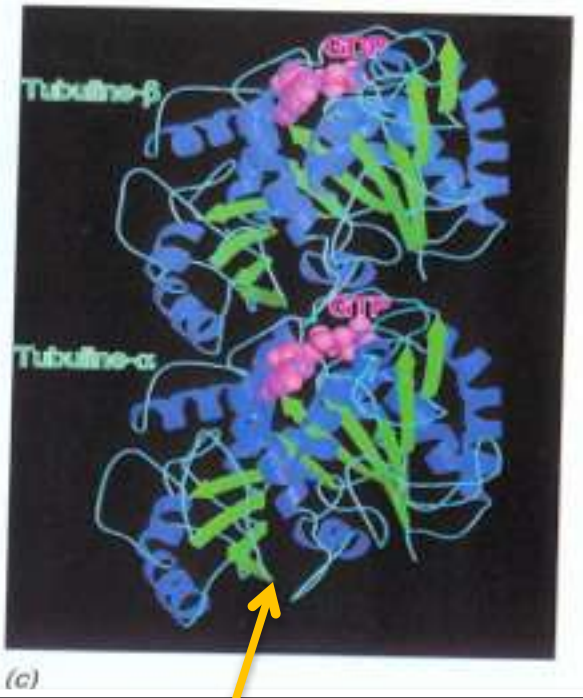
Chaque **protofilament** est lui-même constitué de deux hétérodimères de **tubuline** :

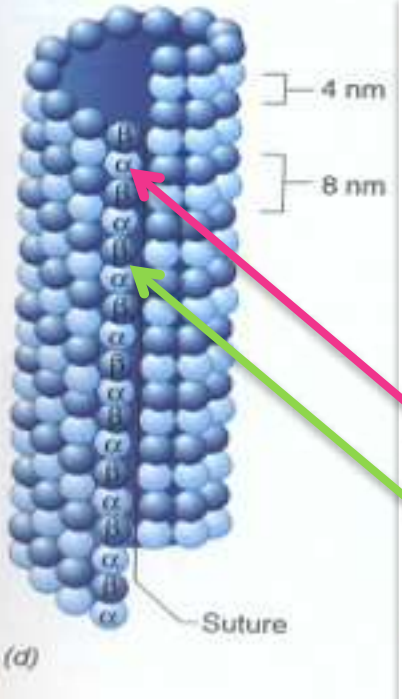
- **tubuline-alpha α**
- **tubuline-beta β**

reliés par des liaisons non-covalentes.



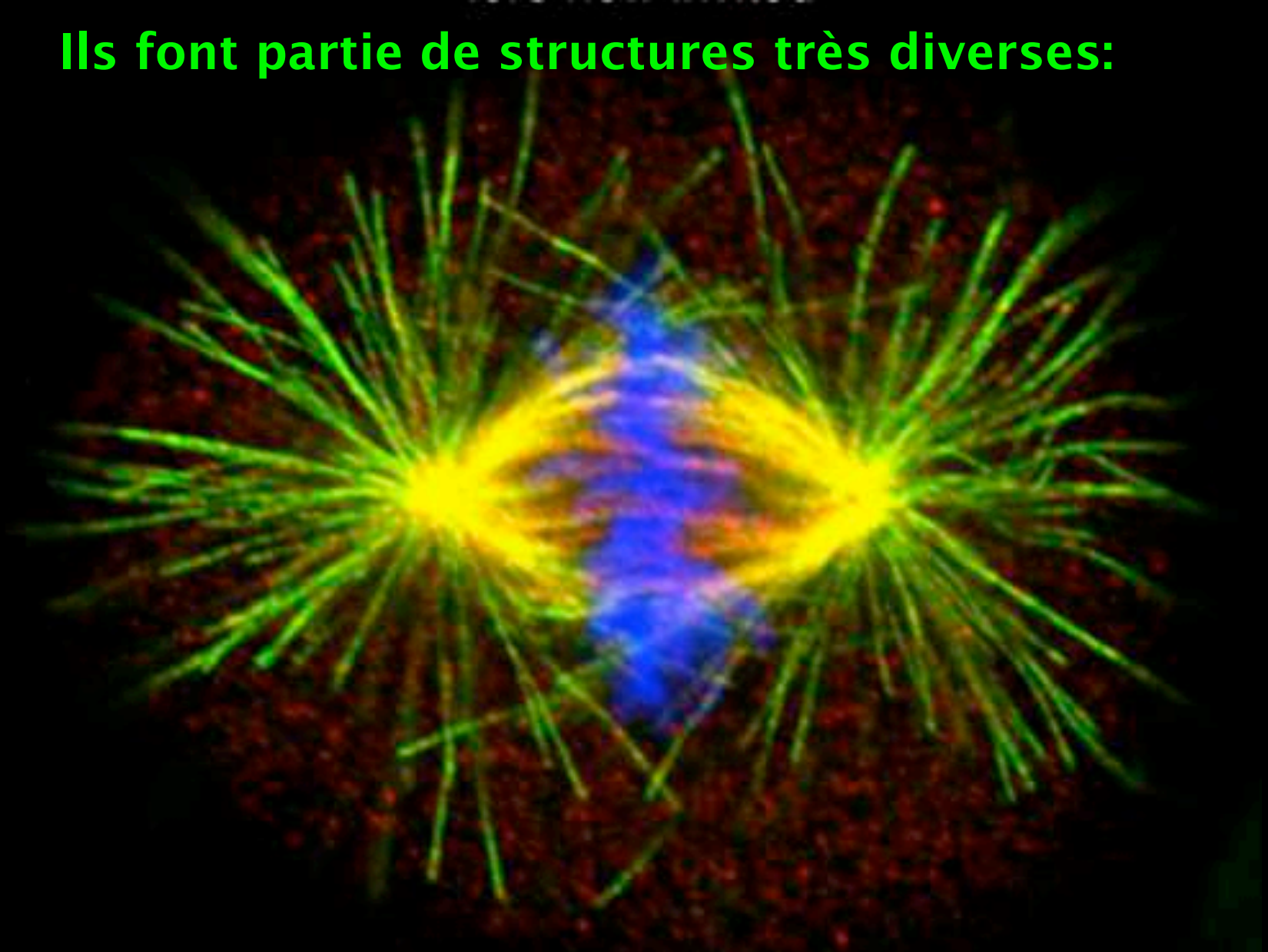






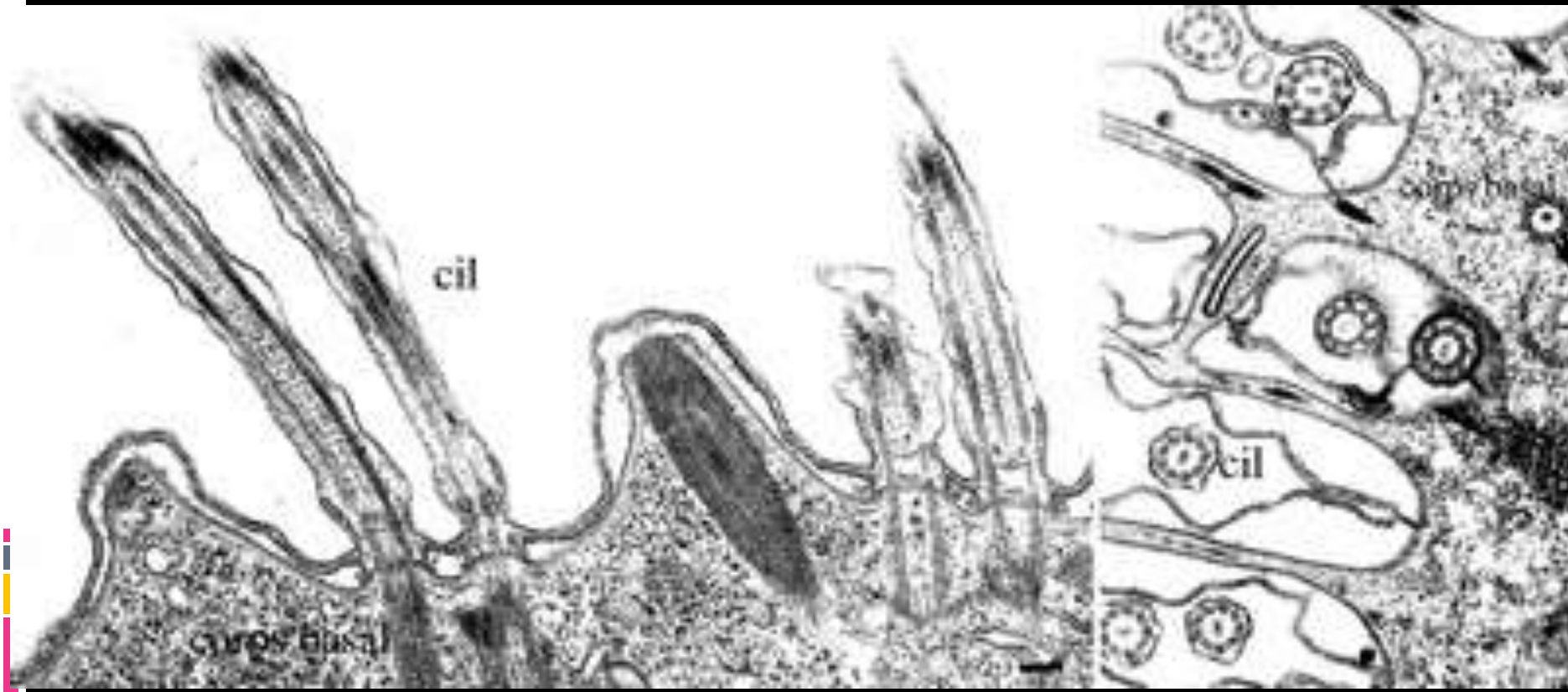
Les deux sous-unités de tubuline ont la même structure tridimensionnelle, s'adaptent l'une à l'autre (c) et sont réparties linéairement le long des protofilaments (d).

Ils font partie de structures très diverses:



Le fuseau achromatique d'une cellule en division

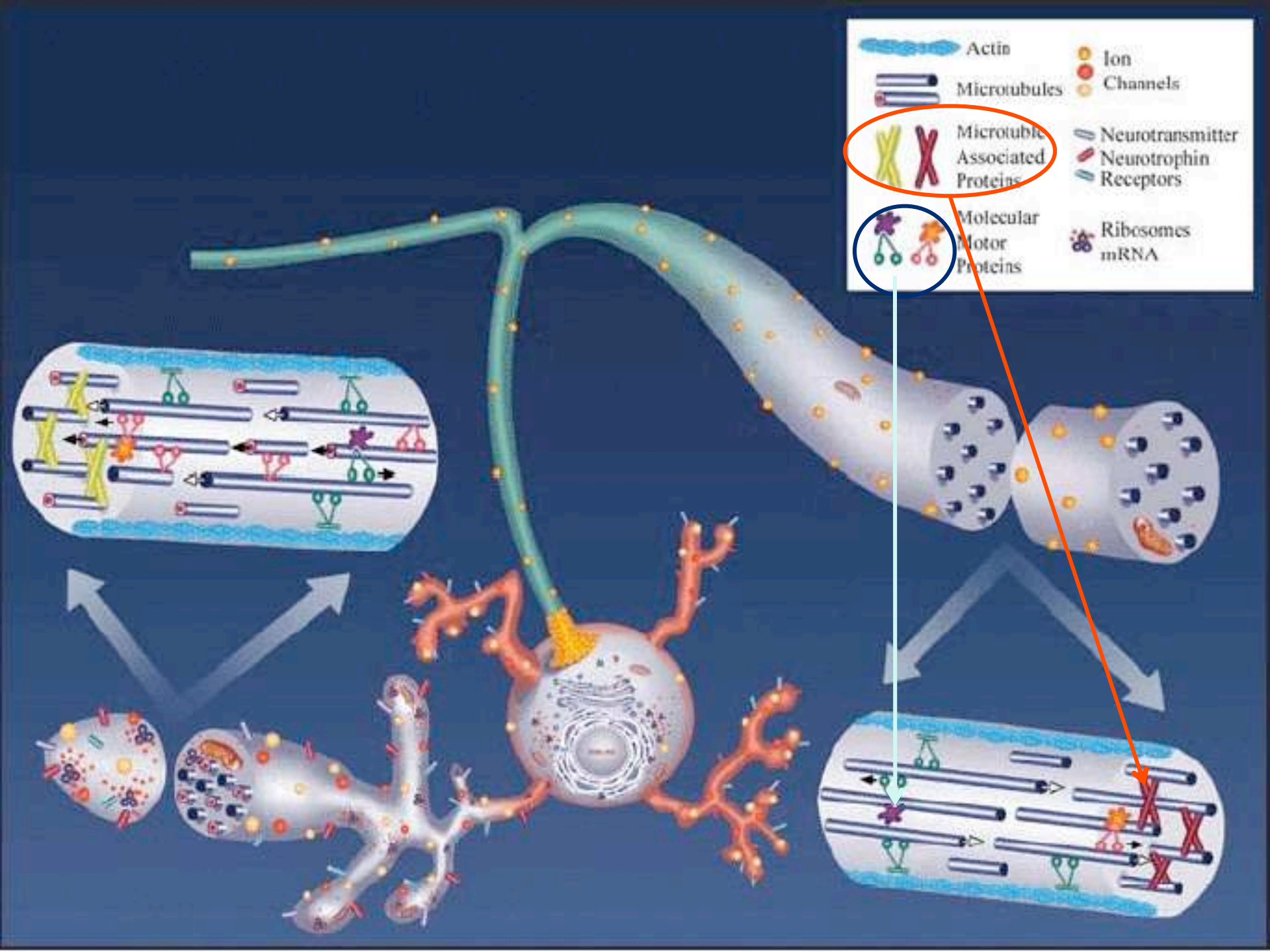
Ils font partie de structures très diverses:



L'axe des cils et flagelles.

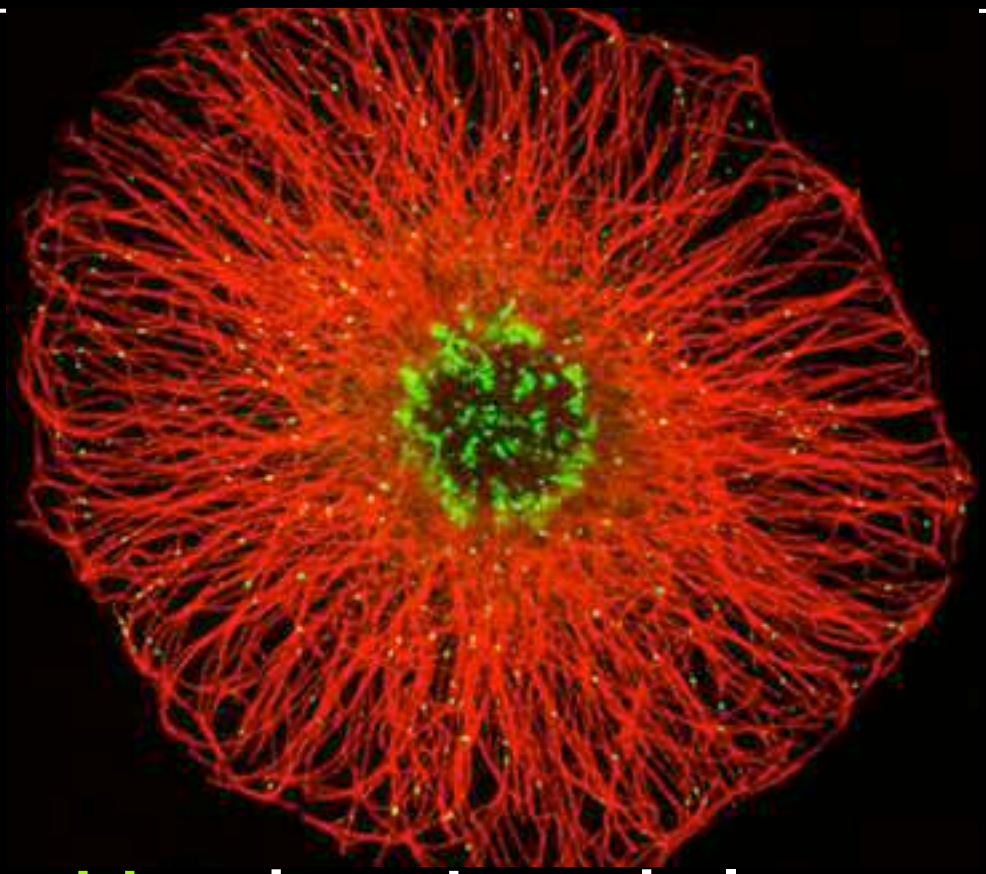
II-4-2- Les protéines associées

- Il existe des **protéines associées aux microtubules** ou **MAP**, les unes ont un rôle dans la stabilisation des microtubules, les autres sont spécialisées dans le mouvement des vésicules et des **organites** le long des microtubules ; ce sont des **ATPases** :
- Les **kinésines** et,
- Les **dynéines** qui transportent des vésicules dans des sens opposés.


Actin
Microtubules
Microtubule Associated Proteins
Molecular Motor Proteins
Ion Channels
Neurotransmitter
Neurotrophin
Receptors
Ribosomes
mRNA

II-4-3- Rôle des microtubules

II-4-3-1- Les microtubules = supports structuraux

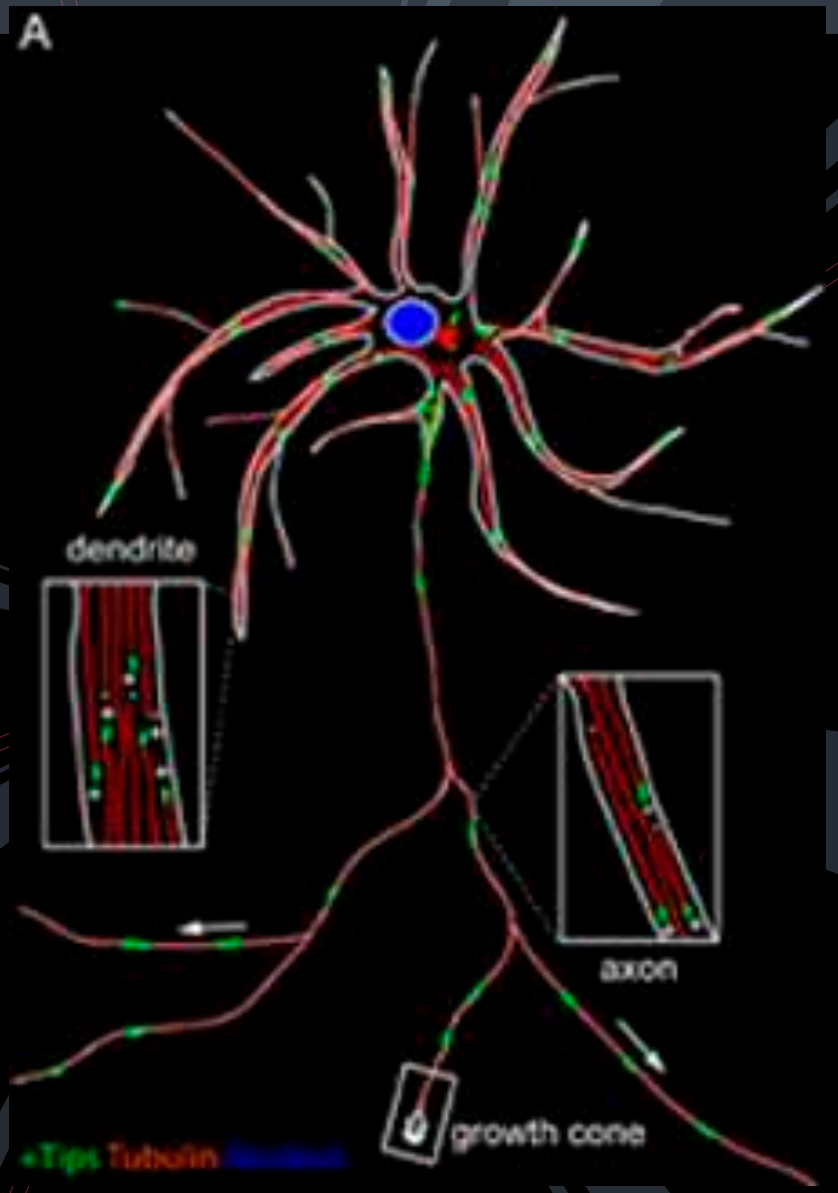


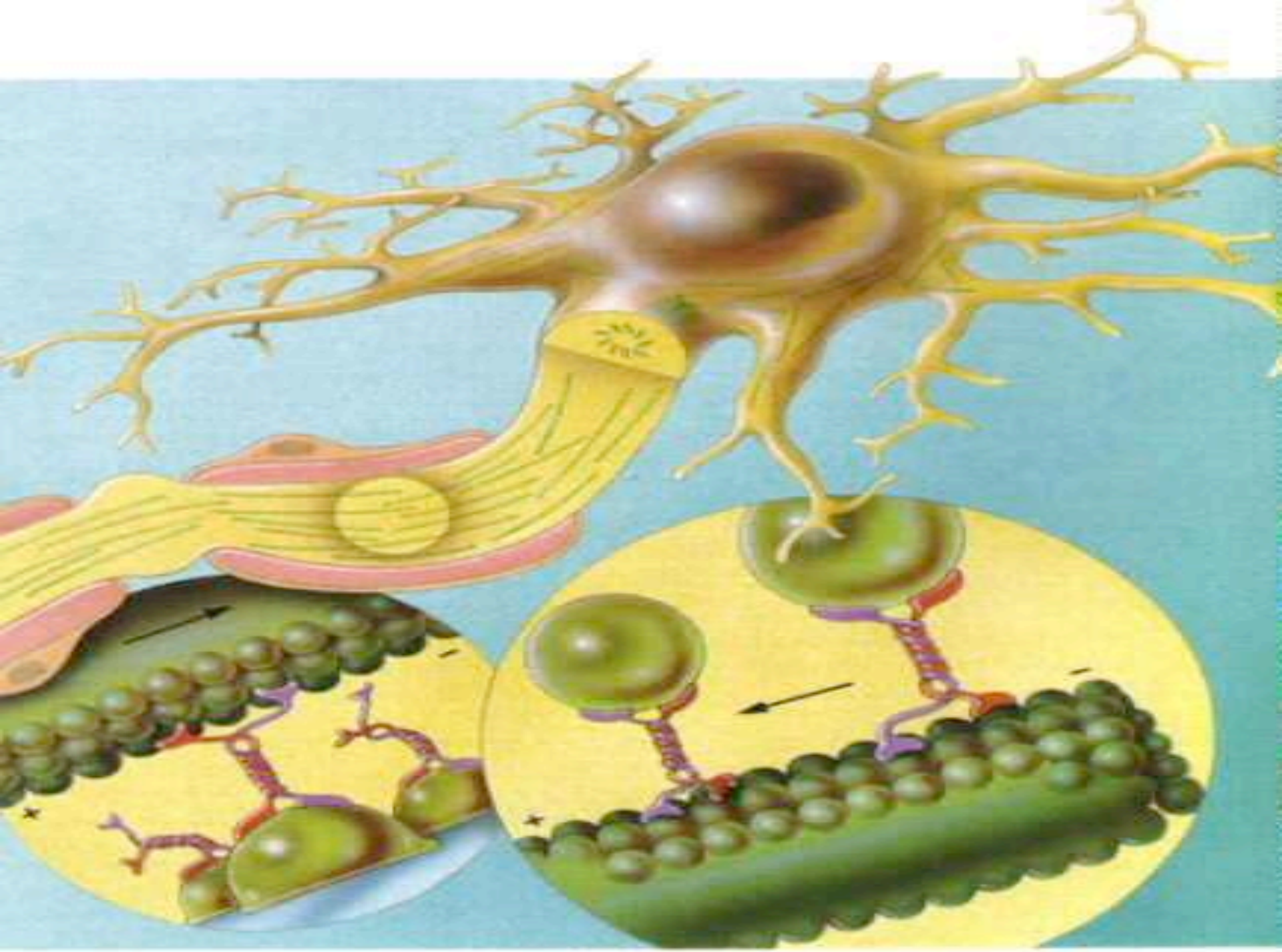
La répartition des microtubules est généralement en rapport avec la forme de la cellule.

II-4-3-2- Rôle des microtubules dans le transport cytoplasmique

Les **déplacements cellulaires** se font avec la **concurrence** entre:

- **Les microfilaments d'actine** et
- **les microtubules.**



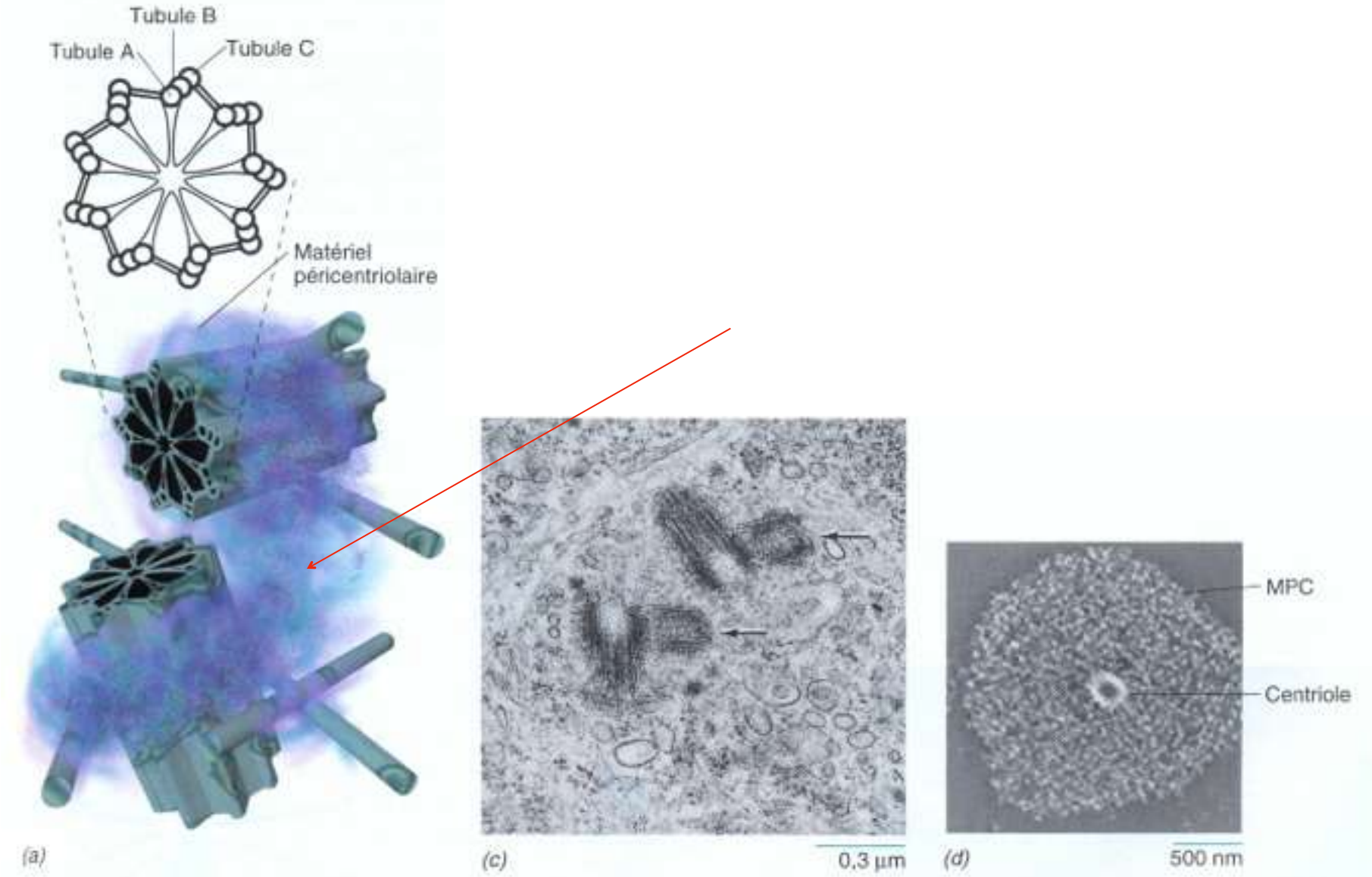


II-4-3-3- Rôle des microtubules dans la mobilité cellulaire

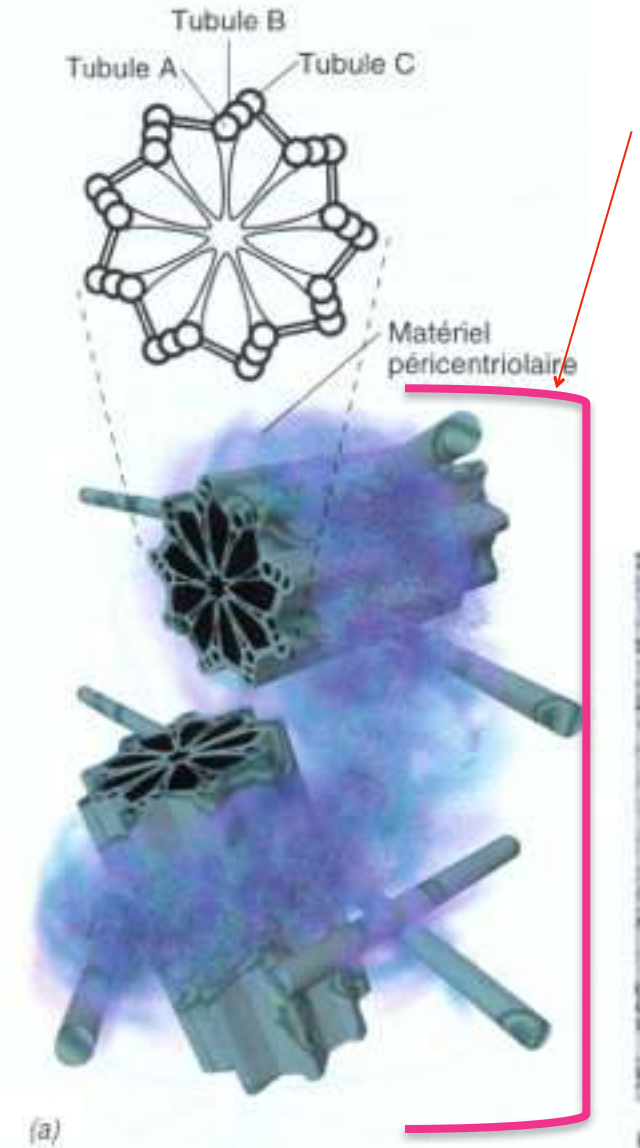
Spermatozoïdes

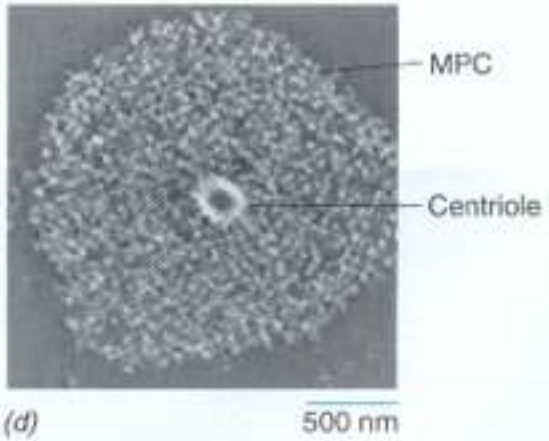
Protozoaire (Paramécie)

II-4-4- Les centres organisateurs des microtubules

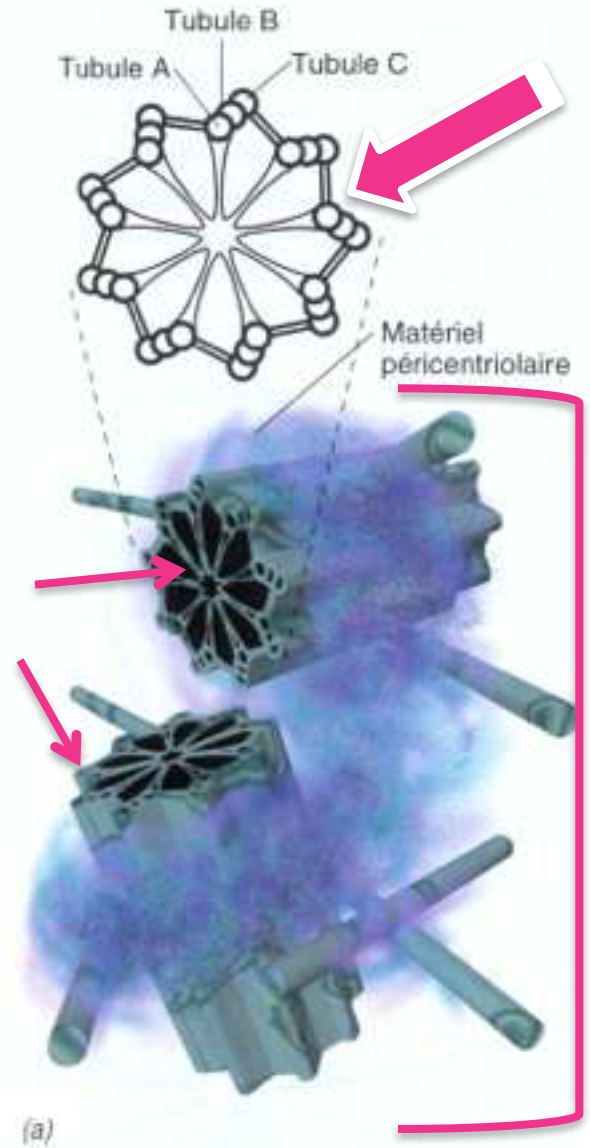


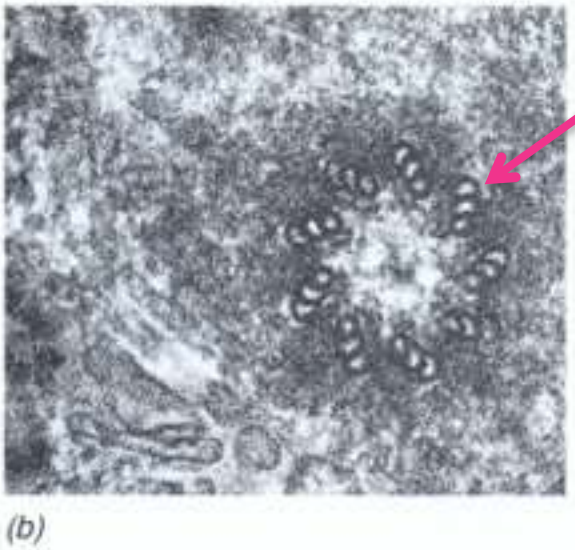
II-4-4- Les centres organisateurs des microtubules





II-4-4- Les centres organisateurs des microtubules



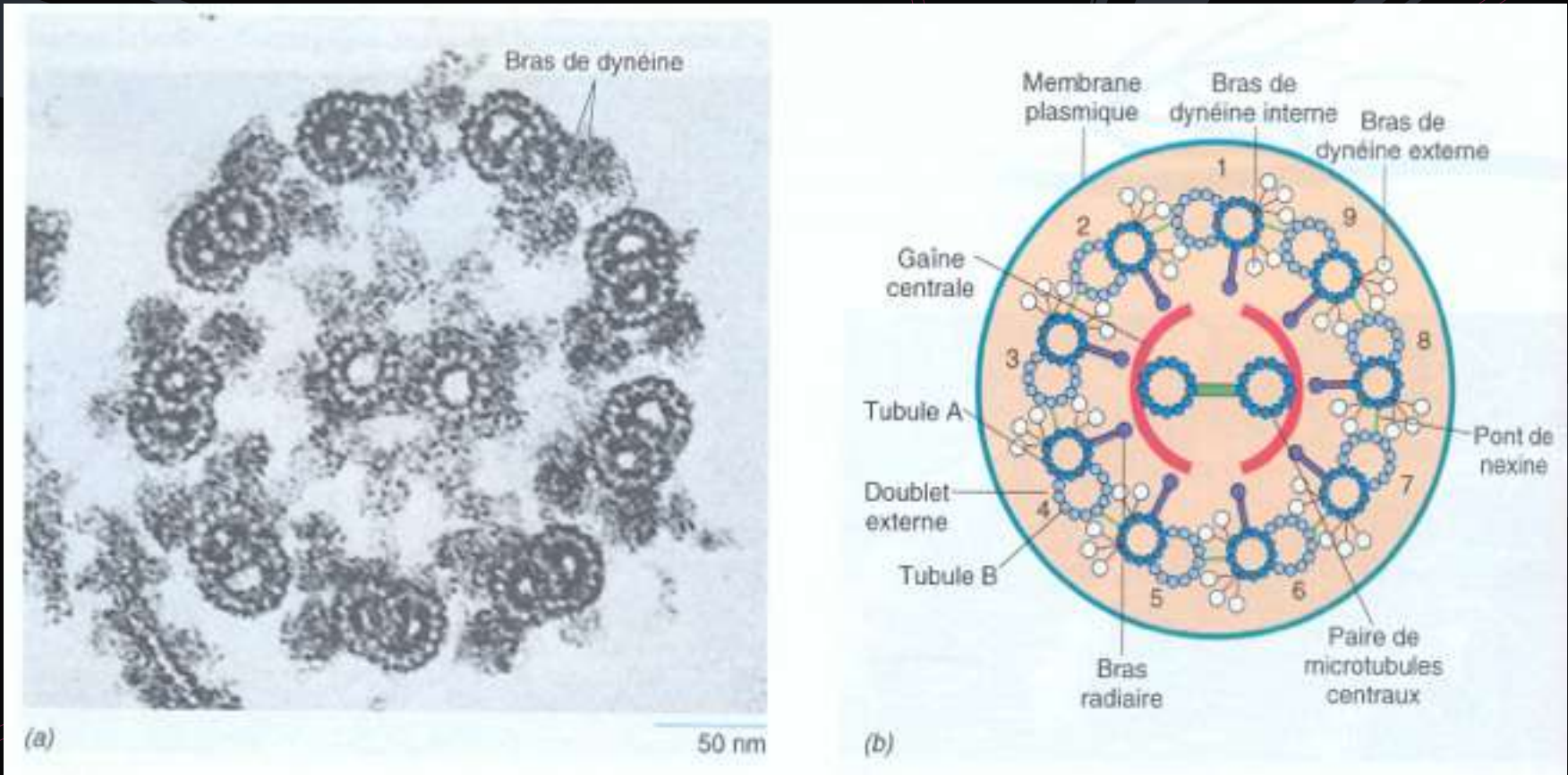


Un centriole est formé de 9 groupes de 3 microtubules.

Un système central et des rayons associent les différents groupes de microtubules.
De plus, les microtubules internes sont reliés aux microtubules externes d'un autre groupe.

II-4-5- Les cils et les flagelles

Au microscope électronique les cils et les flagelles eucaryotes apparaissent, en coupe transversale sous forme d'un arrangement caractéristique de type 9+2, c'est à dire 9 doublets de microtubules formant un cercle autour de 2 microtubules centraux.



Le centre organisateur (corpuscule basal), est un arrangement 9+0.

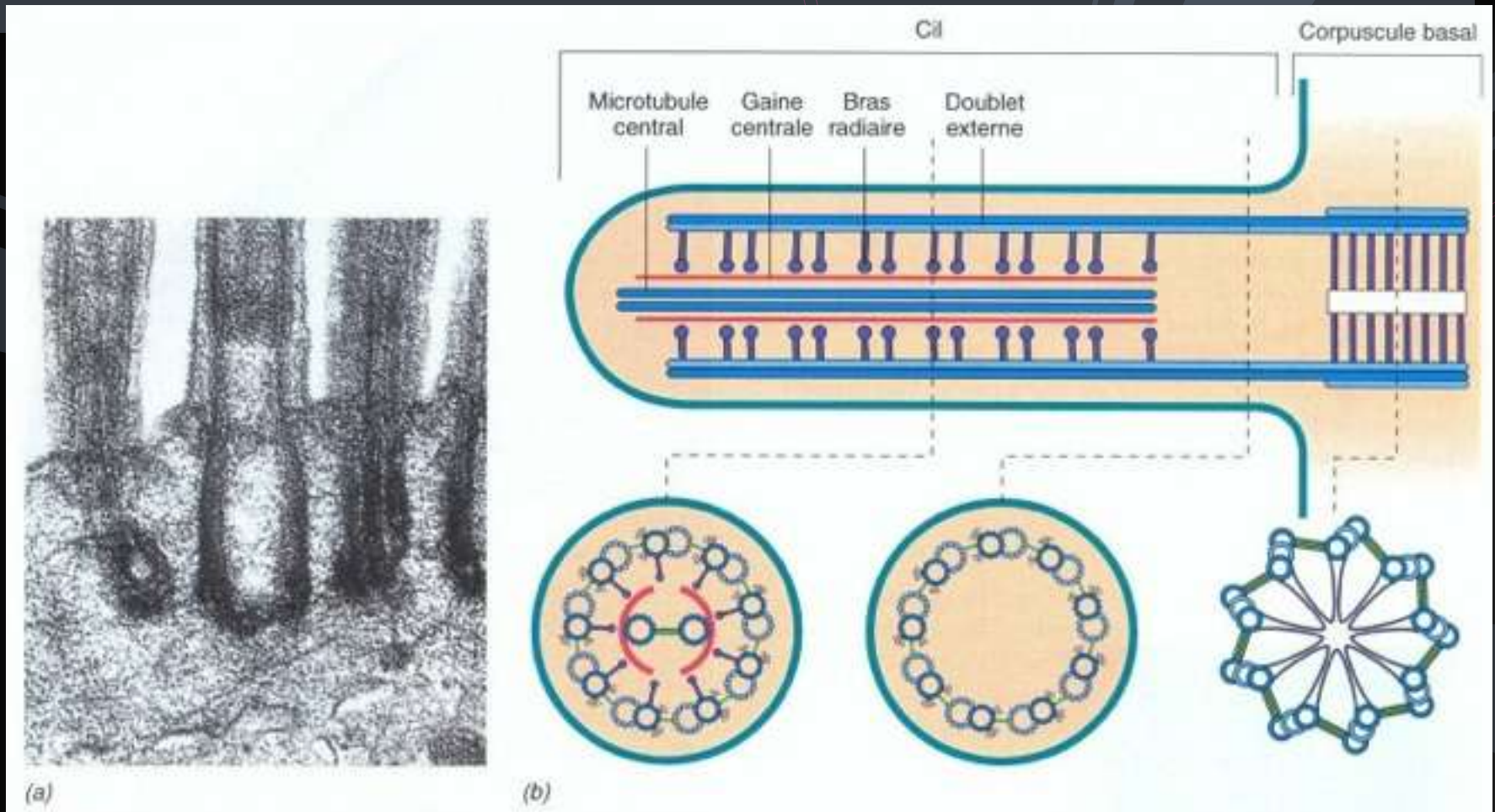
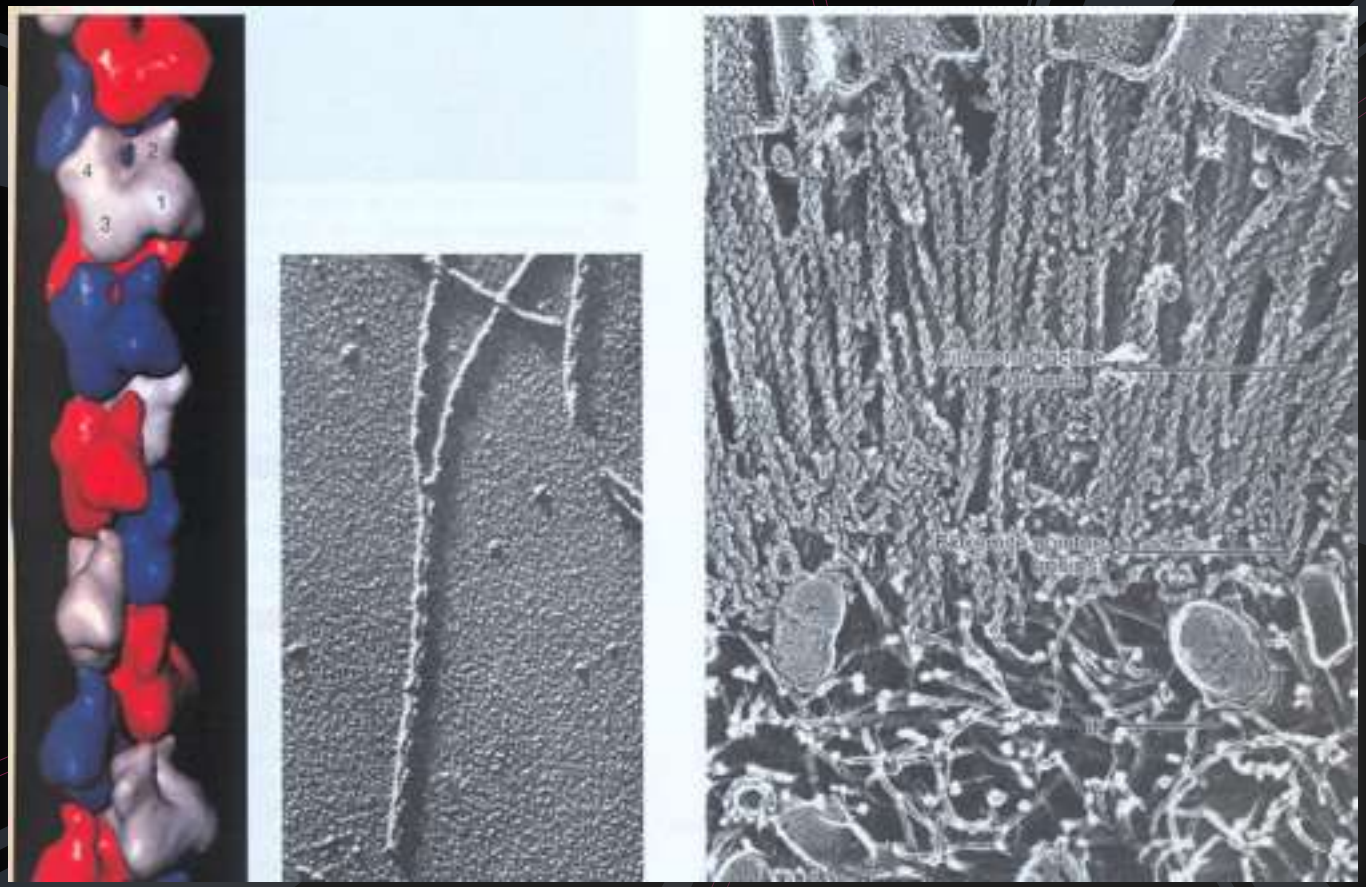


Figure 9.33 Corpuscules de base et axonèmes de cils ou de flagelles. (*a*) Micrographie électronique d'une coupe longitudinale dans les corps de base de plusieurs flagelles à la surface apicale de cellules épithéliales d'un oviducte de lapin. (*b*) Schéma illustrant les relations structurales entre les microtubules du corps de base et de l'axonème d'un cil ou d'un flagelle (*a : Dû à l'obligeance de R.G.W. Anderson*).

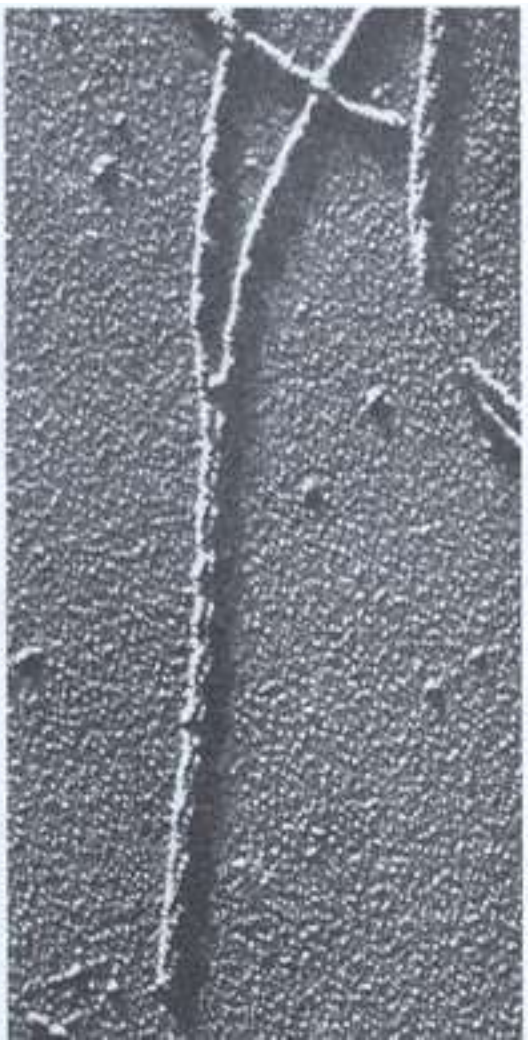
II-1-2- Les microfilaments

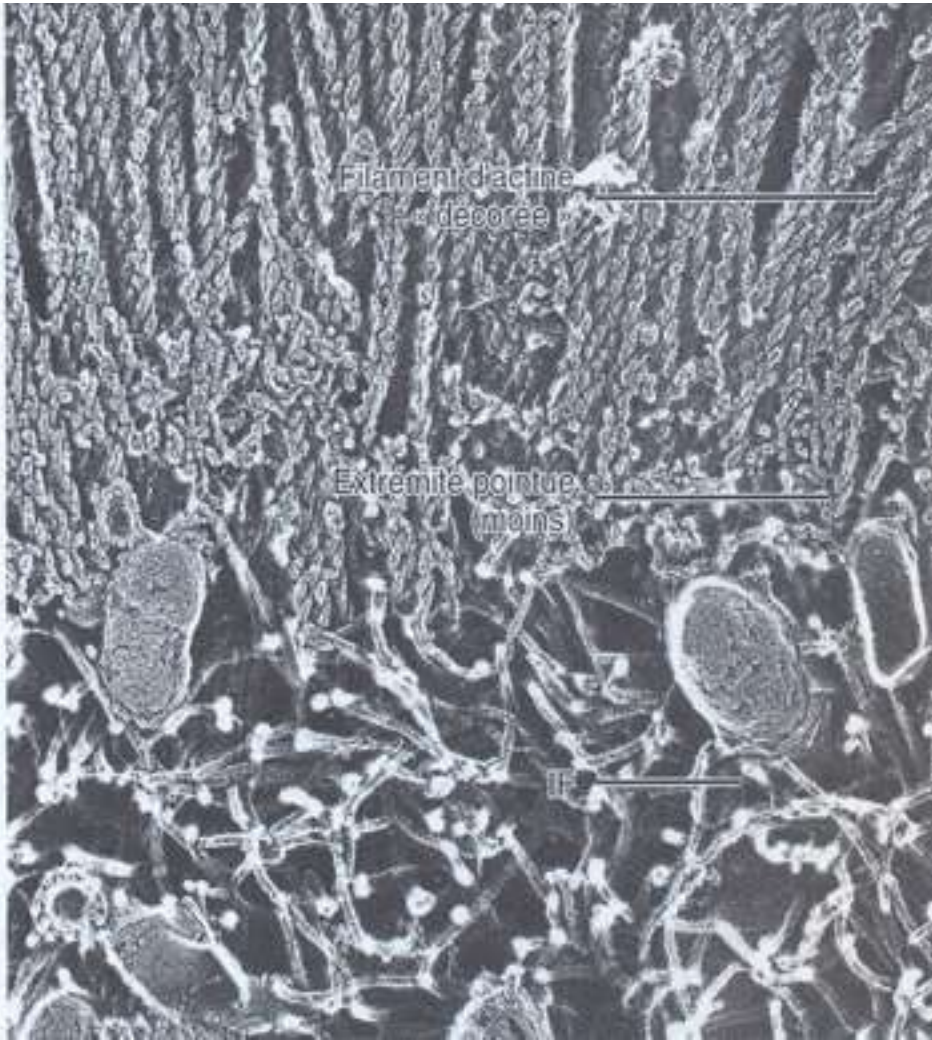
Les microfilaments sont de minces structures pleines, formées de sous-unités globuleuses d'une protéine, l'actine. Ils sont appelés aussi de ce fait, filaments d'actine et sont retrouvés en grande quantité dans les fibres musculaires.



Ils ont un diamètre d'environ 8 nm, et leur longueur peut atteindre 17 µm.

En présence d'ATP, les monomères d'actine se polymérisent pour former un filament rigide composé de deux brins enroulés l'un autour de l'autre en double hélice.





Les microfilaments sont de deux types :

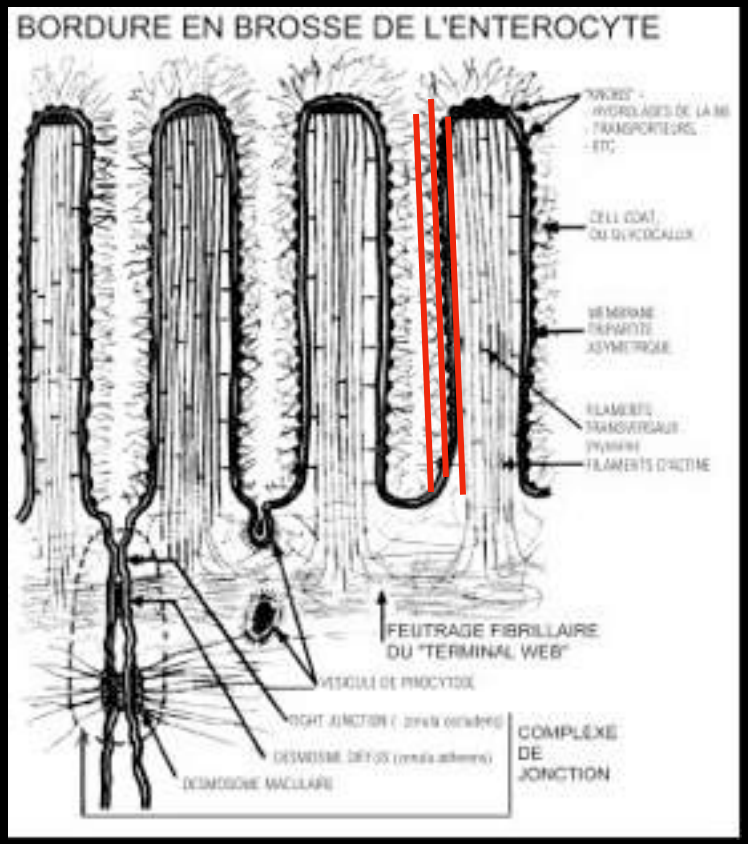
Les tonofilaments

(Kératines constituant de fins filaments)

(rigidité)

Les myofilaments

(faisceaux de molécules de myosine ou d'actine)



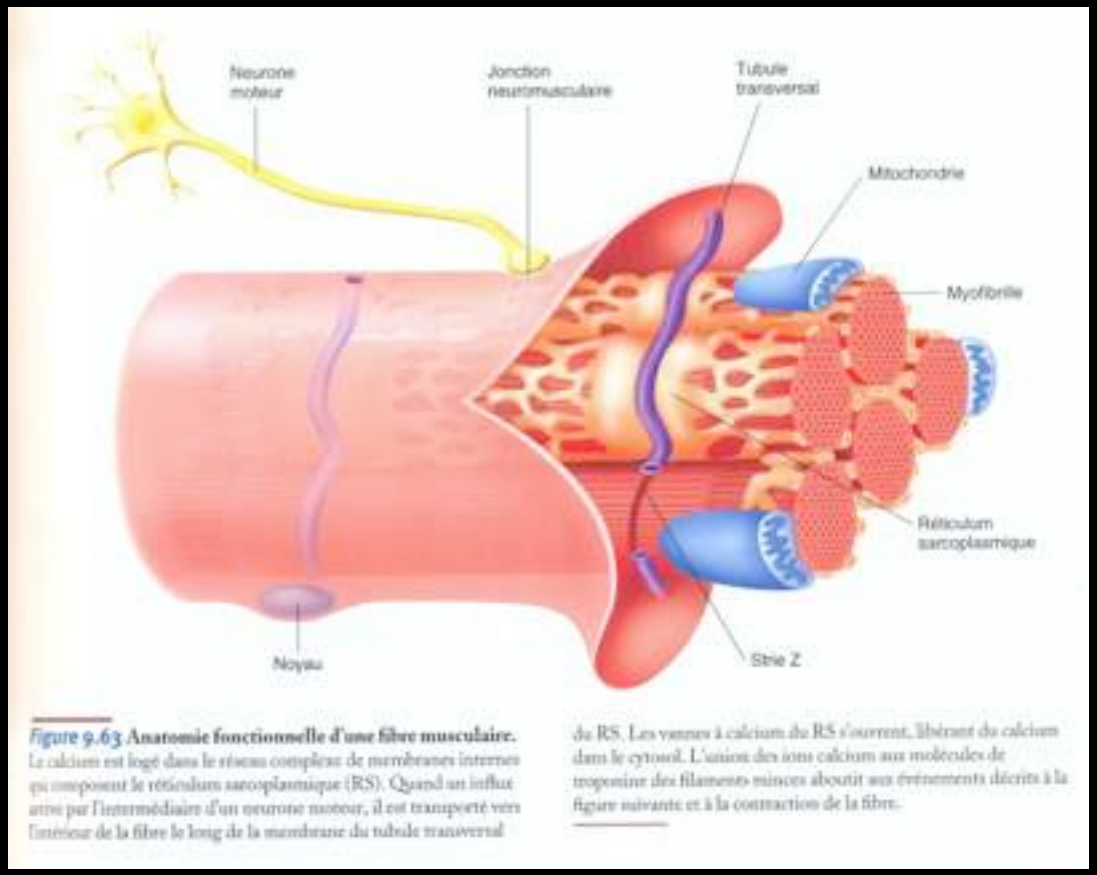
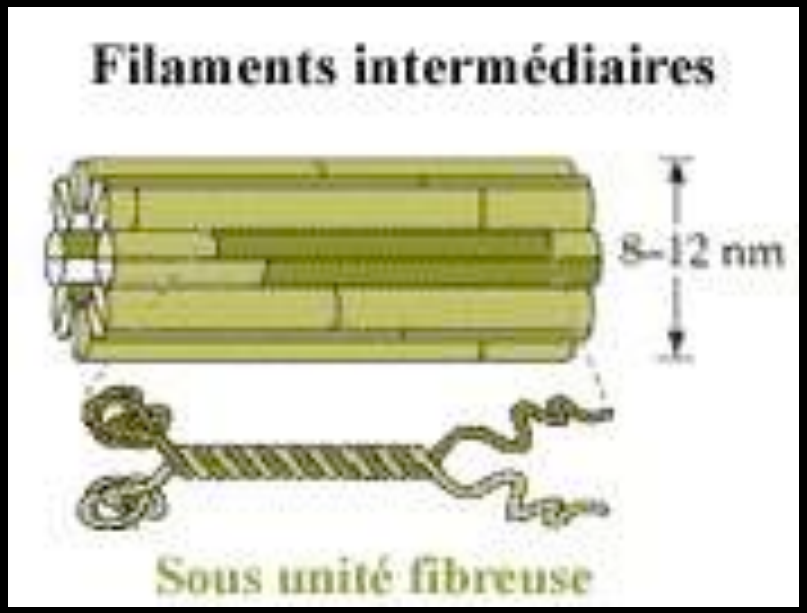
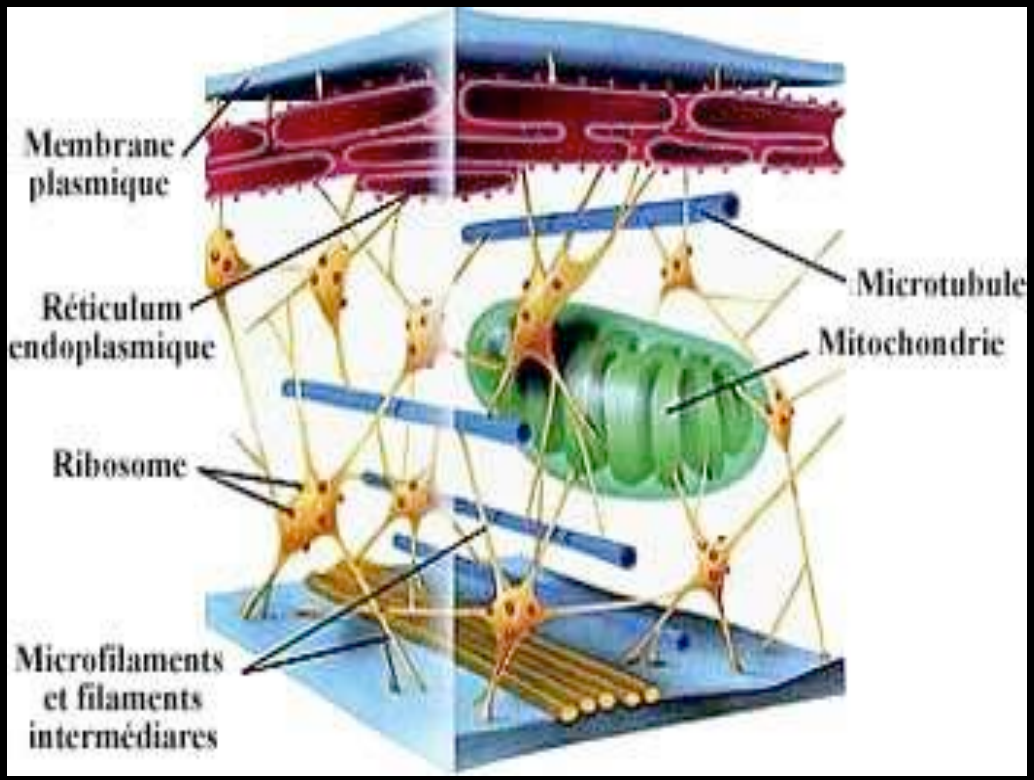


Figure 9.63 **Anatomie fonctionnelle d'une fibre musculaire.** Le calcium est logé dans le réseau complexe de membranes internes qui composent le réticulum sarcoplasmique (RS). Quand un influx arrive par l'intermédiaire d'un neurone moteur, il est transporté vers l'intérieur de la fibre le long de la membrane du tubule transversal du RS. Les vannes à calcium du RS s'ouvrent, libérant du calcium dans le cytosol. L'union des ions calcium aux molécules de troponine des filaments minces aboutit aux événements décrits à la figure suivante et à la contraction de la fibre.

II-1-3- Les filaments intermédiaires

= polymères stables formés de **protéines fibrillaires** assemblées de façon hélicoïdale.
- Taille intermédiaire entre les **microfilaments** d'**actine** et les **microtubules**.

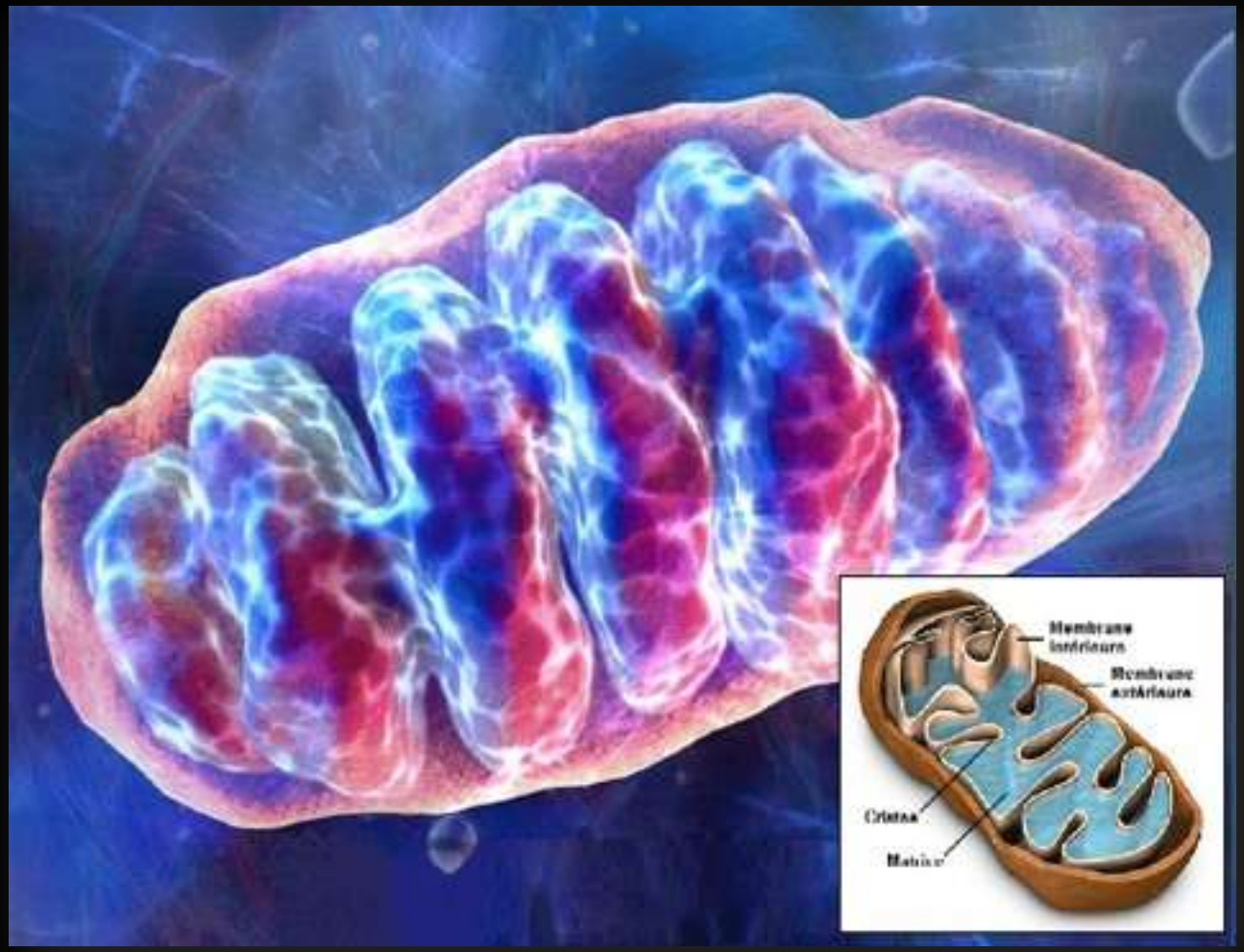




Maintien de la forme cellulaire & ancrage des organites.

LA MITOCHONDRIE

Chapitre IV



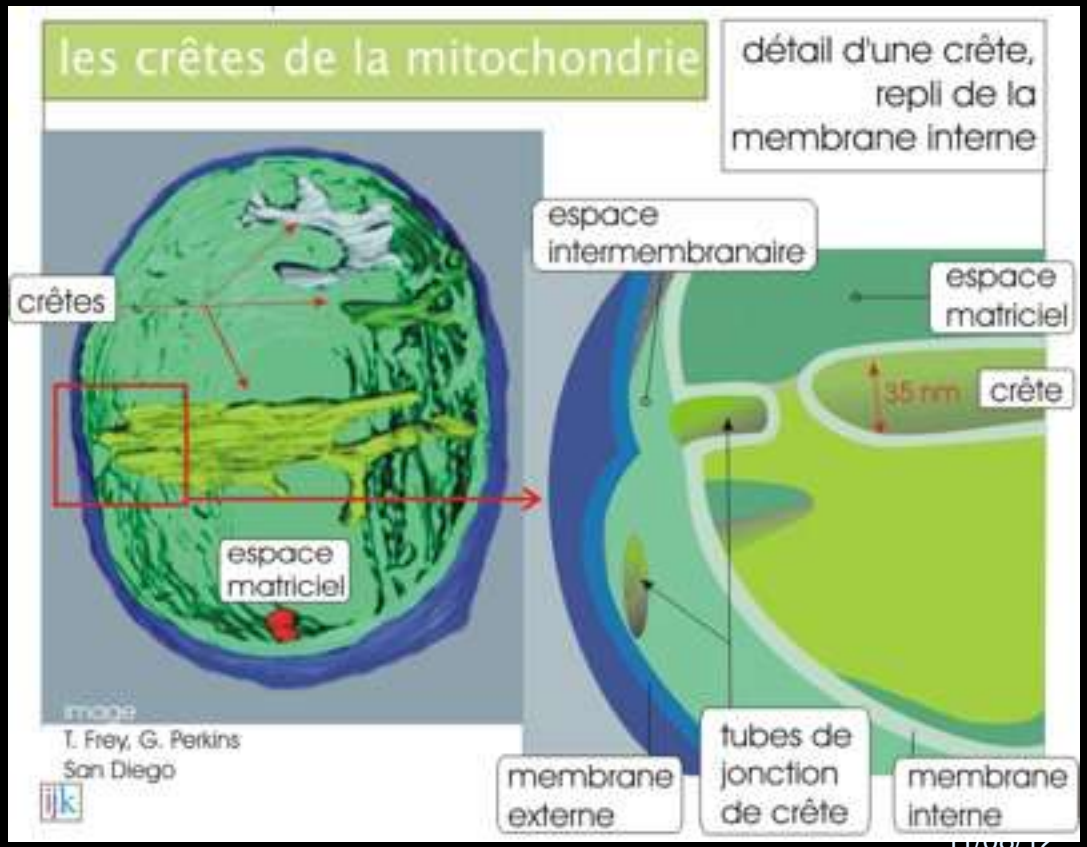
Pr. Boutaïna BELQAT

I- Définition

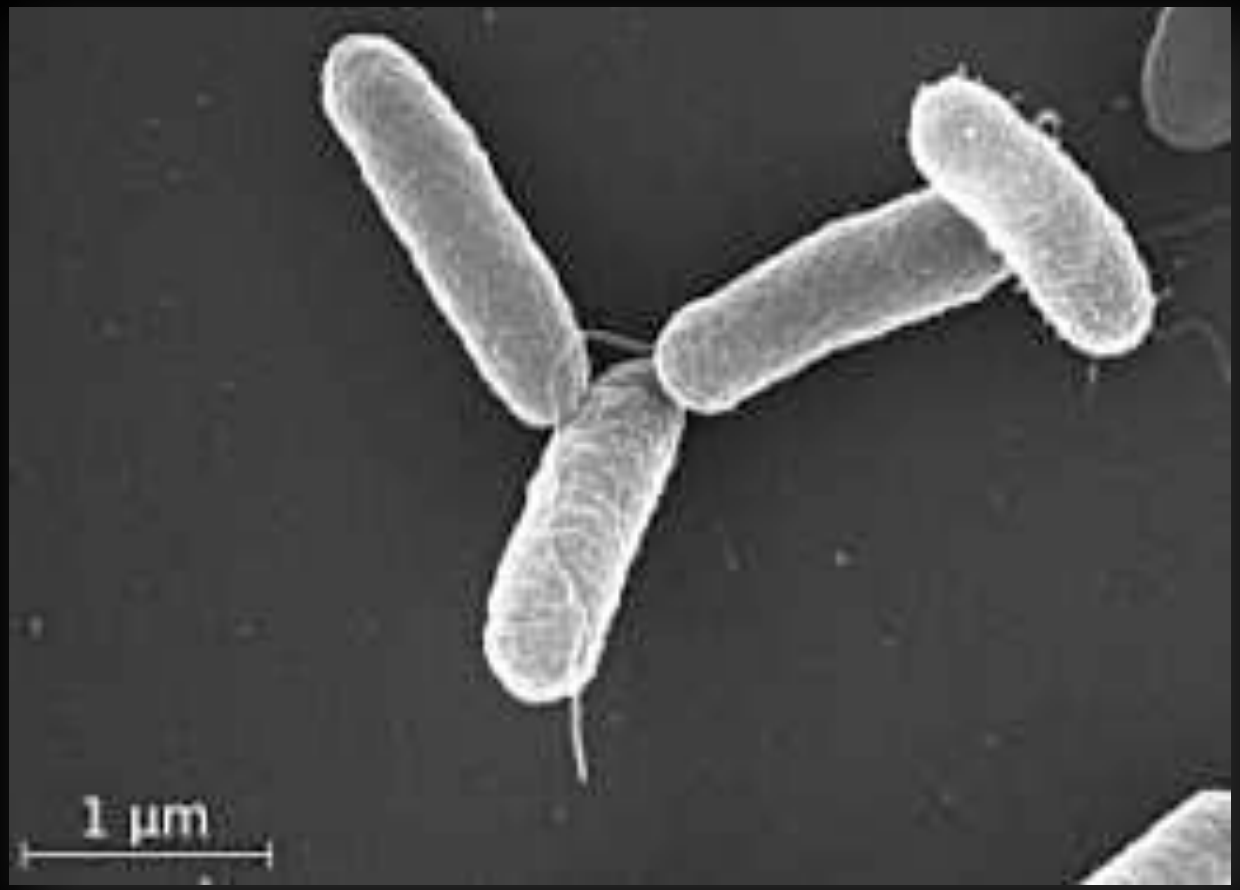
- = organites présents dans toute les cellules aérobies.
  L'ensemble = le chondriome.
- sont limitées par une enveloppe constituée de deux membranes,
- contiennent de l'ADN.
- Elles mettent en réserve, sous forme d'**ATP**, l'énergie libérée par l'oxydation enzymatique des molécules nutritives.
- Elles interviennent dans le **stockage** de **l'énergie** et dans son **transport** sur les lieux où la cellule en a besoin.

II- Structure et morphologie en microscopie optique

- Les mitochondries peuvent être aisément isolées par ultracentrifugation, purifiées et fractionnées en leurs différents constituants qui peuvent ainsi être analysés.



II-1- Forme

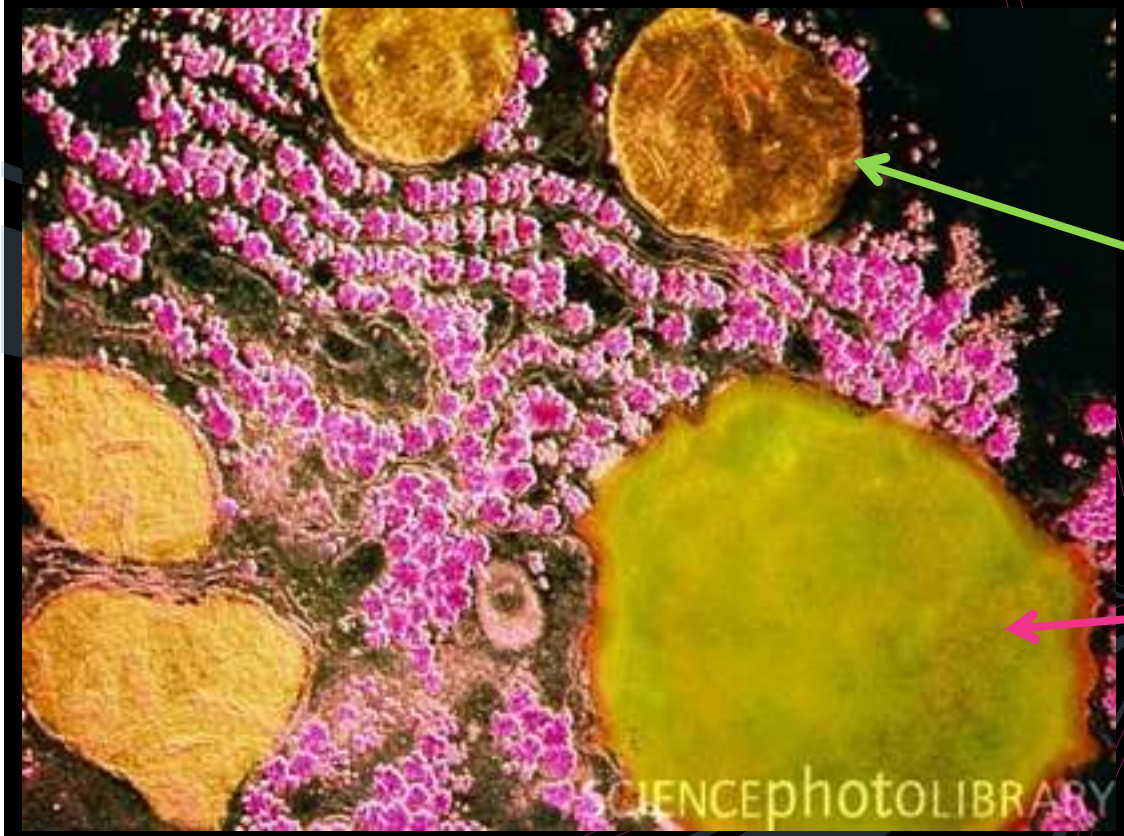


Photographie en <u>microscopie photonique</u> montrant la forme en bâtonnets des mitochondries (coloration au vert Janus).

II-2- Répartition des mitochondries dans la cellule

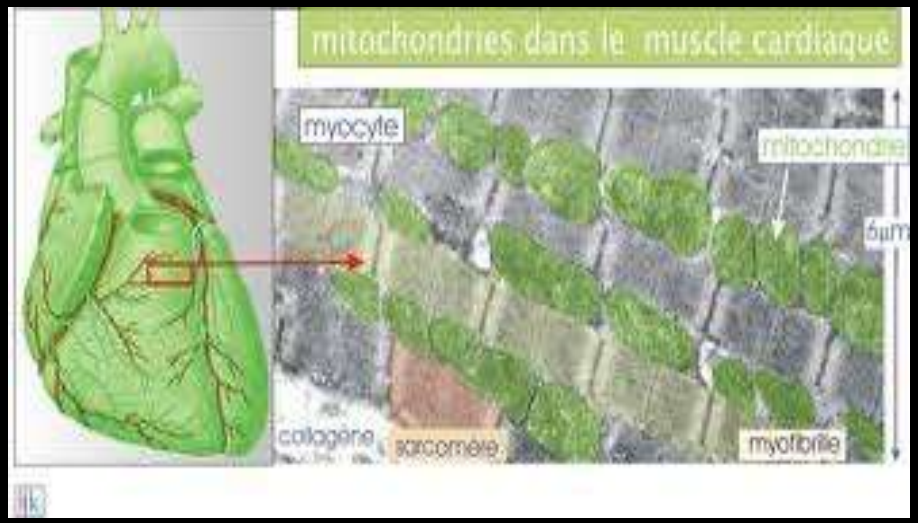
- Les mitochondries se répartissent, bien souvent, uniformément dans le cytosol.
- Mais, c'est la fonction de la cellule qui conditionne leur localisation ;
- Elle dépend des besoins énergétiques locaux.

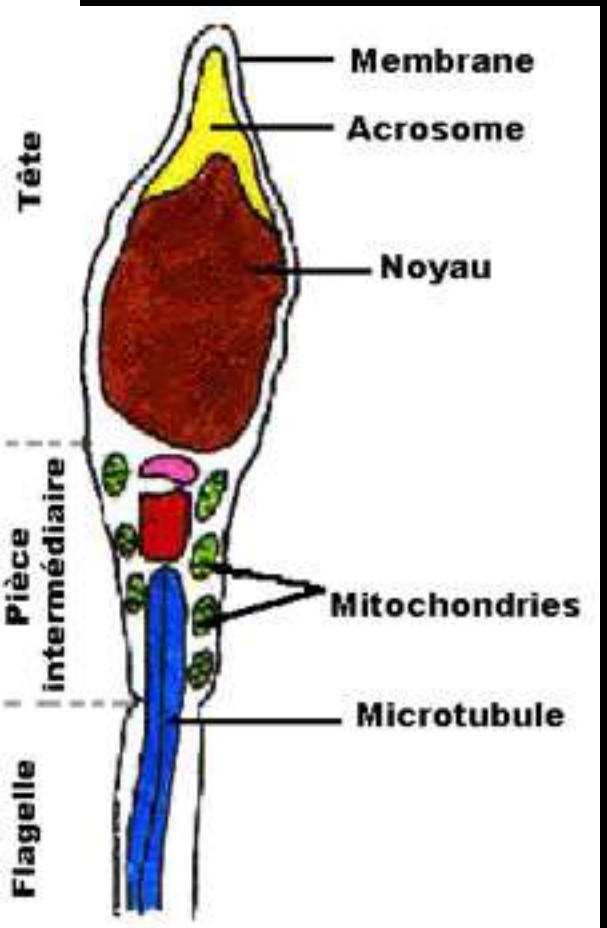
II-2-1- Selon la localisation des substrats à oxyder



Au cours du jeûne, les glucides diminuent et les mitochondries font appel aux lipides, oxydés alors activement et dégradés pour fournir des radicaux **acétyles** utilisés dans le cycle de Krebs.

II-2-2- Selon les besoins en ATP de certaines régions d'une cellule





- La fonction de la cellule conditionne leur localisation ; elle dépend des besoins énergétiques locaux :
  - dans le **muscle**, elles se placent en regard des myofibrilles.
  - dans le **spermatozoïde humain**, elles se placent au niveau de la pièce intermédiaire.

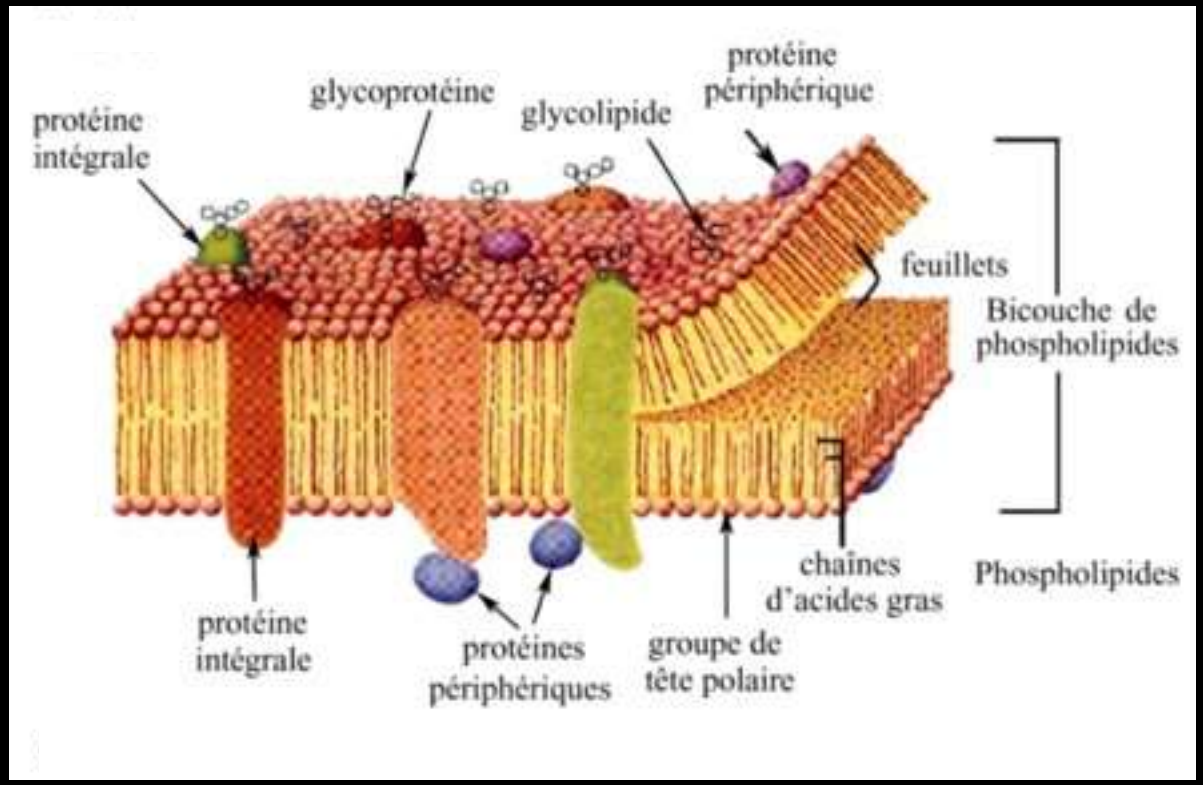
III- Ultrastructure

Micrographies en microscopie électronique montrant en (a) l'ultrastructure de la paroi des mitochondries et en (b) une petite portion d'une crête mitochondriale portant à la surface interne de ses membranes des particules élémentaires

III- Ultrastructure des membranes mitochondriales

Membrane externe:
- 60% de protéines
- 40% de lipides

Membrane interne:
- 80% de protéines
- 20% de lipides



IV-2-2- Les protéines

- **Protéines de transport** (perméabilité très sélective);
- Protéines intervenant dans les **réactions d'oxydation** de la chaîne respiratoire;
- Complexe enzymatique, **l'ATP-synthétase** assurant, à partir de l'ADP, la fabrication d'ATP dans la matrice mitochondriale.

IV-4- La matrice mitochondriale

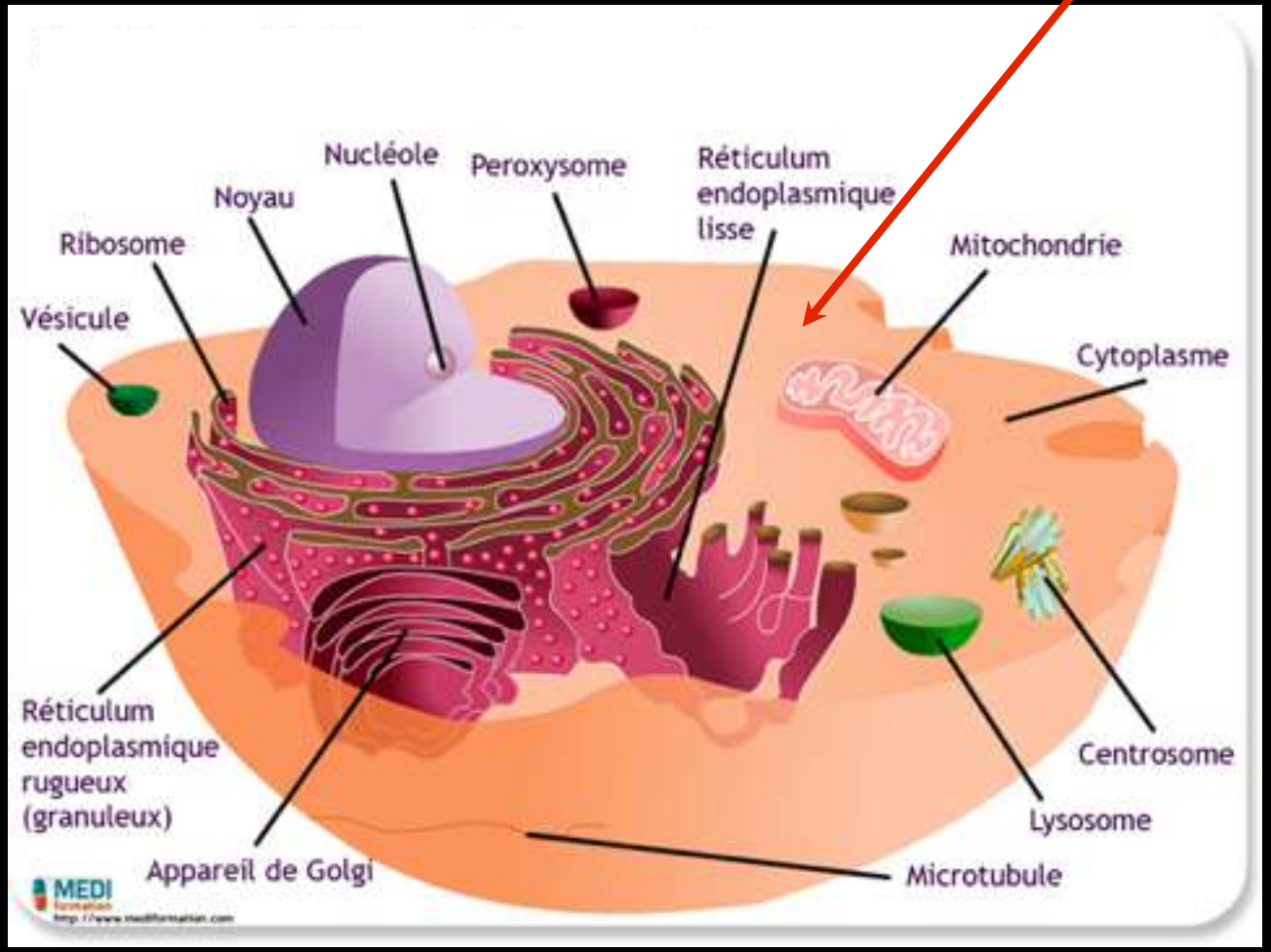
- La matrice est constituée d'une substance fondamentale finement granuleuse. Elle renferme :
  - des molécules d'ADN et d'ARN ;
  - des mitoribosomes ;
  - toutes les enzymes impliquées dans la réplication, la transcription et la traduction de l'ADN mitochondrial ;
  - de gros granules riches en cations (Ca++, Mg++, Na+, K+) ;
  - toutes les enzymes impliquées dans le **cycle de Krebs** et la **β-oxydation.**

V- Activités physiologiques

- Les cellules vivantes ont besoin d'un approvisionnement constant en intermédiaires énergétiques, comme **l'ATP**, pour accomplir leurs activités consommatrices.

- Les organismes peuvent fabriquer l'**ATP** en dégradant des molécules organiques fournies par l'alimentation (**protéines**, **glucides**, **lipides**).

Les premières étapes de leur dégradation ont lieu dans le cytosol

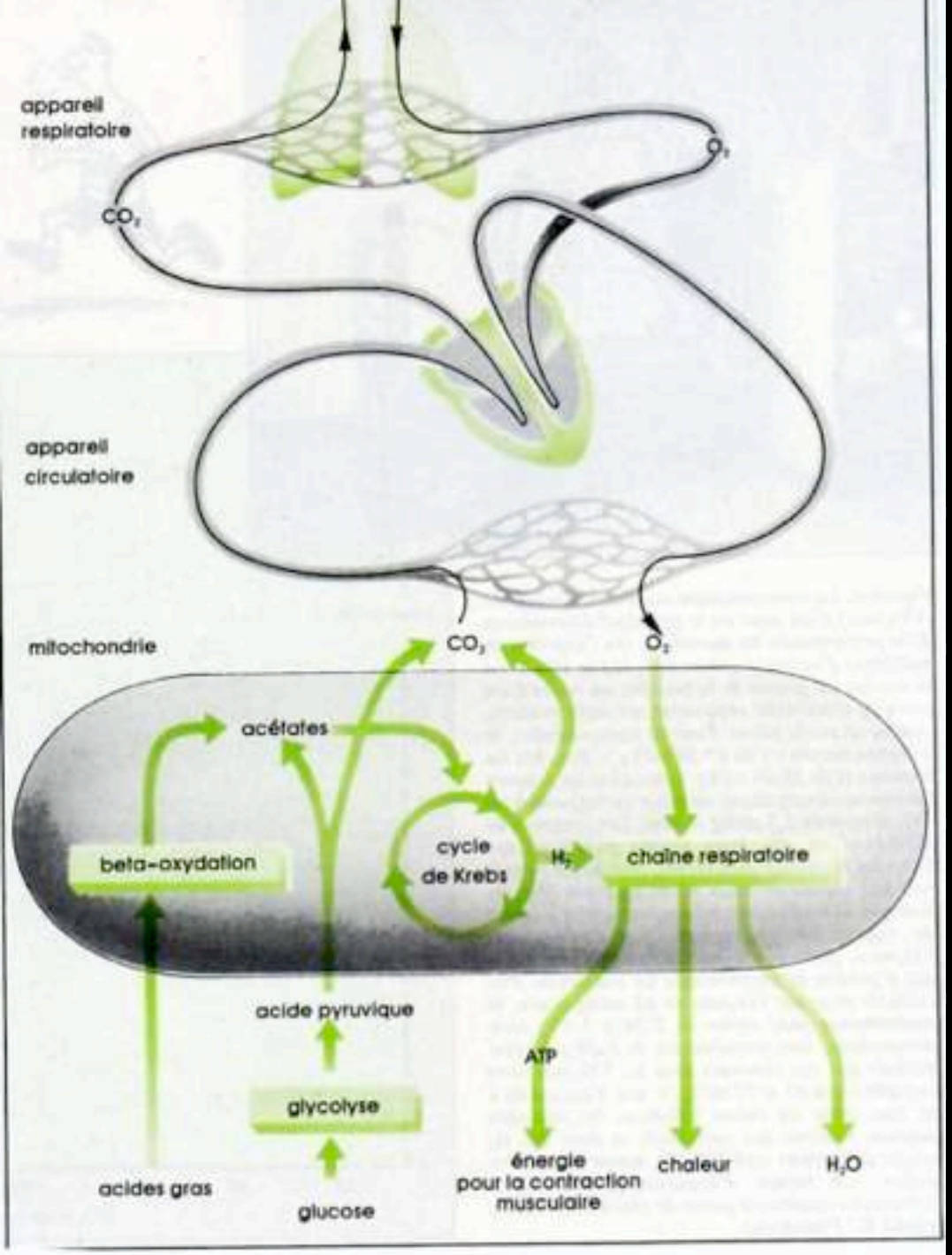


- Les **protides** sont transformés en **acides aminés** (catabolisme) dont une certaine partie donne du **pyruvate** .

- les **glucides**, dont la majorité fournissent, par glycolyse, du **pyruvate**.

- Les **lipides**, constituent une réserve importante d'énergie. Par le processus de la lipolyse, ils sont dégradés en **acides gras** qui pénètrent dans les mitochondries.

- La dégradation des nutriments se réalise grâce au mécanisme de la **Respiration**.



Inspiré par les poumons, l'O2 passe dans la circulation sanguine qui le délivre aux cellules de l'organisme, principalement celles des muscles lors d'un exercice.

Par le même circuit, le CO2 produit par les cellules en activité est rejeté dans l'atmosphère.

A l'intérieur des cellules, l'02 est acheminé dans la mitochondrie.

Là, les acétates fournis par les acides gras ou le glucose sont décarboxilés et déshydrogénés dans le cycle de krebs.

Les H2 libérés alimentent la chaine respiratoire et sont acceptés par l'02 pour former de l'H20, en libérant de l'ATP.

L'ATP est utilisé par le muscle pour se contracter.

Ces différentes voies métaboliques sont dites aérobie.

V-1- Etapes de la respiration

- La dégradation des nutriments se réalise grâce au mécanisme de la **respiration**. La respiration est le processus par lequel la cellule produit de l'énergie nécessaire pour ses activités.
- Au cours de ce mécanisme, qui a lieu dans la mitochondrie, il y a absorption d'**oxygène** et dégagement du **dioxyde de carbone**.
- La respiration se déroule en trois étapes :
  - **La glycolyse**
  - **Le cycle de Krebs** ou **cycle de l'acide tricarboxylique**
  - **La chaîne de transport d'électrons** ou **chaîne respiratoire**

V-1-1- La Glycolyse

La glycolyse ne nécessite pas d'oxygène.
Au cours de ce processus, on assiste à des réactions d'oxydoréduction au cours desquelles un accepteur d'électrons (coenzyme NAD) est réduit :

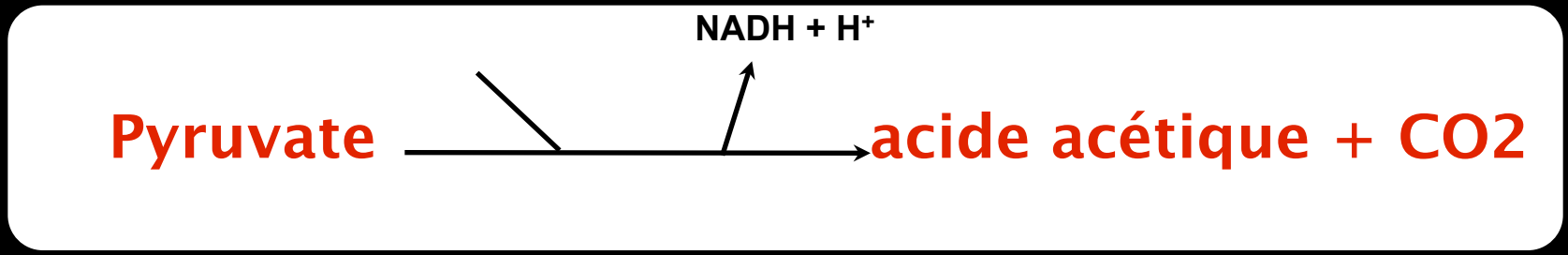
$$NAD^+ + 2\ H^+ + 2\ é \rightarrow (NADH + H^+)$$

et à la synthèse d'ATP par phosphorylation de l'ADP qui produit 4 molécules d'ATP, mais en nécessite 2

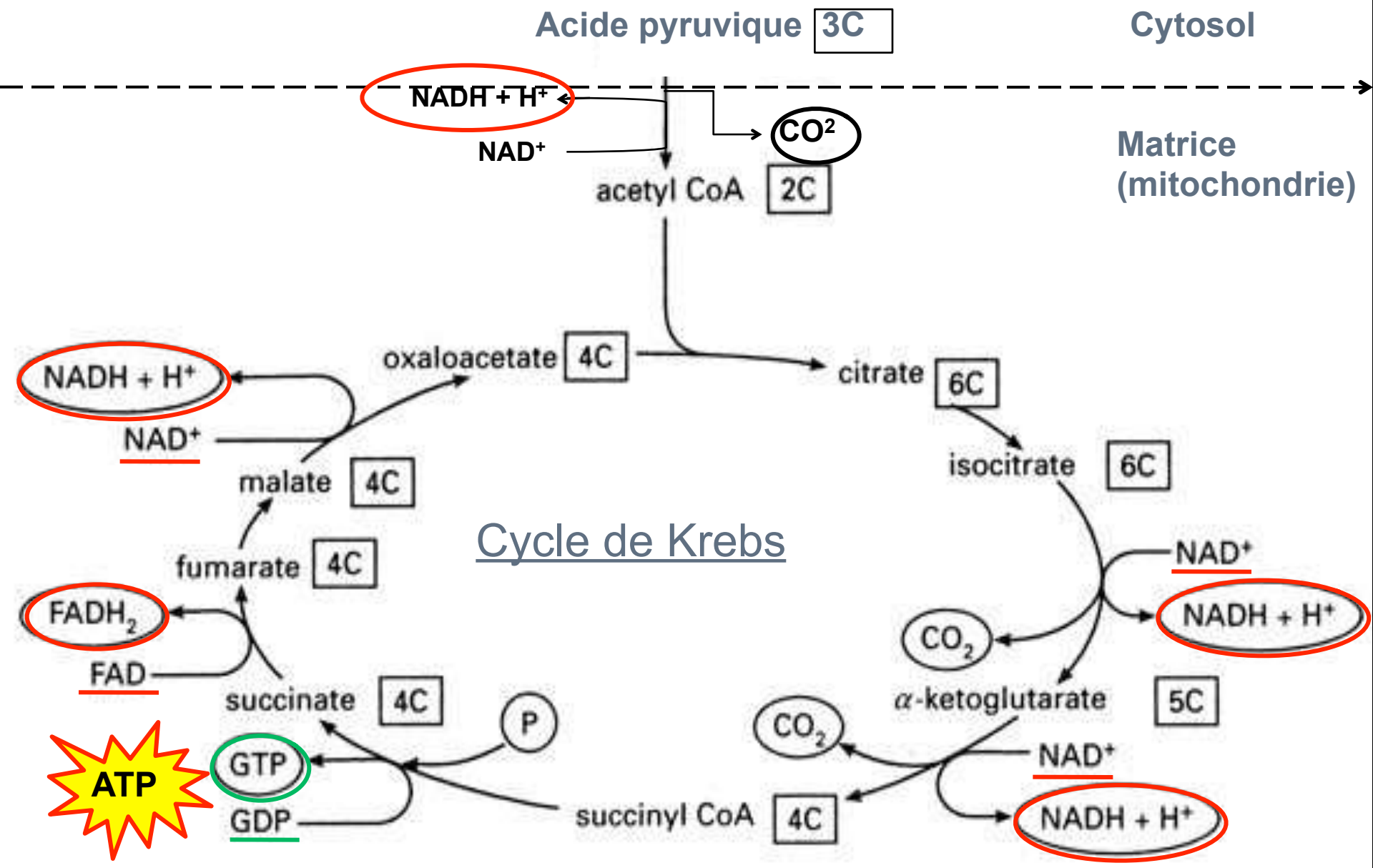
- Les produits nets de la glycolyse sont donc :
- 2 ATP (phosphorylation au niveau du substrat)
- 2 NADH + 2 H^+
- 2 pyruvates

V-1-2- Oxydation des substances au cours du cycle de Krebs

- En présence d'**oxygène**, le **pyruvate** rentre dans la mitochondrie pour être oxydé et relâcher l'énergie au cours du cycle de Krebs.
- Avant que le cycle de Krebs ne commence, il se produit une étape intermédiaire durant laquelle :
  - Un groupement carboxyle est arraché au pyruvate et relâché dans le cytosol sous forme de **CO2**.

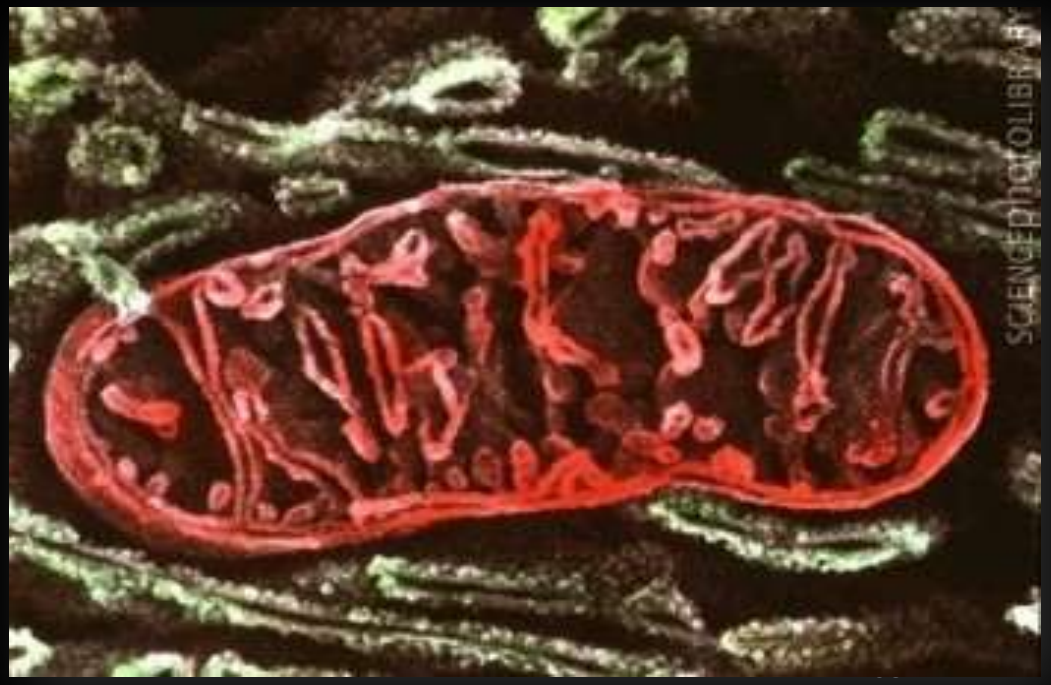


  - Il se forme **l'acide acétique**, après la réduction du NAD^+ en **NADH + H^+**.
  - Le radical **acétyl** de **l'acide acétique** se lie avec le **coenzyme A** (Co A) pour produire **l'acétyl-CoA**.


Acide pyruvique 3C
Cytosol
NADH + H+
NAD+
CO2
acetyl CoA 2C
Matrice (mitochondrie)
oxaloacetate 4C
citrate 6C
NADH + H+
NAD+
malate 4C
isocitrate 6C
Cycle de Krebs
NAD+
NADH + H+
fumarate 4C
FADH2
CO2
FAD
α-ketoglutarate 5C
succinate 4C
P
CO2
ATP
GTP
NAD+
GDP
succinyl CoA 4C
NADH + H+

Le cycle de Krebs (matrice)

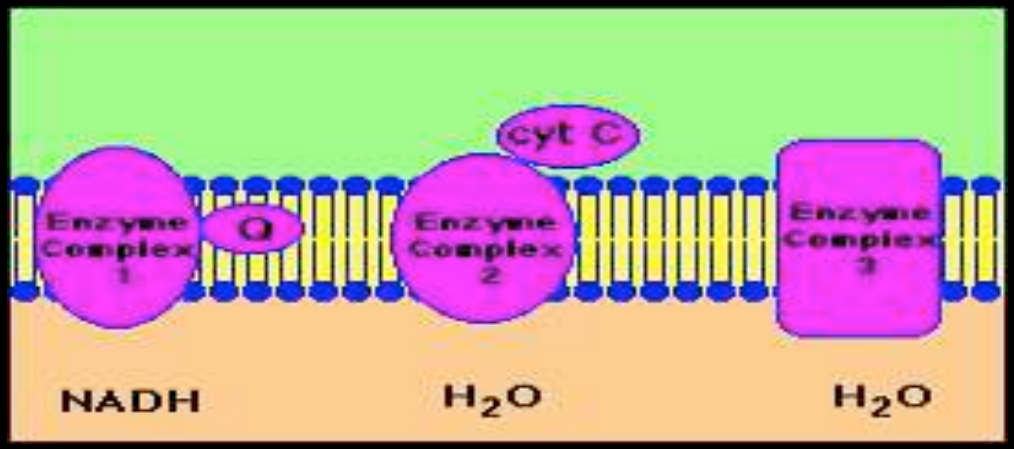
- = séquence organisée de réactions enzymatiques avec, **l'acide oxaloacétique**, comme substrat **initial** et produit **terminal** :
- L'**acétyl-coenzyme A** cède le radical acétyl **CH3CO** à **l'acide oxaloacétique** (4C) pour produire le **citrate** (6C).
- Le **citrate** est **progressivement décomposé** jusqu'à **l'acide oxaloacétique.**
- Ces oxydations transforment **chaque** radical **acétyl** en **2 molécules** de **CO2**, **8 atomes d'hydrogènes**, et **8 électrons**.



Les ions hydrogène arrachés aux substrats sont repris par des accepteurs, des **coenzymes**:

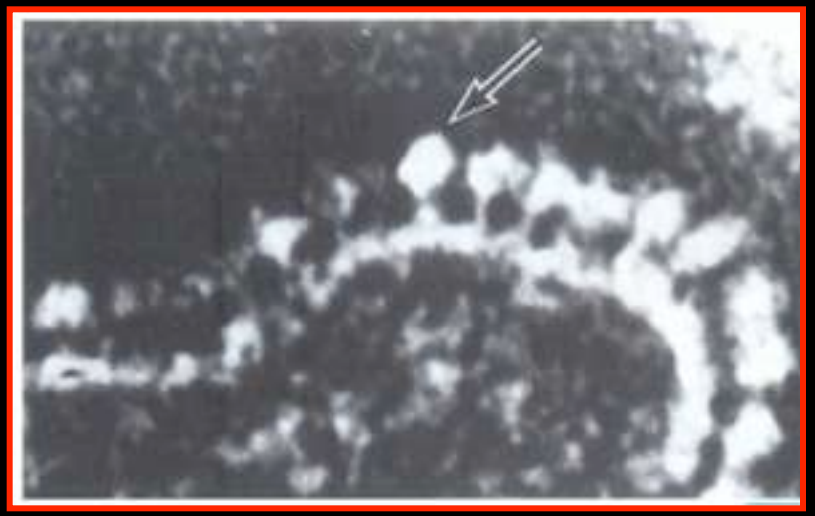
le **NAD** (nicotinamide – adénine – dinucléotide)
$NAD^+ + 2H^+ + 2$ électrons---------- NADH + H^+

Le **FAD** (flavine – adénine – dinucléotide)
$FAD^+ + 2H^+ + 2$ électrons ---------- $FADH_2$



Cycle de Krebs

- En termes énergétiques, c'est le résultat le plus important du cycle parce que ces coenzymes réduites servent à produire, au cours de la **phosphorylation oxydative**, la plus grande partie de l'énergie dérivée de la molécule de glucose initiale.



2 tours du cycle pour chaque molécule de glucose

- Pour chaque tour du cycle :
- **2 carbones** entrent sous la forme réduite de **l'acétyl-CoA** ;
- **2 carbones** ressortent complètement oxydés sous la forme de **CO_2** ;
- **3** molécules de **NAD^+** sont réduites en **NADH + H^+** et **1** molécule de **FAD** est réduite en **$FADH_2$** ;
- **1** molécule d'**ATP** est produite par la **phosphorylation au niveau du substrat.**

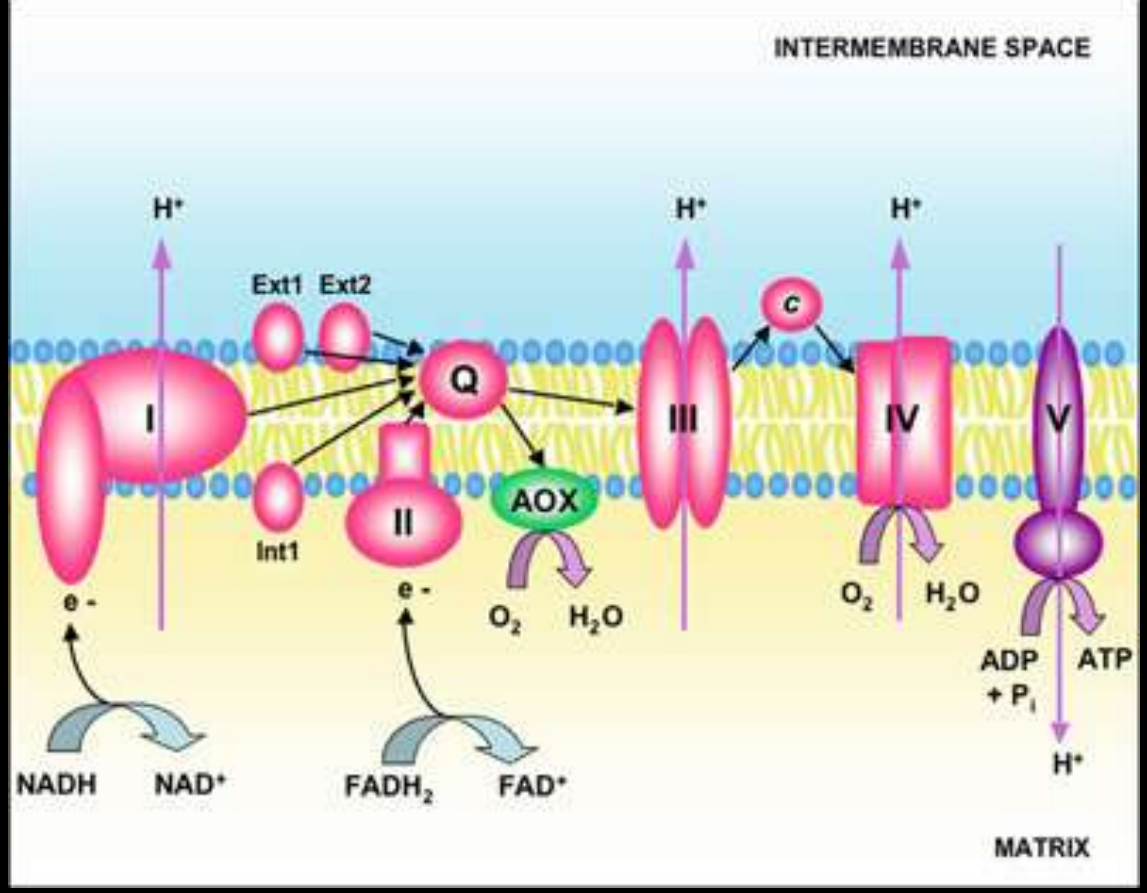
Le bilan énergétique du cycle de Krebs

- pour les **2 molécules de pyruvates:**
  - **6 NADH + 6 H^+**
  - **2 $FADH_2$ + 2 H^+**
  - **2 ATP**

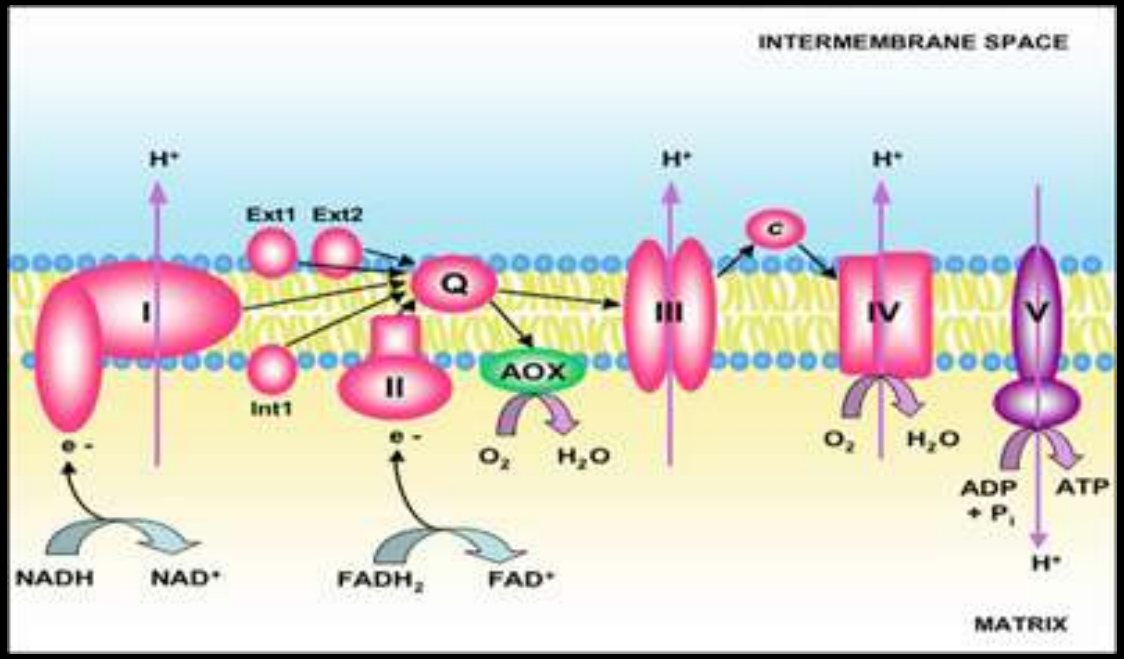
V-1-3- Chaîne respiratoire et phosphorylation oxydative

- Les coenzymes réduites (NADH, $FADH_2$) cèdent leurs électrons à haute énergie à des transporteurs localisés dans la membrane interne de la mitochondrie.
- L'ensemble de ces transporteurs, assemblés dans l'ordre exact de leurs interactions, constitue la **chaîne respiratoire**.

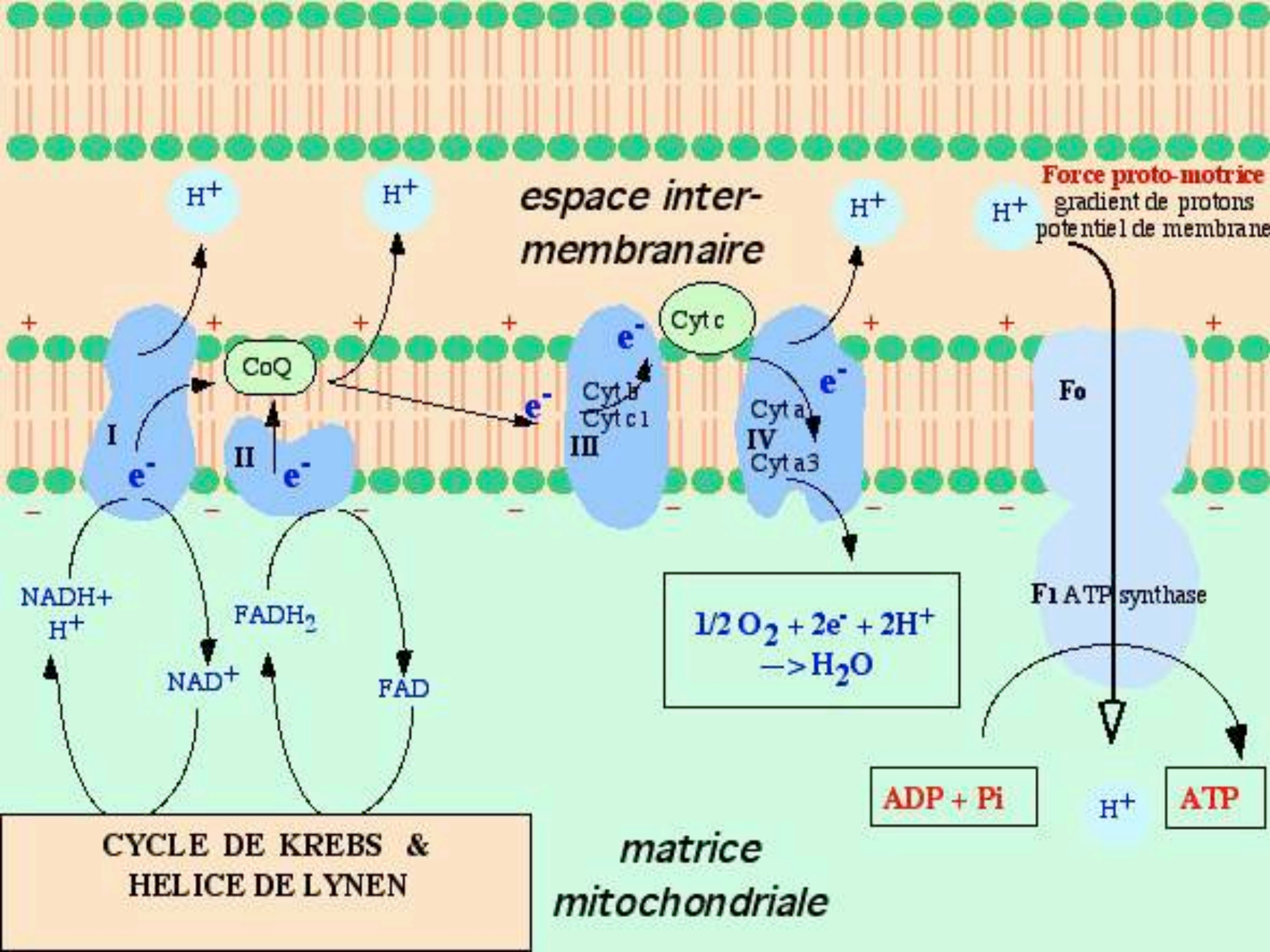
- La **chaîne de transport des électrons** est une suite de molécules fixées sur la **membrane interne de la mitochondrie** qui sont disposées dans un **ordre décroissant d'affinité pour les électrons**.
- Les **électrons** provenant des coenzymes réduits **se déplacent** le long de la membrane sur la chaîne de transport.
- Les électrons, en se déplaçant, **font sortir des protons** (H^+) dans l'espace intermembranaire de la **mitochondrie**.
- L'accumulation de protons fait fonctionner l'**ATP synthétase** (une pompe à protons) qui utilise le reflux de protons pour fabriquer de l'ATP.



- Le NADH passe ses électrons à la flavoprotéine (FMN) qui les passe à une série de molécules (y compris les cytochromes).
- Le FADH2 donne ses électrons à la chaîne à un niveau d'énergie plus bas que le NADH.
- Les électrons sont transmis jusqu'à l'accepteur final qui est l'oxygène moléculaire, qui accepte en même temps des protons $2H^+$ pour former de l'eau (molécule stable).
- Ainsi, c'est pendant cette étape que l'oxygène est consommé.

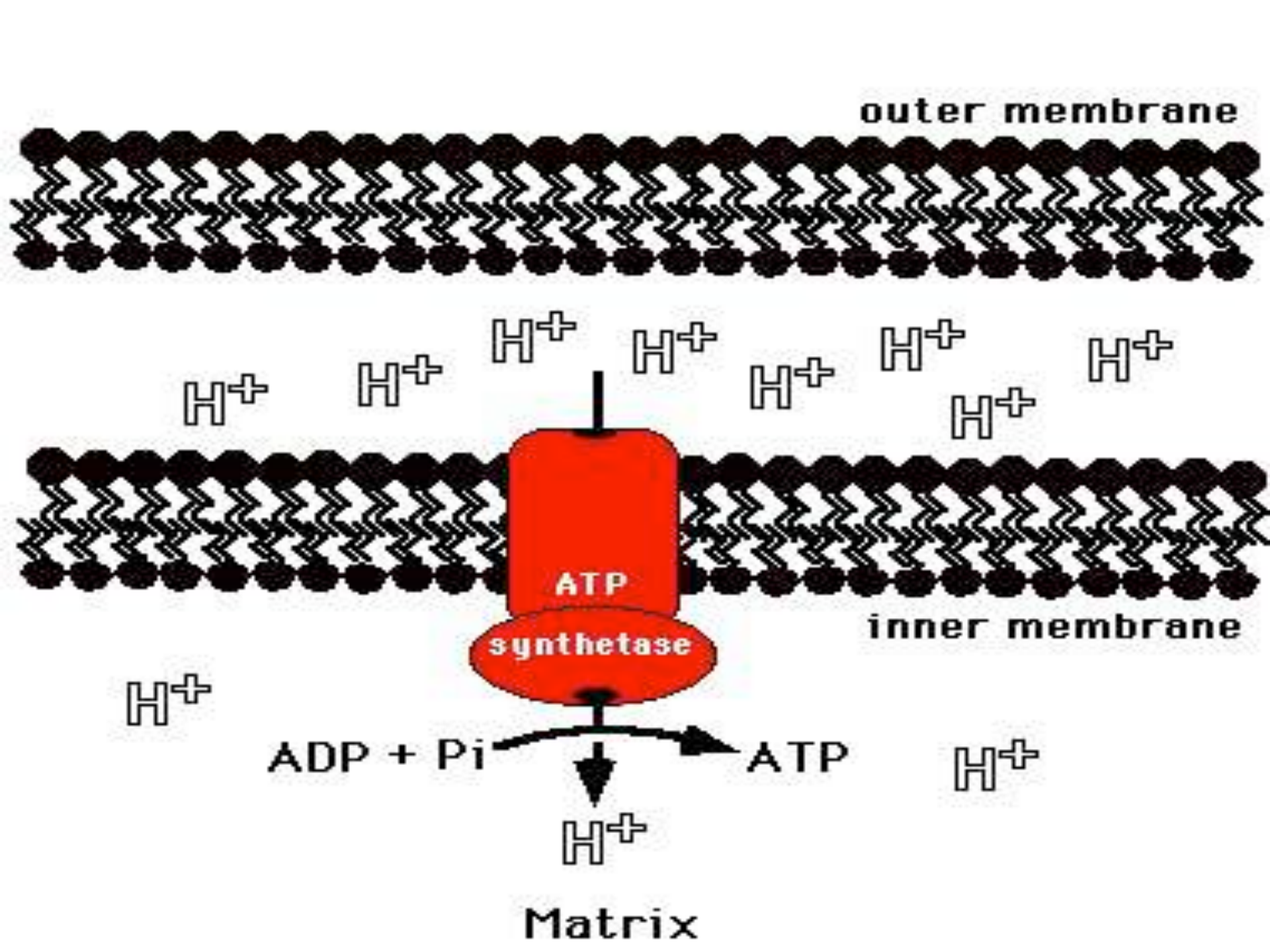


- Le passage des électrons d'un transporteur à un autre, libère de **l'énergie** à chaque étape.
- Cette énergie permet d'assurer le transport des protons H^+ depuis la matrice jusqu'à la face externe de la membrane interne. Le pH de la matrice s'abaisse.
- La membrane interne devient **électronégative** sur la face **matricielle** et **électropositive** sur la face en rapport avec la **chambre externe**.

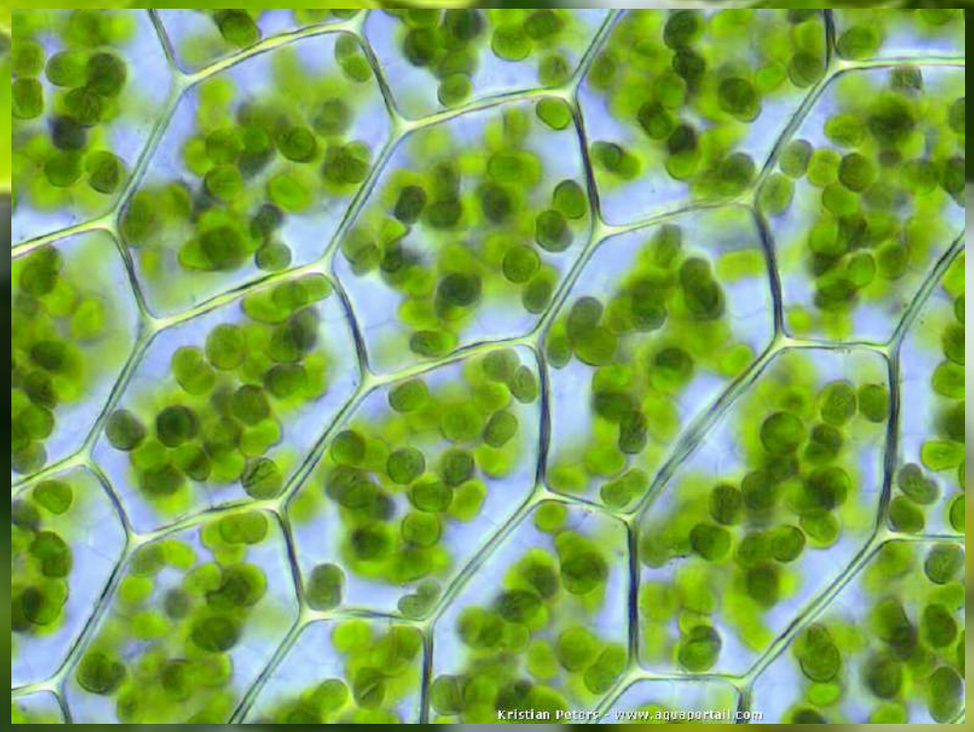

espace inter-membranaire
Force proto-motrice
gradient de protons
potentiel de membrane
H+
H+
H+
H+
CoQ
Cyt c
e-
e-
e-
e-
e-
I
II
III
IV
Cyt b
Cyt c1
Cyt a
Cyt a3
Fo
F1 ATP synthase
NADH+
H+
NAD+
FADH2
FAD
1/2 O2 + 2e- + 2H+
—> H2O
ADP + Pi
H+
ATP
CYCLE DE KREBS &
HELICE DE LYNEN
matrice
mitochondriale

Phosphorylation oxydative

Le flux d'hydrogène active l'enzyme ATP synthétase qui fabrique de l'ATP à partir d'ADP et de phosphore inorganique.


outer membrane
H+
H+
H+
H+
H+
H+
H+
H+
H+
ATP
synthetase
inner membrane
H+
ADP + Pi
ATP
H+
H+
Matrix

Le chloroplaste



Pr Boutaïna BELQAT

Les plastes

- **Les plastes sont des organites cytoplasmiques caractéristiques des cellules végétales. Certains sont colorés:**

- les chloroplastes

qui renferment en abondance

des pigments verts ou chlorophylle,

reponsable de la photosynthèse.

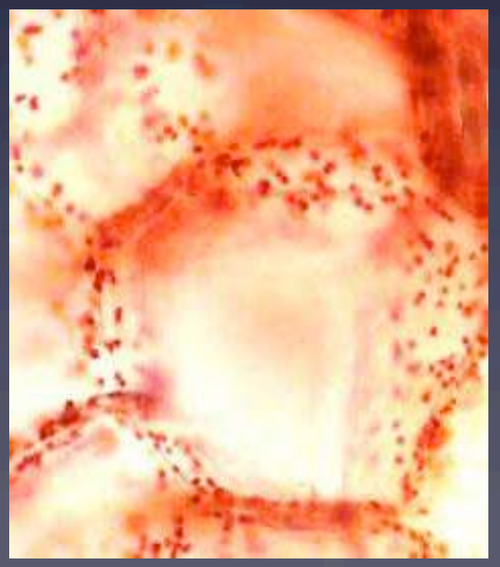
- les chromoplastes

qui renferment des pigments

de nature variables

autres que la chlorophylle et

notamment des carotéroides.

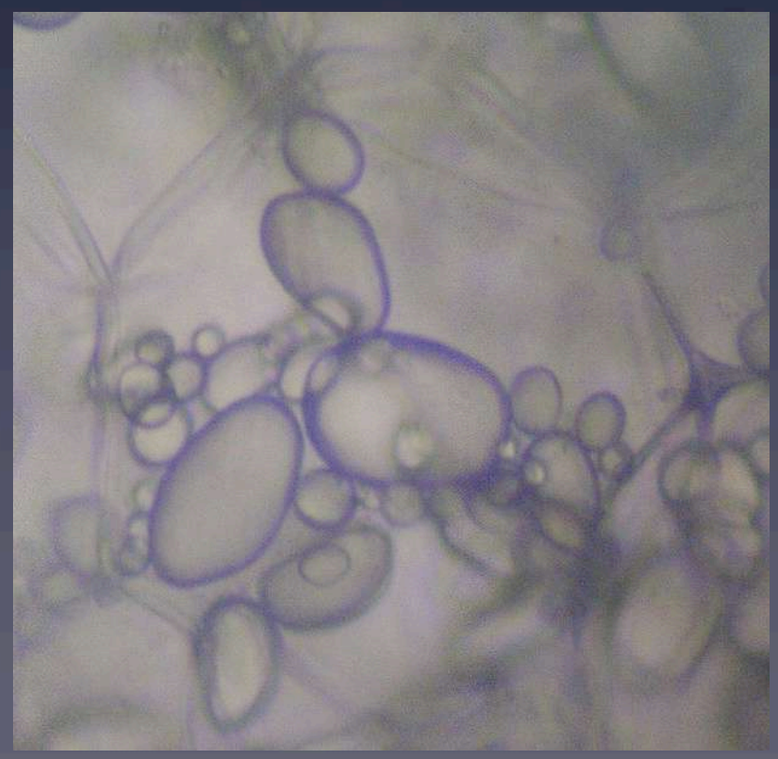


Leucoplastes

= Catégorie de plastes non pigmentés (incolores).

- Localisation dans les racines et dans les tissus non phtosynthétiques.

- Pouvant se spécialiser pour stocker des réserves de :
  - amidon = amyloplastes
  - lipides = oléoplastes
  - protéines = protéinoplastes

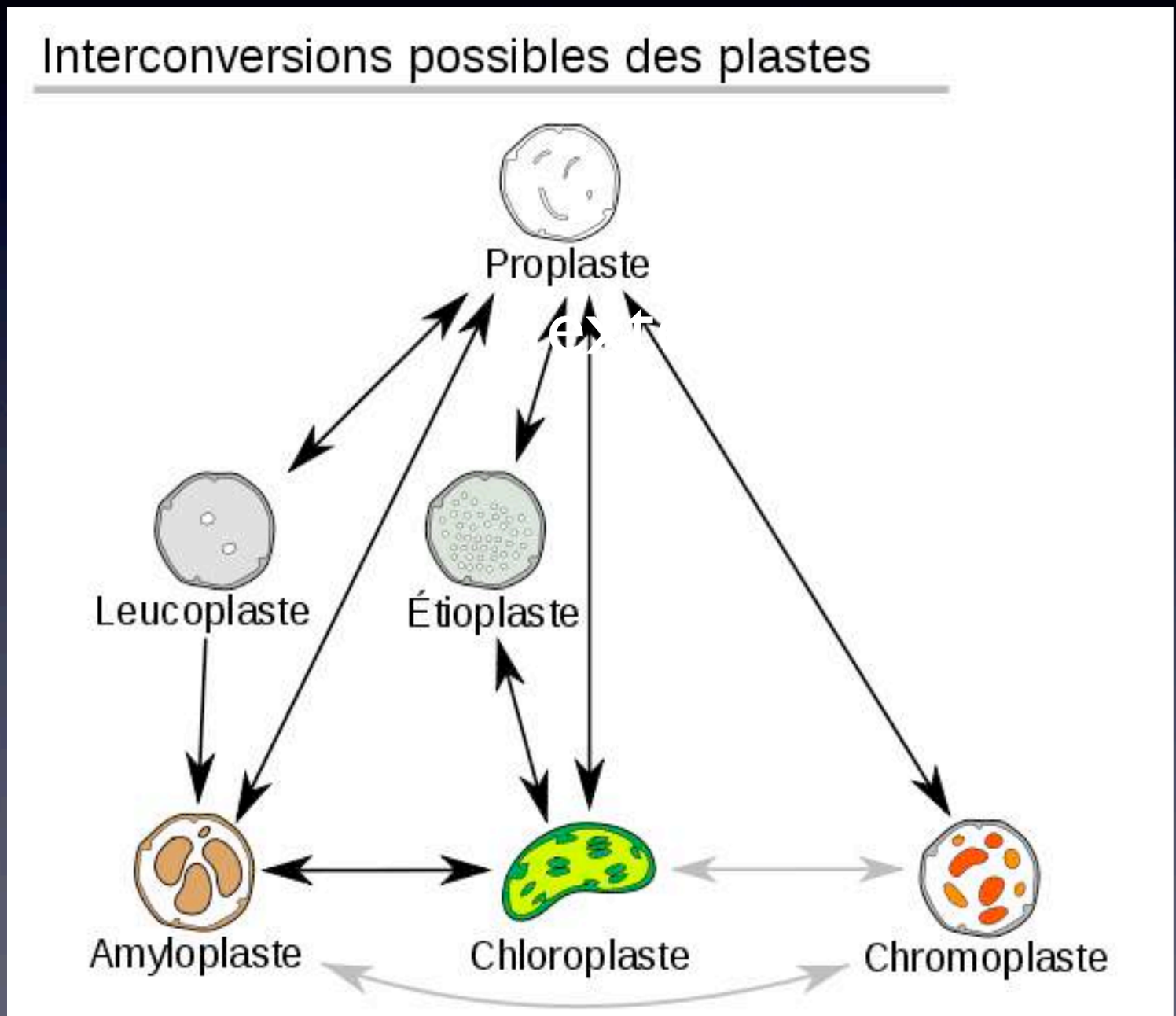


Les plastes ne sont pas totalement indépendants les uns des autres.

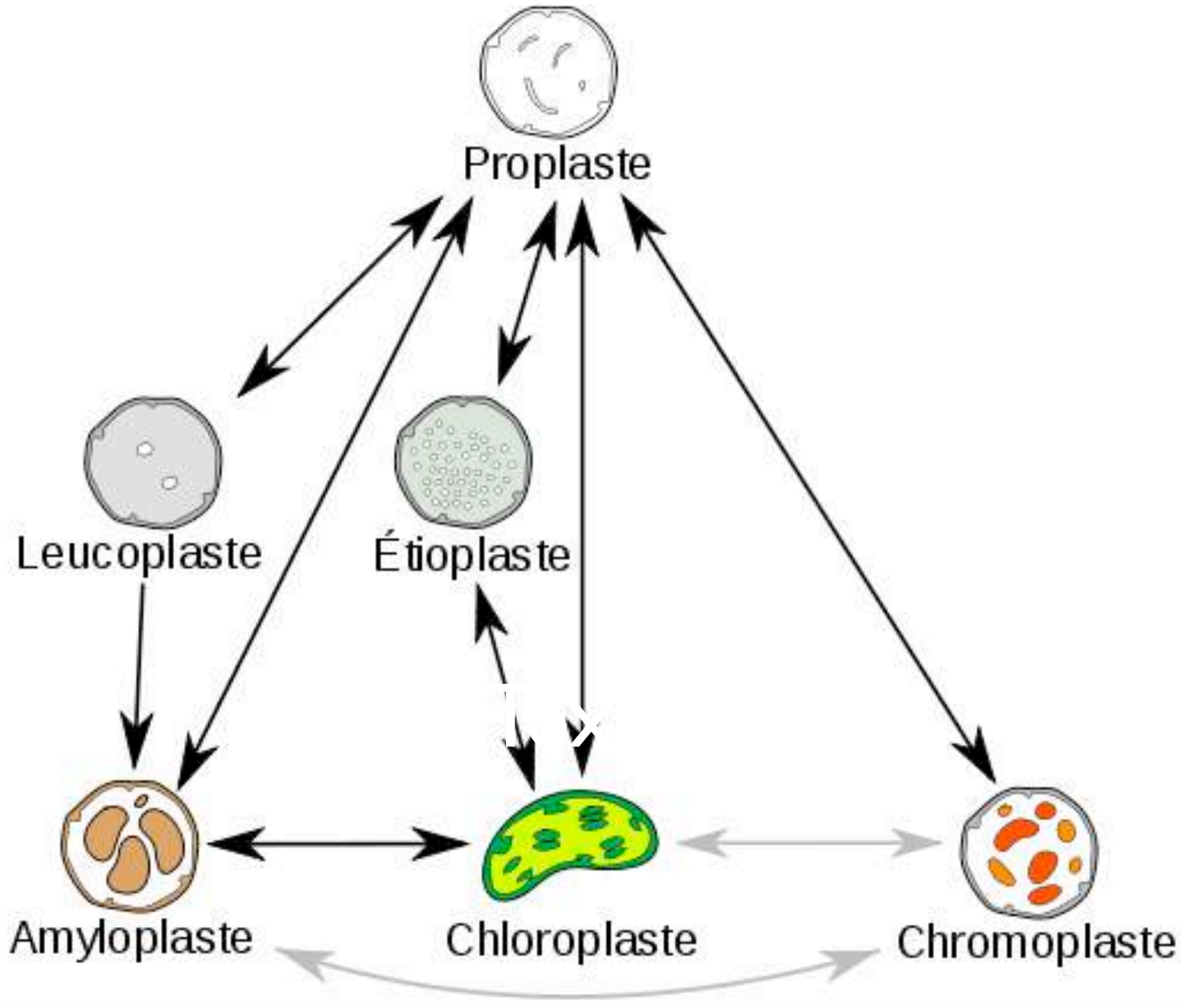
- Transformations morphologiques et fonctionnelles d'un type de plastes à un autre

- suivant l'état de différenciation de la cellule

- les conditions extérieures qui affectent l'organe de la plante.



Interconversions possibles des plastes



Le chloroplaste

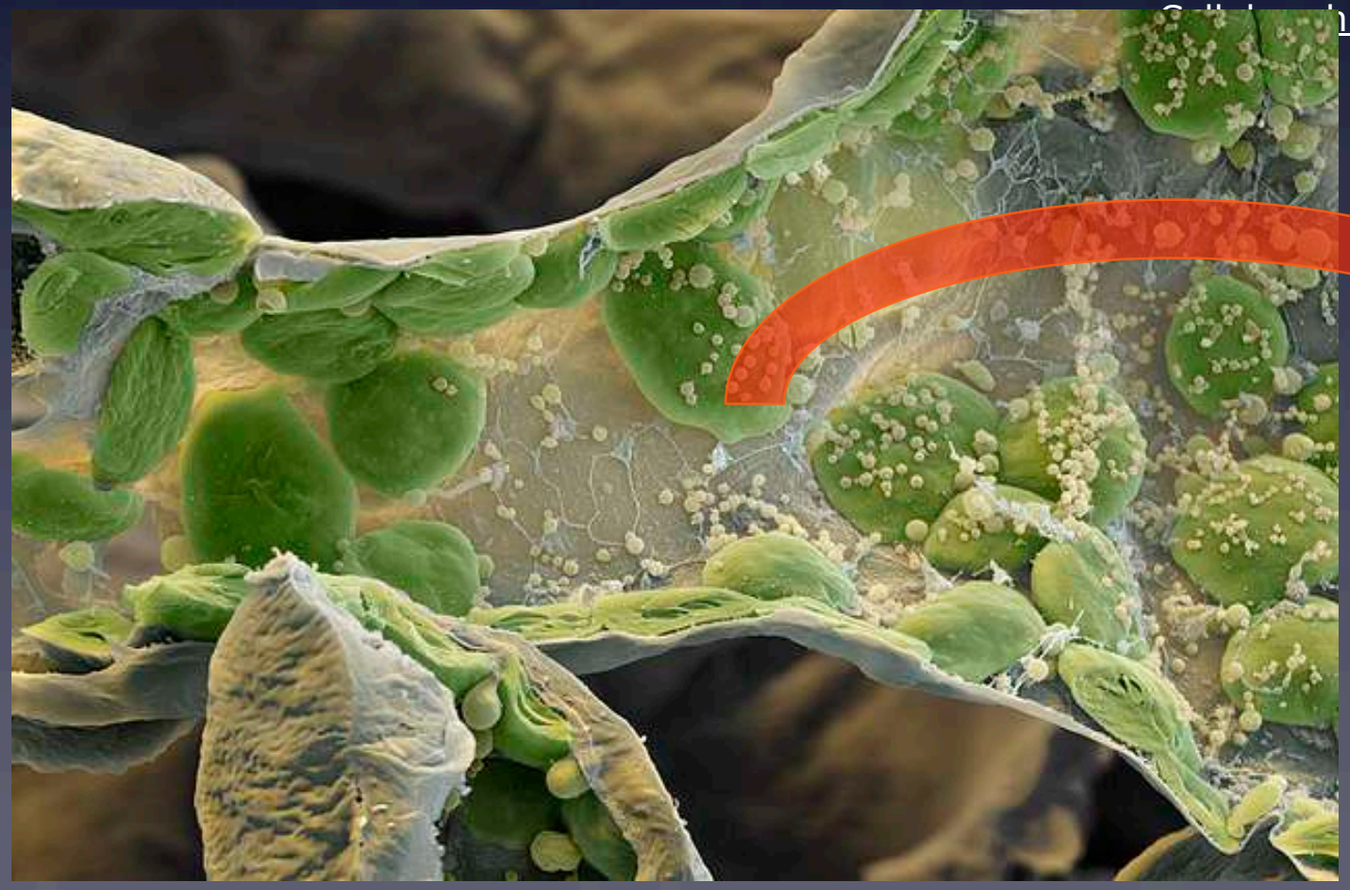
- **Les chloroplastes sont des plastes qui doivent leur couleur verte à la chlorophylle.**

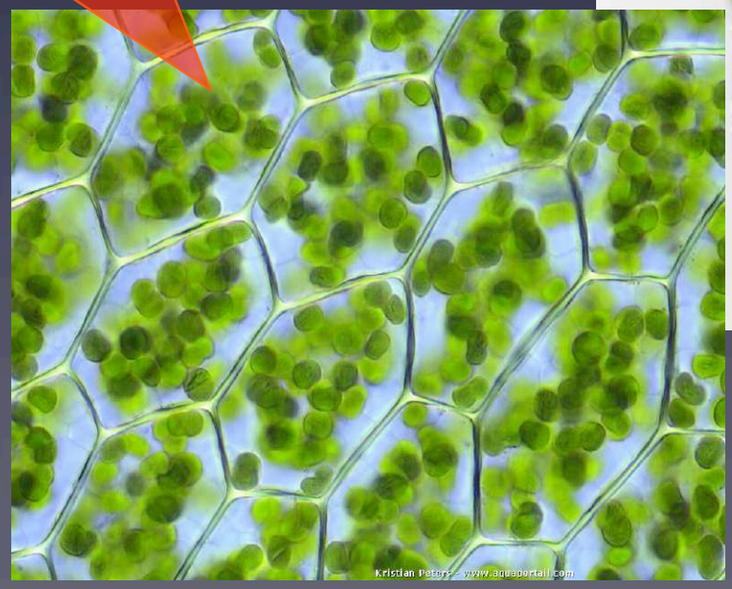
- **Ils sont le siège des phénomènes de photosynthèse = processus permettant aux végétaux verts d'effectuer la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique.**

I-1- Structure des chloroplastes

- **Microscope photonique : forme souvent lenticulaire, de 3 à 10µm de diamètre et de 1 à 2 µm d'épaisseur.**
- **Nombre par cellule, fixé génétiquement (30 - 50).**
- **Existent dans les tissus verts des fleurs, des fruits, des tiges jeunes et des feuilles.**

Cellules chlorophylliennes





I-2- Ultrastructure

- Microscope électronique:
- Enveloppe composée de deux membranes:
    - Membrane plastidiale externe
    - Membrane plastidiale interne.
- Intérieur comprenant un ensemble de membranes photosynthétiques disposées en sacs aplatis = thylakoïdes ou lamelles.

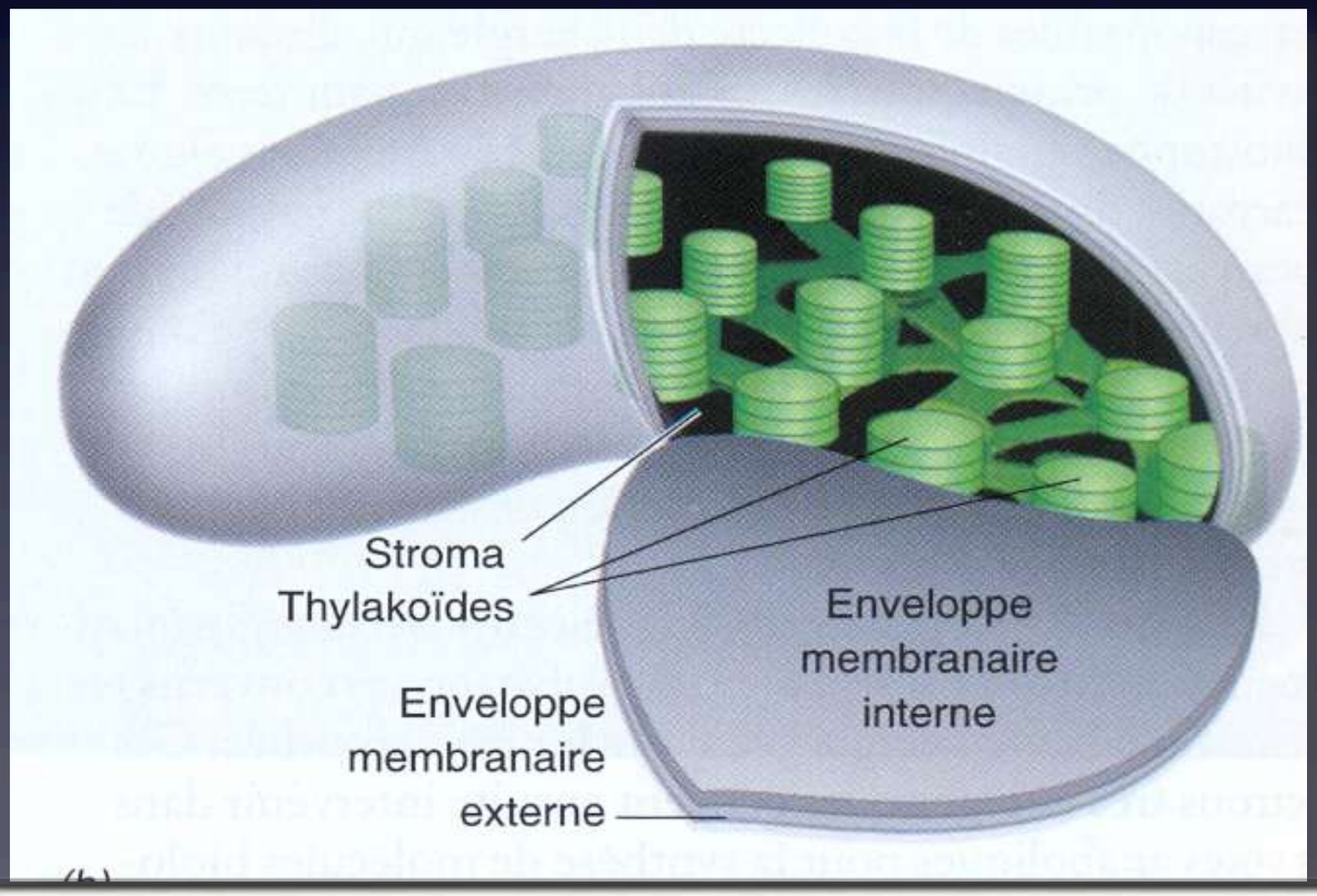


Figure 1. Dessin shématique d'un chloroplaste montrant la double membrane externe et les membranes thylakoïdales.

I-2- Ultrastructure

- Certains thylakoïdes s'empilent pour former des **grana**.

- **Stroma** = Solution riche en protéines qui baigne les thylakoïdes dans le chloroplaste.

- Lamelles d'un chloroplaste en continuité, entourant et délimitant une cavité unique.

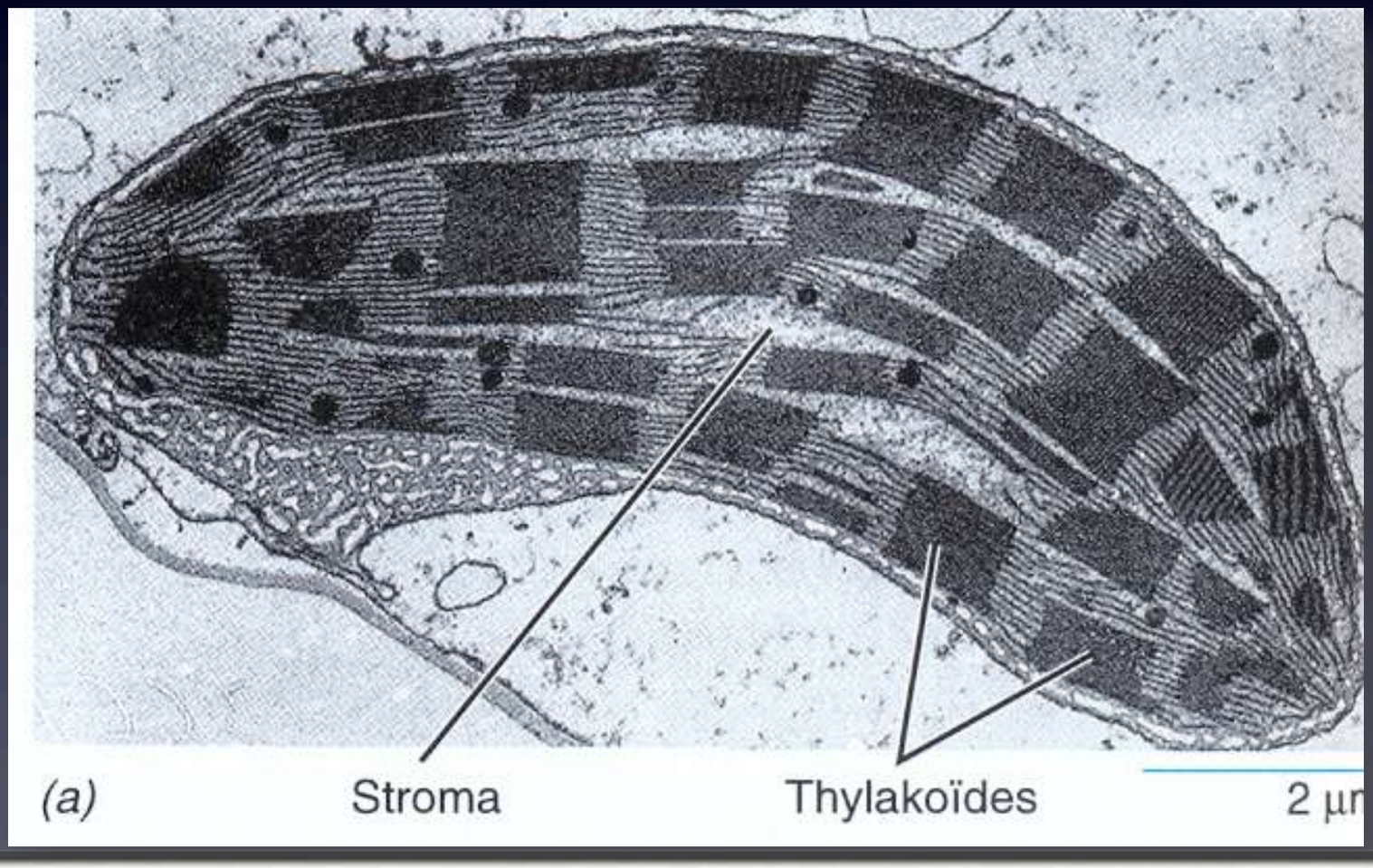


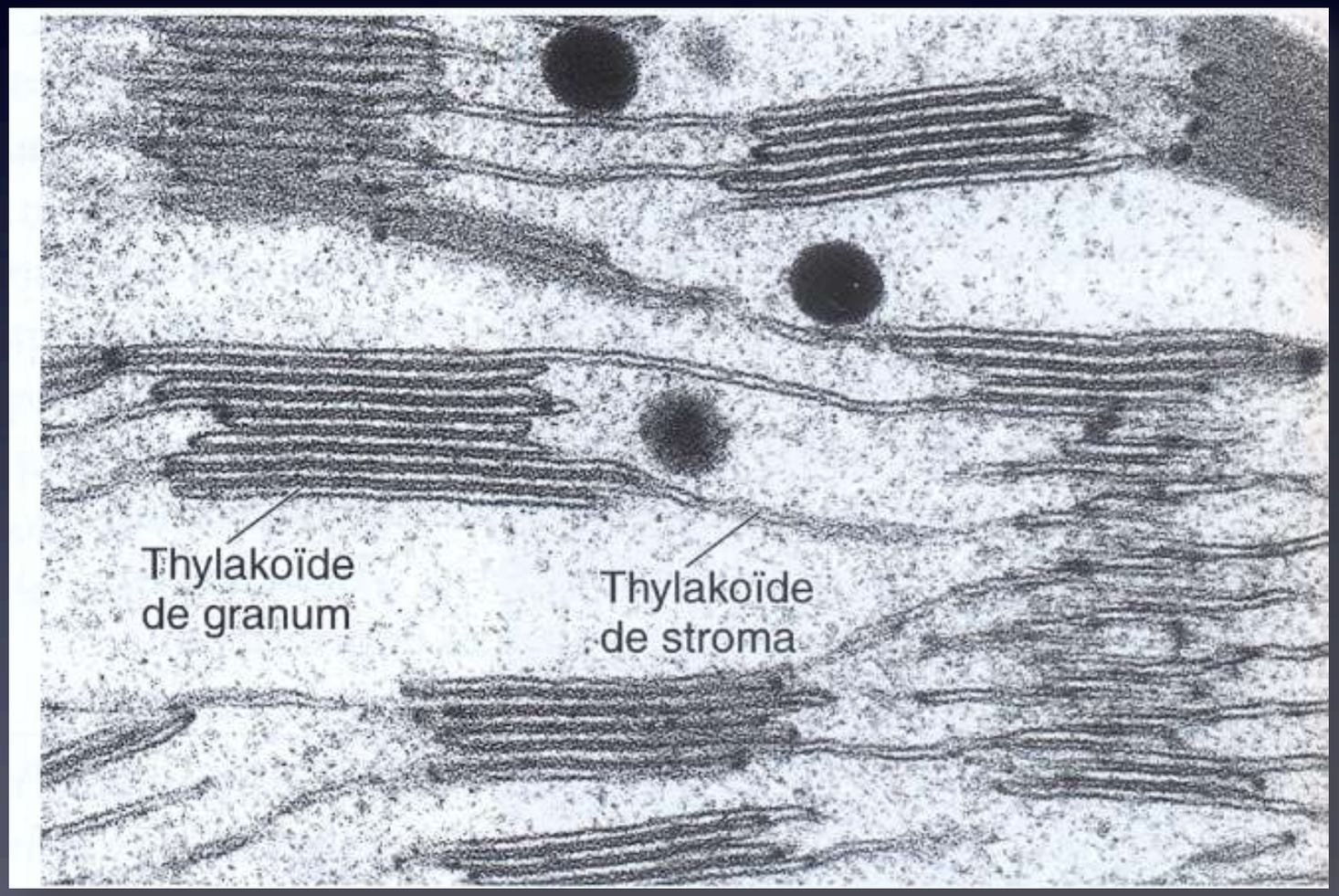
Figure 2. Structure interne d'un chloroplaste. Micrographie électronique d'un chloroplaste.
La membrane interne est disposée en piles de thylakoïdes physiquement séparés de la membrane externe (Lester K. Shumway)

I-2- Ultrastructure

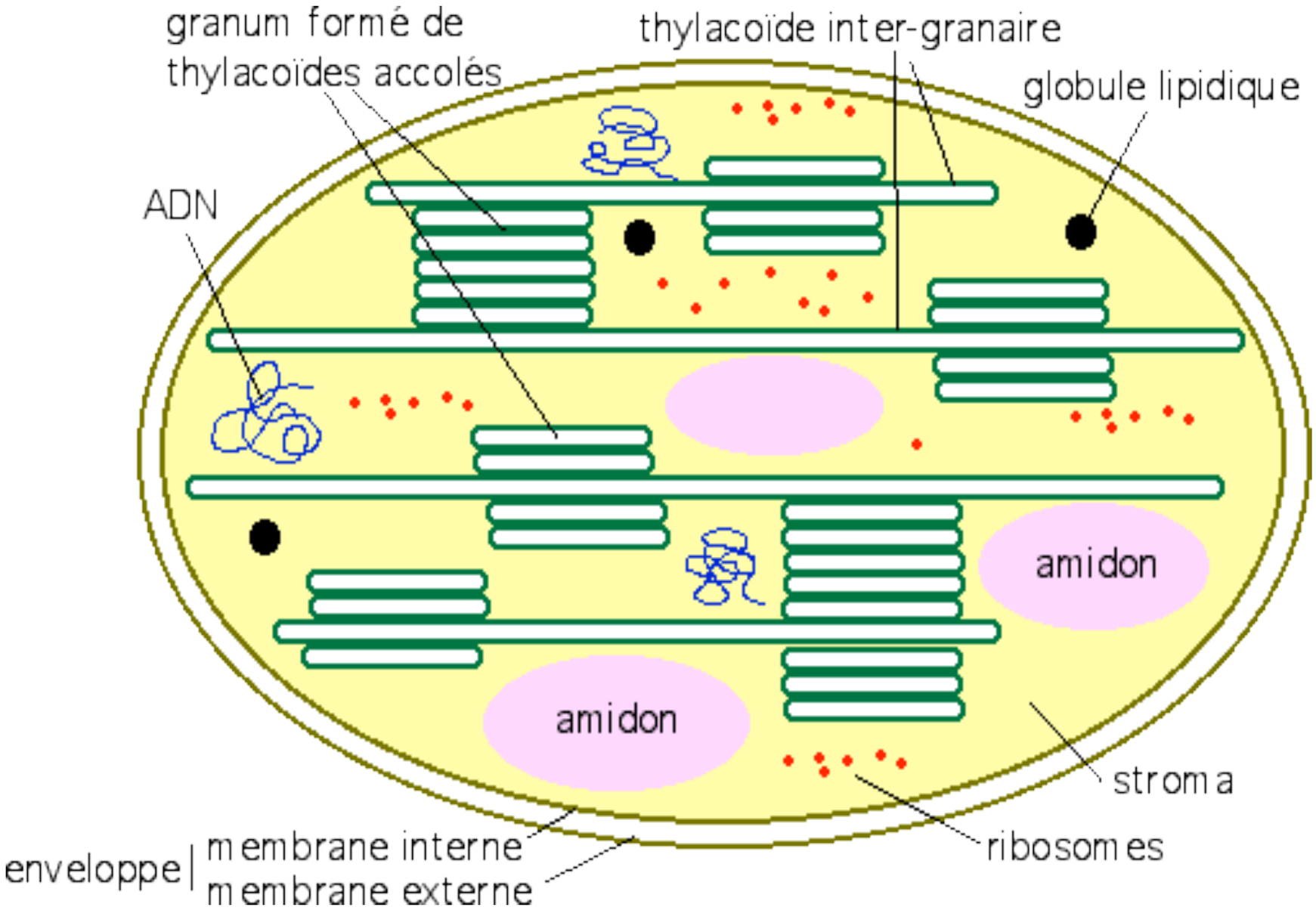
- Certains thylakoïdes s'empilent pour former des **grana**.

- **Stroma** = Solution riche en protéines qui baigne les thylakoïdes dans le chloroplaste.

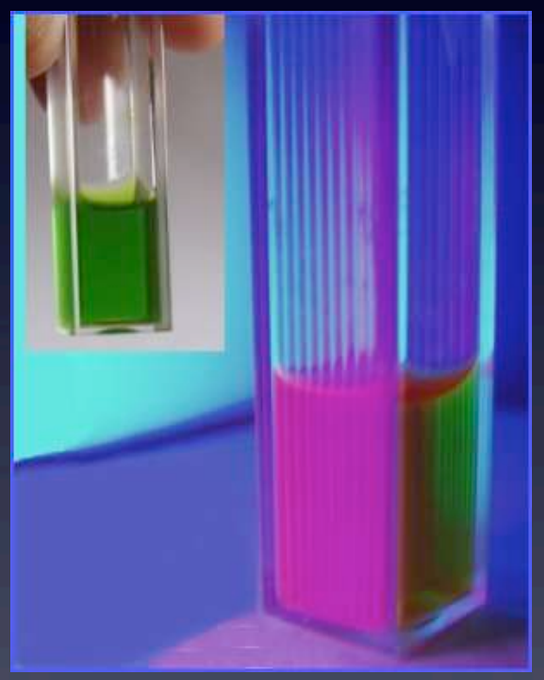
- **Lamelles** d'un chloroplaste en **continuité**, entourant et délimitant une **cavité unique**.



Protéines	**40% à 35% du poids sec**
Lipides	**25% à 35% du poids sec**
Chlorophylles	**8% du poids sec**
Caroténoïdes	**4,5% du poids sec**
ADN	**0,5% du poids sec**
ARN	**2 à 3% du poids sec**



1-4-Les pigments photosynthétiques



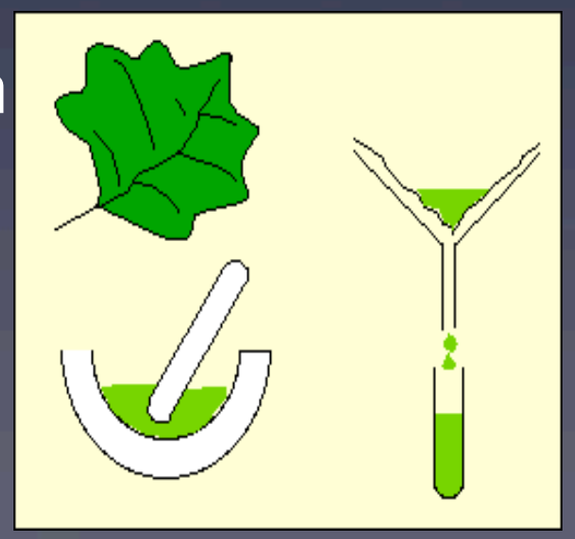
- **Pigments = molécules qui absorbent certaines longueurs d'onde particulières de la lumière; ils apparaissent donc colorés.**
- **Deux types toujours présents dans les chloroplastes: les chlorophylles et les caraténoïdes.**
- **Les chloroplastes sont verts parce qu'ils contiennent la chlorophylle = pigment qui réfléchit et transmet la lumière verte, mais qui absorbe les autres couleurs.**

- 1 - Extraction et séparation des pigments
- **- Les chlorophylles et les caroténoïdes sont liposolubles (solubles dans des solvants de nature lipidique) et peuvent donc être séparés.**

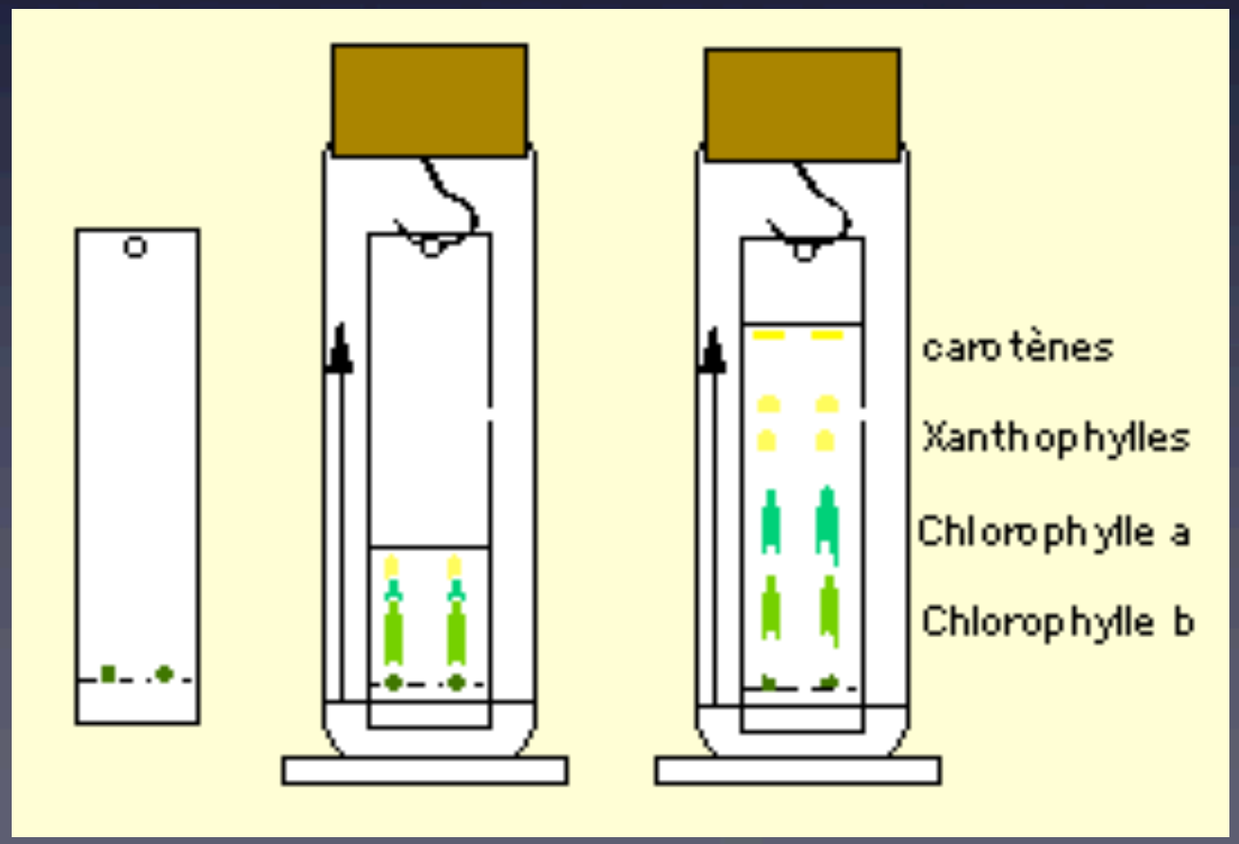
- Extraction des pigments bruts

- **- La feuille est broyée dans de l'alcool absolu ou de l'acétone.**
- **- Les pigments solubles dans les solvants organiques sont extraits.**
- **- Après filtration (élimination des débris cellula obtention d'une solution brute de pigments.**

  - Séparation des différents pigments de la solution brute.

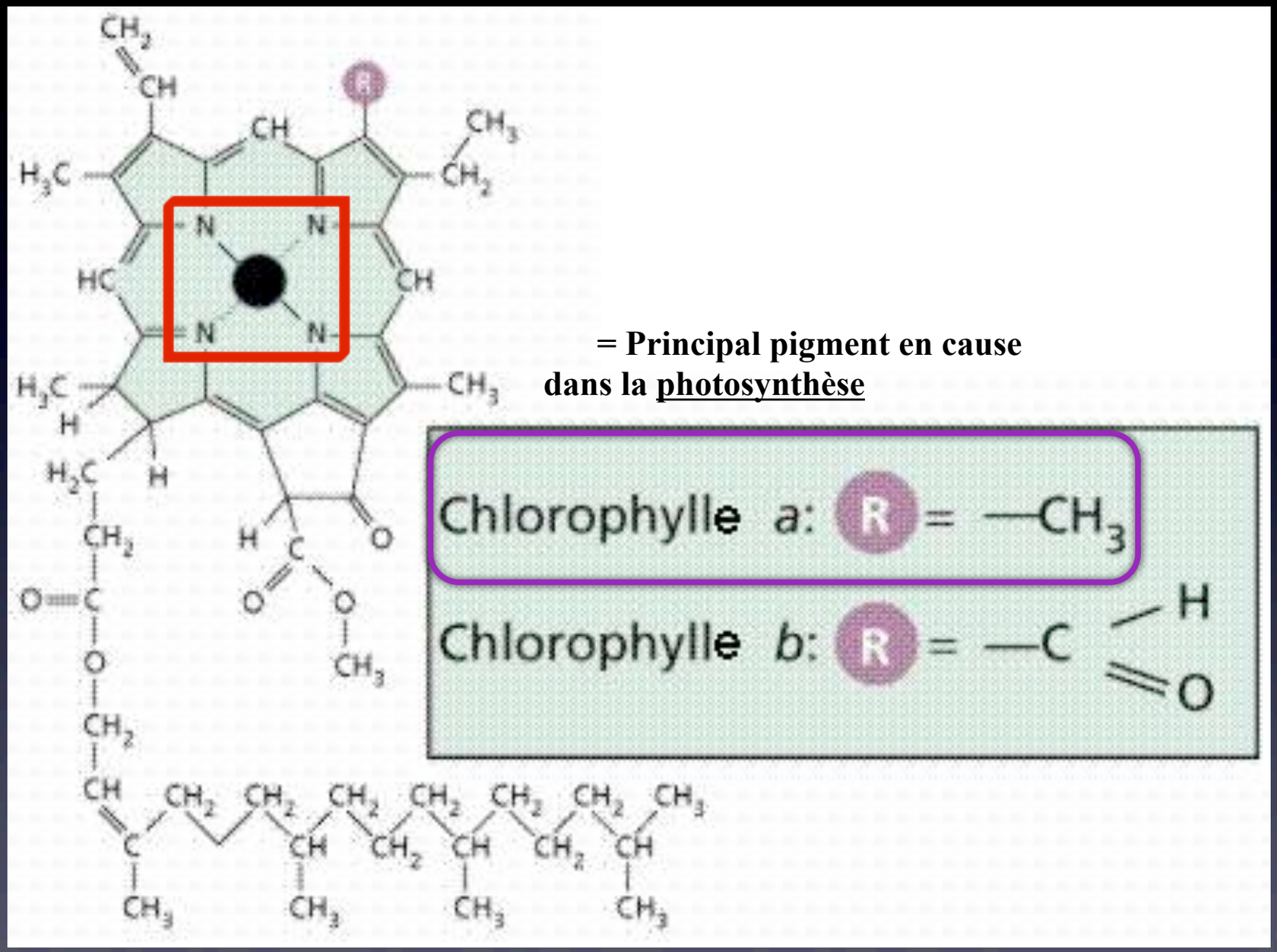


- Chromatographie sur papier (méthode qualitative)
- **- Dépôt d'une goutte de pigments bruts sur une feuille de papier.**
- **- Mise en place de la feuille de papier dans un récipient hermétique rempli d'un solvant approprié.**
- **- Le solvant monte dans la feuille par capillarité en entraînant les pigments de manière différentielle selon leur affinité avec le solvant.**
- **On peut distinguer ainsi deux catégories principales de pigments :**
  - les chlorophylles
  - les caroténoïdes



I-4-1- La chlorophylle

- **Deux parties distinctes**:
- Noyau complexe (tétrapyrrolique) ayant un ion (Mg^{2+}) central = site actif (Energie lumineuse piégée) = Hydrophile
- «Queue» apolaire.
- Chlorophylle : bipolaire.



Molécules de chlorophylle incluses dans la membrane

Granum

Membrane du thylacoïde

chlorophylle

I-4-2- Les caroténoïdes

- - Pigments présents chez toutes les plantes vertes = groupe important de pigments accessoires.

- = pigments jaunes et oranges qui absorbent la lumière verte.

- - Coloration masquée par celle de la chlorophylle.

I-5- Systèmes photochimiques

- **Seule la chlorophylle a peut convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique. Les autres pigments absorbent aussi la lumière mais cèdent leur énergie à la chlorophylle a.**

- La chlorophylle forme deux complexes avec les membranes des thylakoïdes:

  - Le complexe chlorophylle aI, qui absorbe directement les radiations de longueur d'onde supérieure à 680 nm (rouge).

  - Le complexe chlorophylle aII, qui absorbe directement l'énergie mais reçoit aussi de l'énergie absorbée par les autres pigments (chlorophylle b et caroténoïdes) à une longueur d'onde inférieure à 680 nm.

- Quand la lumière frappe un photosystème, n'importe quel pigment excité transmet l'énergie à la molécule de chlorophylle a du photosystème I ou II.

I-6- Fonction physiologique : la photosynthèse

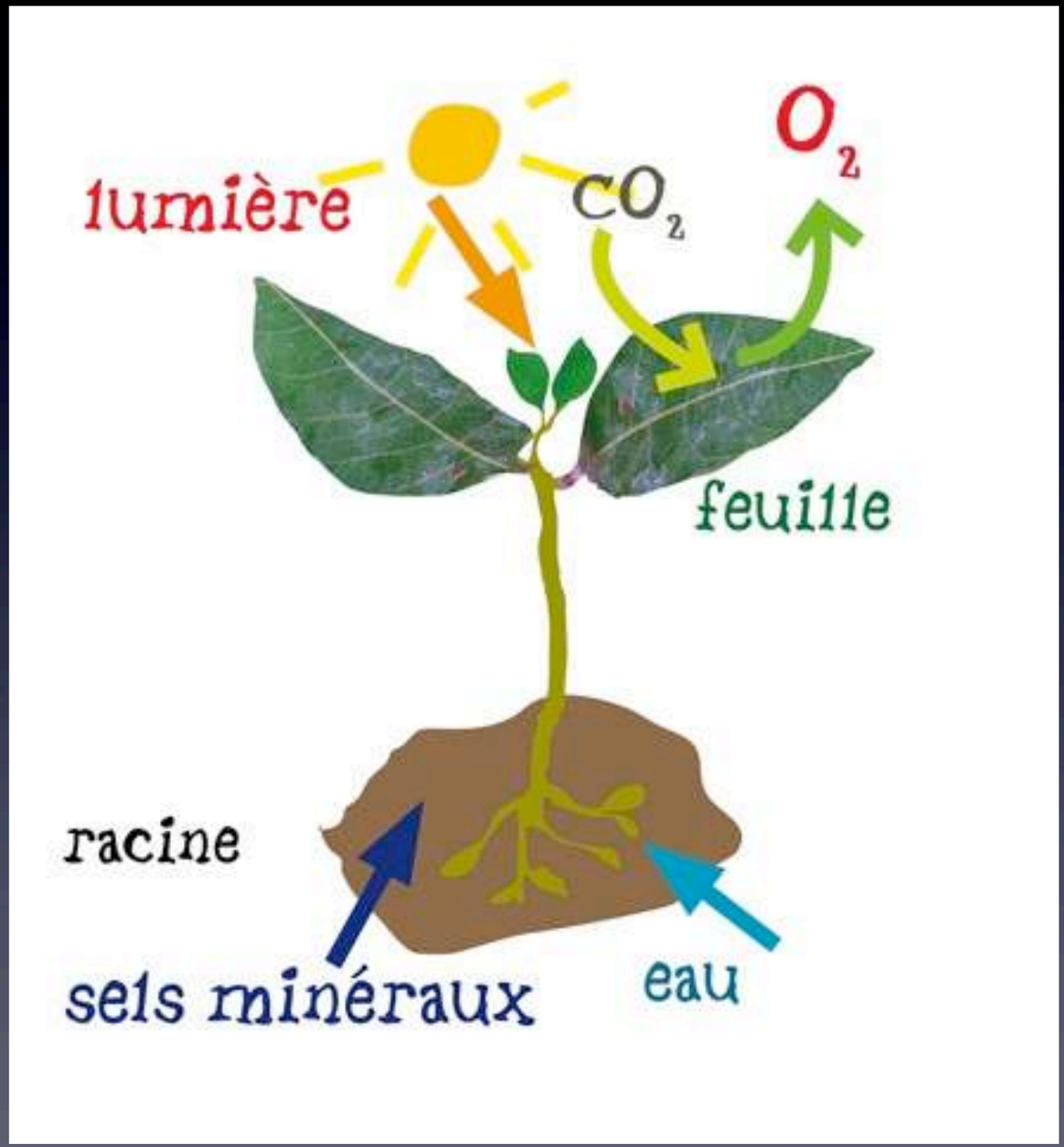
- Photosynthèse = l'ensemble des phènomènes qui participent à l'élaboration des glucides chez les végétaux verts.
- Grâce aux pigments et surtout à la chlorophylle a, le chloroplaste absorbe l'énergie lumineuse et la transforme en énergie chimique (ATP).
- L'ATP servira par la suite à la synthèse de nouveaux sucres qui pourront être stockés sous forme d'amidon.

Photosynthèse

- 5 facteurs nécessaires:

- • Lumière
- • Dioxyde de carbone
- • Eau
- • Chlorophylle
- • Enzymes

Les végétaux sont autotrophes:
ils synthétisent leur propre matière organique à partir de substances minérales qu'ils puisent dans le sol ou dans le milieu aquatique (eau et sels minéraux).

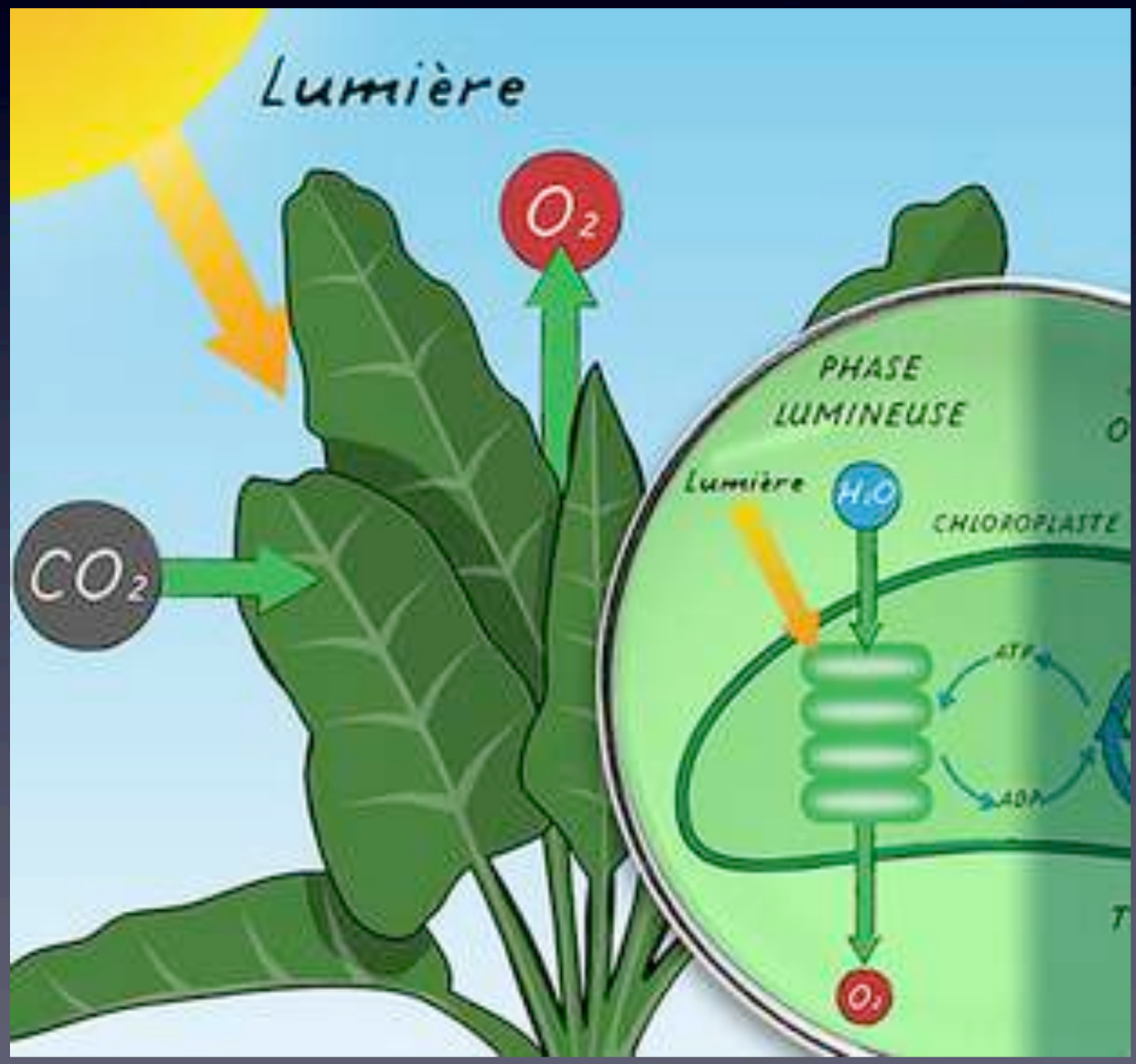


Formule générale de la photosynthèse

$$6CO_2 + 6H_2O + hv \text{ (Energie lum)} \dashrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

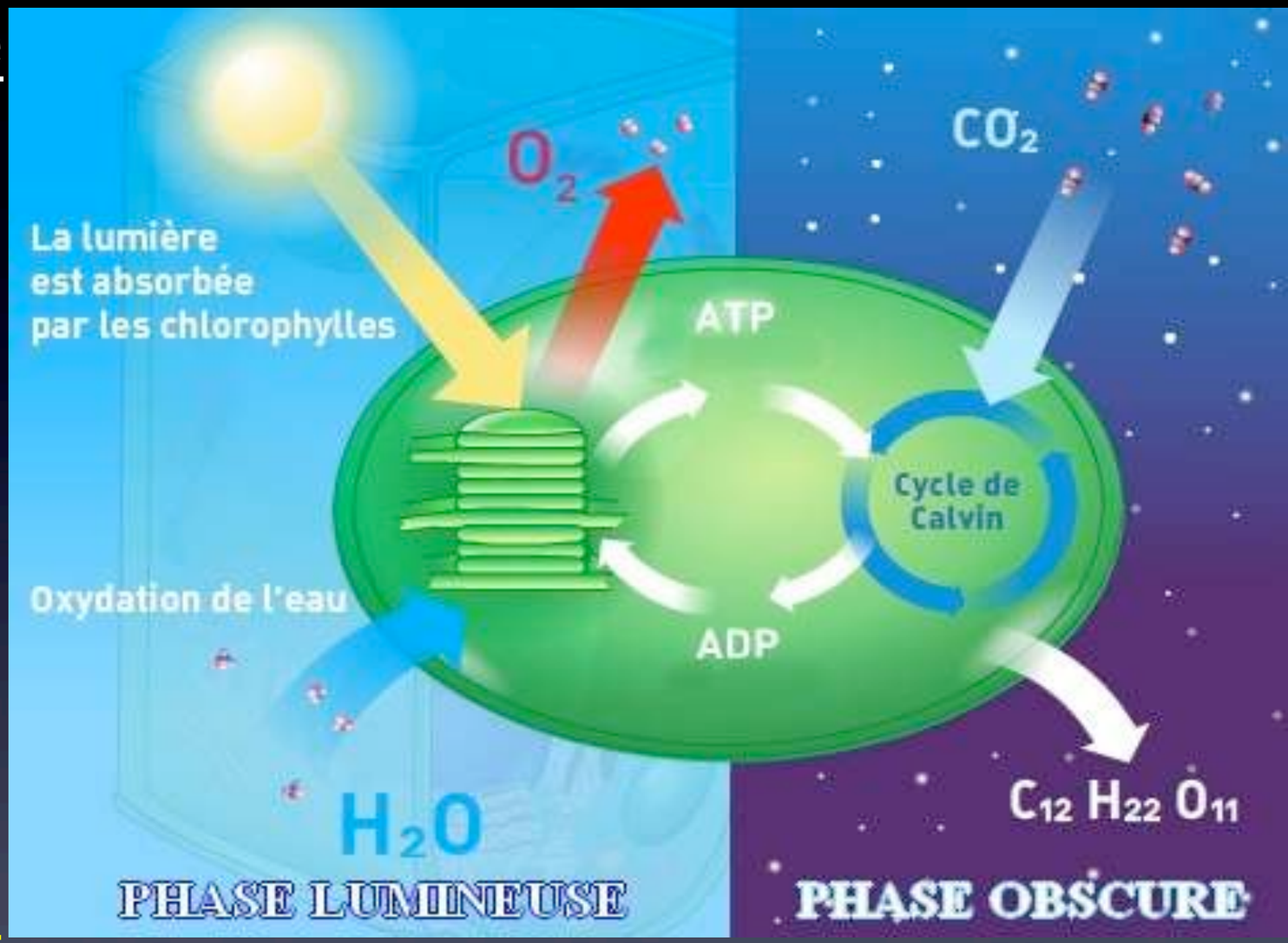
<u>D e u x p é r i o d e s</u> successives:

- **<u>Phase lumineuse</u>**
- **<u>Phase obscure</u>.**



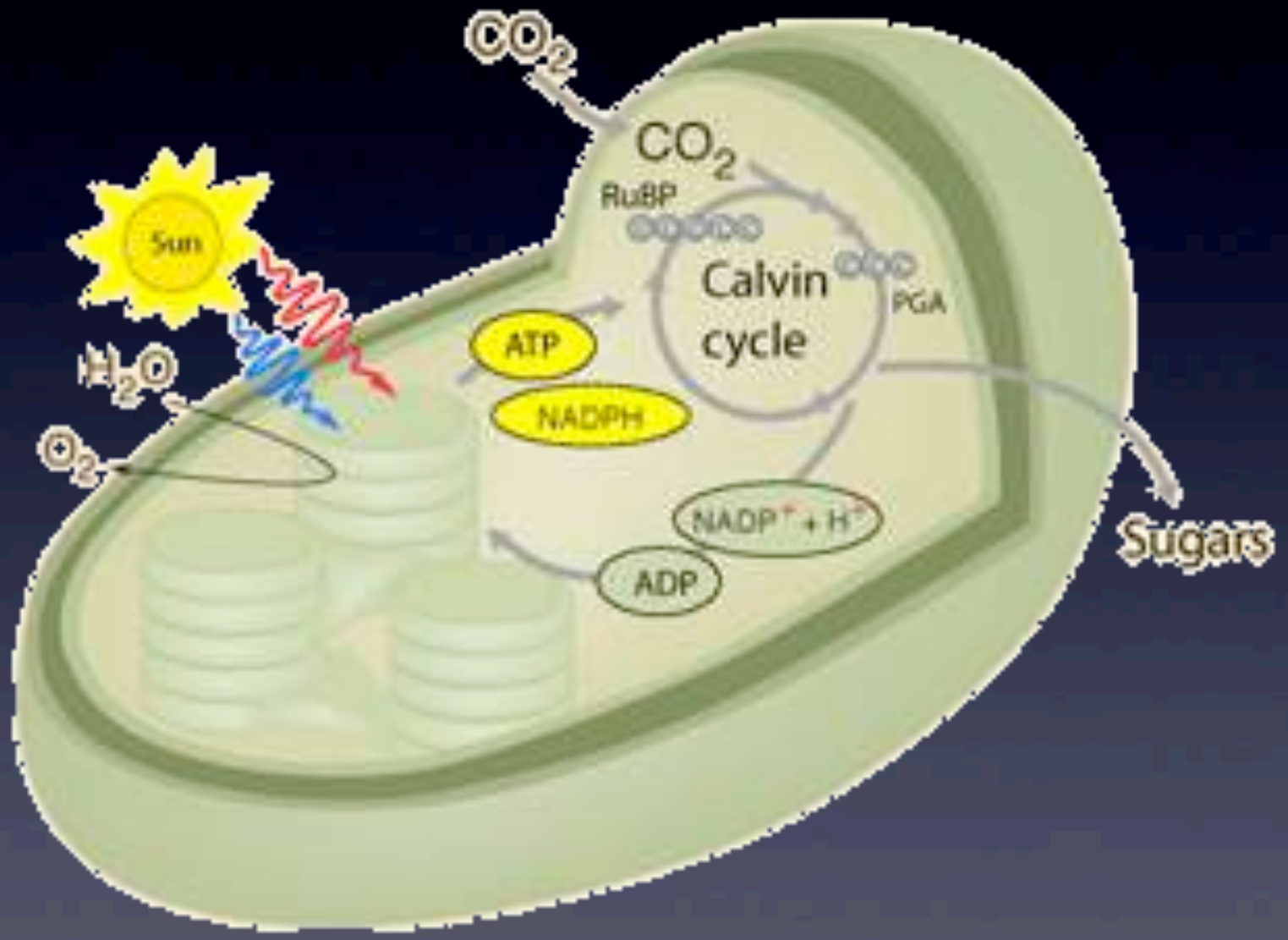
1- Phase lumineuse :

- Au niveau des grana.
- Conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique.
- Oxydation de l'eau apportée à la plante et production d'oxygène.
- Apparition, par phosphorylation, de l'ATP et de la $NADPH_2$ qui seront utilisés pour la réduction du gaz carbonique au cours de la phase obscure.



2- La phase obscure (cycle de Calvin)

- Stroma.
- **Production de l'O_2 absorbé, grâce au $NADPH_2$ et à l'ATP formés au cours de la phase lumineuse.**
- **Réduction du CO_2**
- **Elaboration des glucides.**



1. Phase lumineuse (réactions photochimiques)

- **La phase lumineuse regroupe les phénomènes qui dépendent directement de la lumière.**
- **Les réactions photochimiques incluent les étapes de la photosynthèse qui convertissent l'énergie solaire en énergie chimique.**
- **La lumière est émise sous forme de particules appelées photons.**
- **Chaque photon possède une quantité déterminée d'énergie.**
- **Ainsi, dans toute réaction photochimique, le processus primaire est l'absorption d'un photon par une molécule réagissante.**

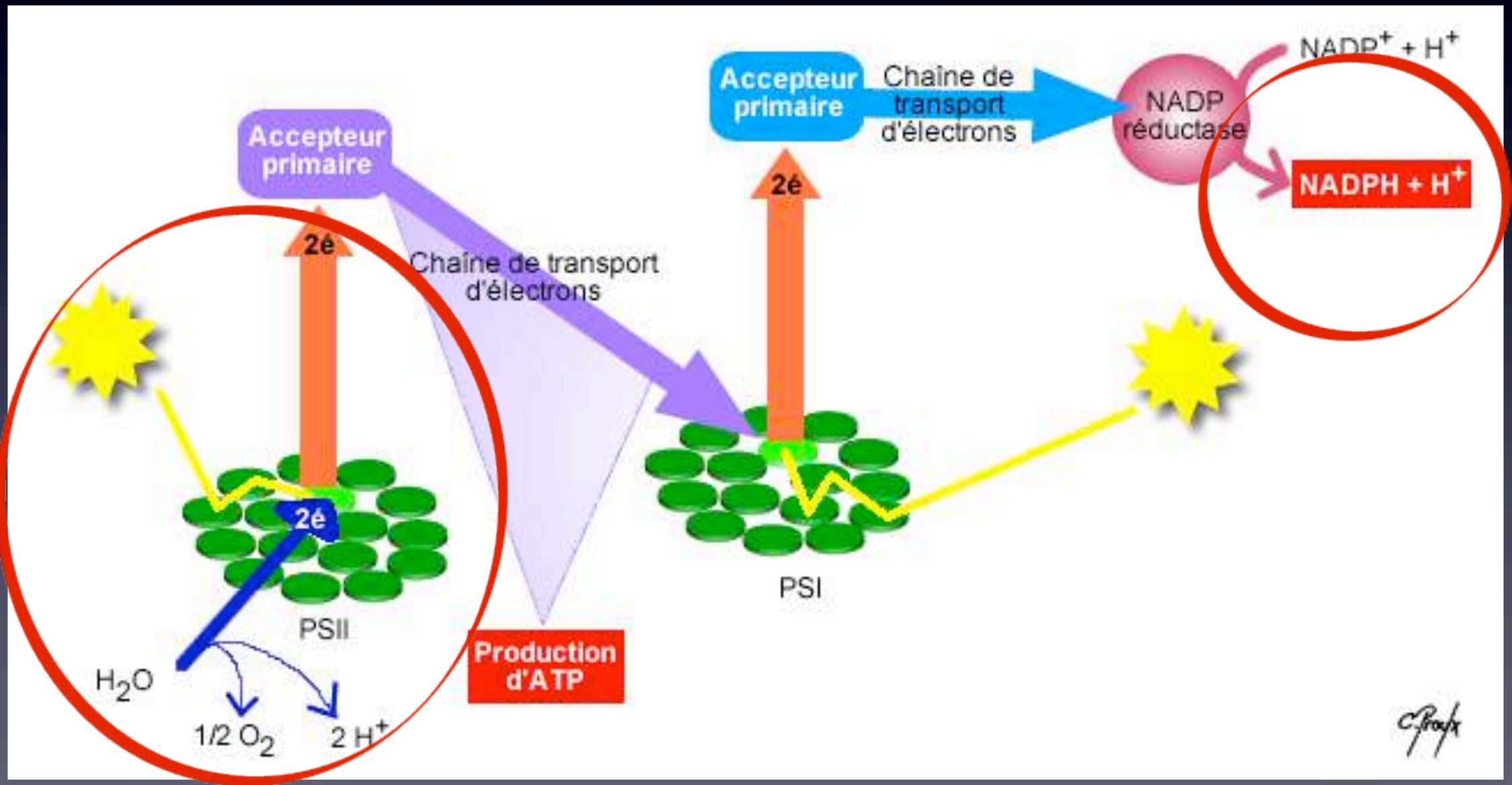
1.1. Photolyse de l'eau et réduction de $NADP^+$

- La lumière absorbée par la chlorophylle déclenche un transfert d'électrons et de protons de l'eau vers un accepteur, le NADP, qui stocke temporairement les électrons riches en énergie.
- La molécule d'eau se trouve scindée suivant la réaction:

- H_20 ---------- $2H^+ + 2$électrons $+ 1/2O_2$
- La paire d'électrons et les deux protons ($2e + 2H^+$) sont éventuellement acceptés par le $NADP^+$ qu'ils réduisent :

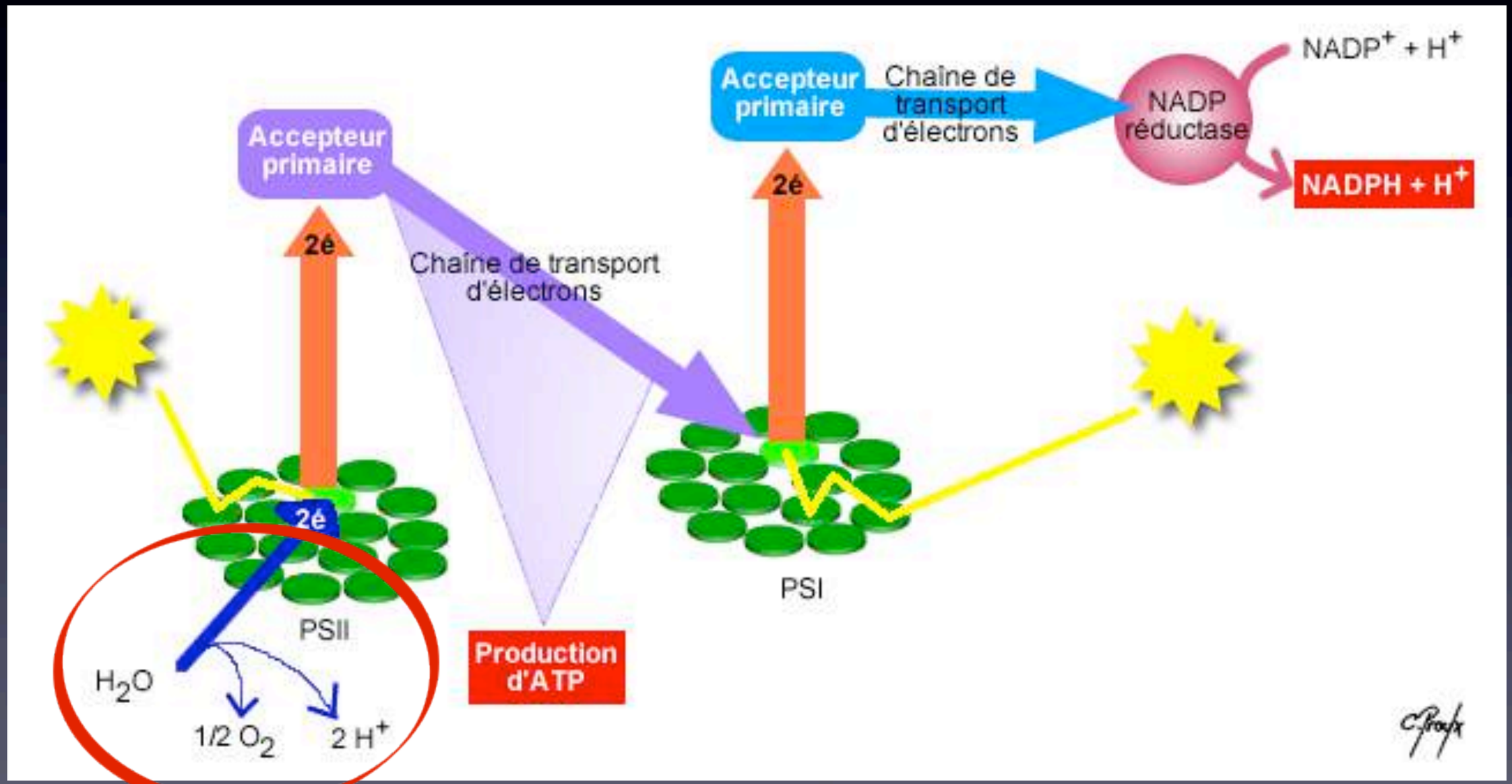
1.1. Photolyse de l'eau et réduction de $NADP^+$

- La lumière absorbée par la chlorophylle déclenche un transfert d'électrons et de protons de l'eau vers un accepteur, le NADP, qui stocke temporairement les électrons riches en énergie.

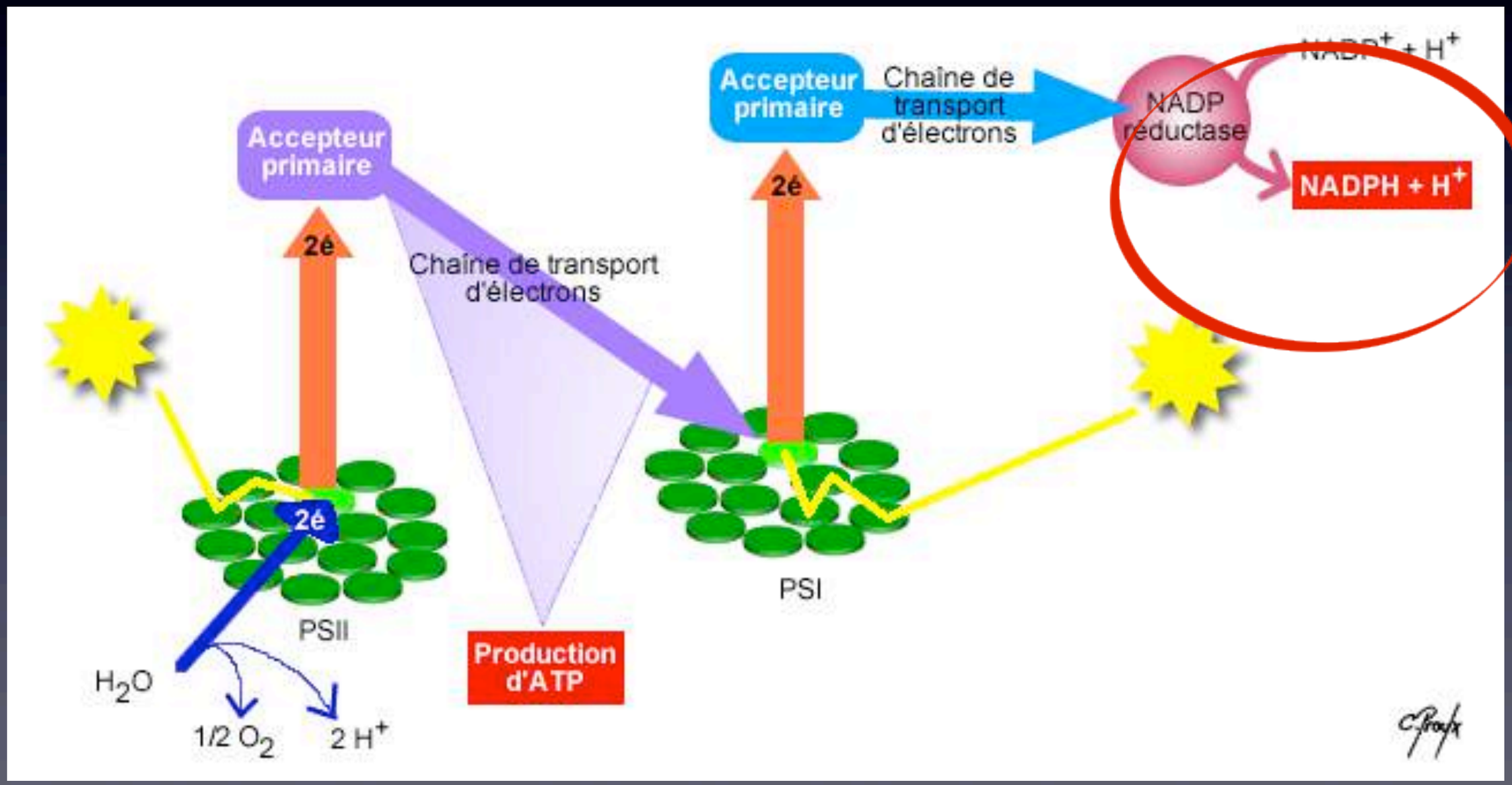


- La molécule d'eau se trouve scindée suivant la réaction:

H_20 ---------- $2H^+ + 2électrons + 1/2O_2$



- La paire d'électrons et les deux protons ($2e + 2H^+$) sont éventuellement acceptés par le $NADP^+$ qu'ils réduisent :

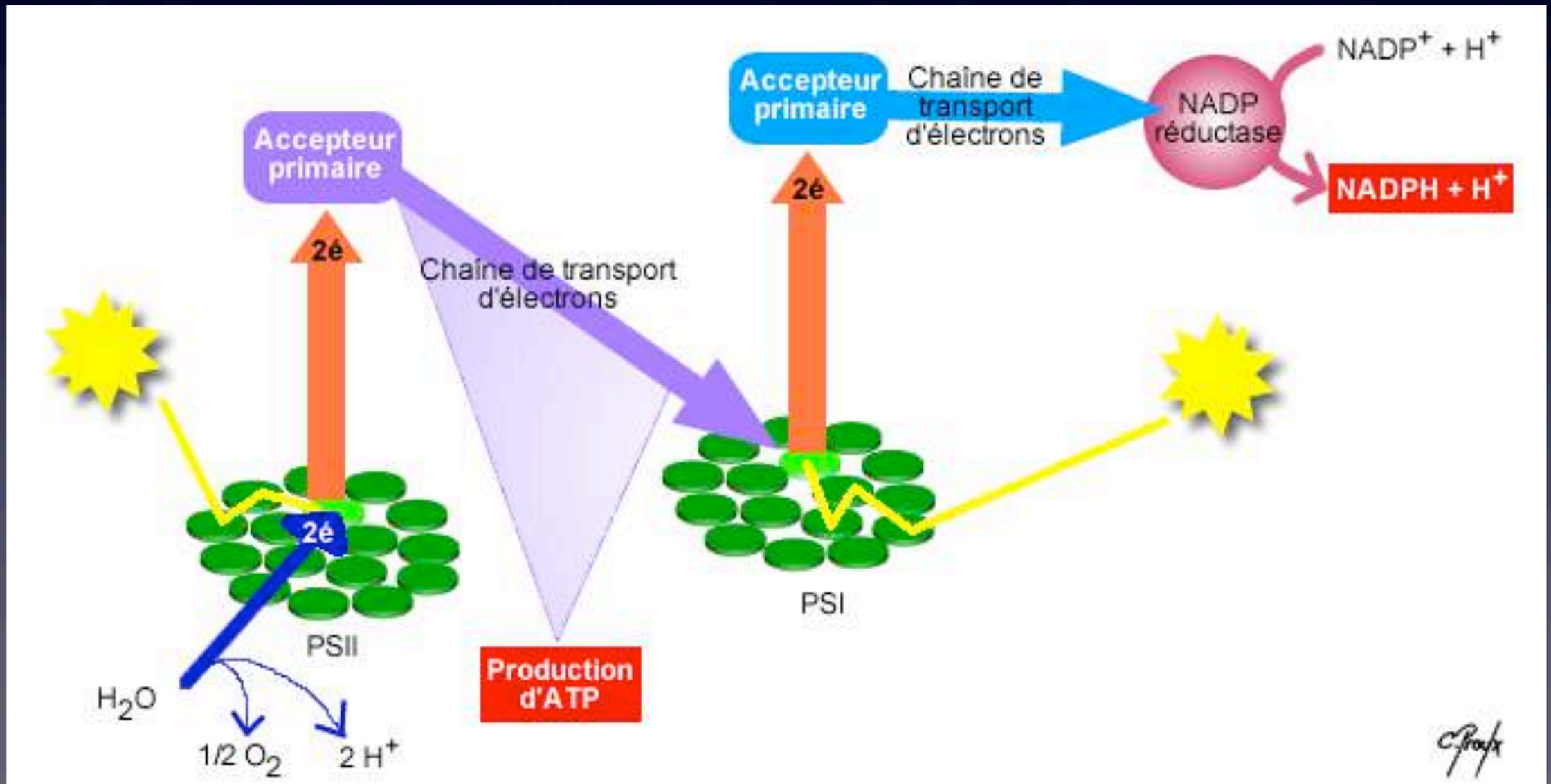


1.2. Captation de l'énergie lumineuse par les pigments et photophosphorylation

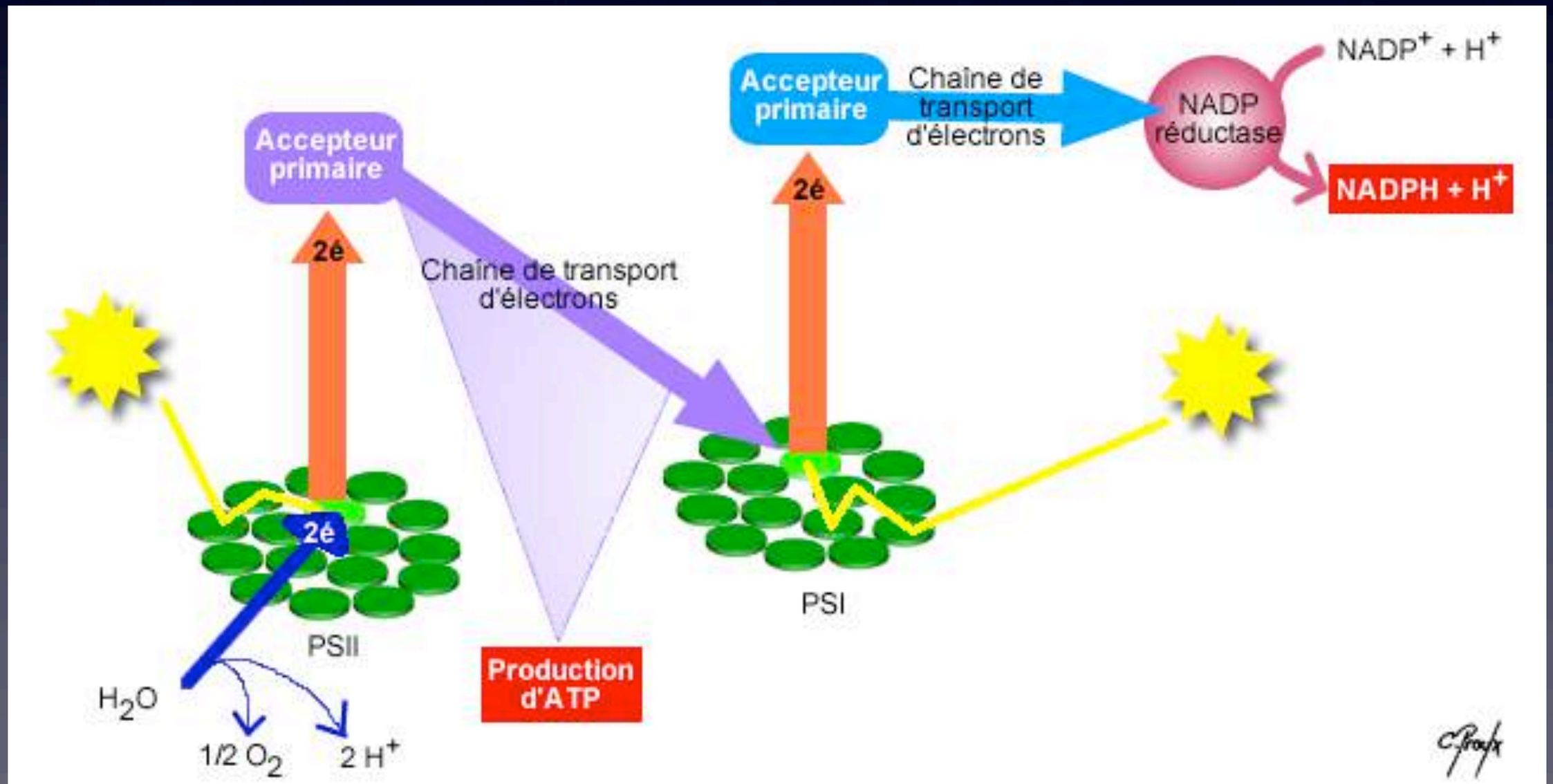
- Sous l'effet de l'énergie lumineuse, la chlorophylle a (sous ses deux formes PSI, PSII) émet un électron riche en énergie qui quitte la molécule et est recueilli par la chaîne de transporteurs d'électrons, nommée "chaîne photosynthétique" qui capte les électrons et les amène successivement jusqu'à la surface externe de la membrane des thylakoïdes.
- La chaîne photosynthétique accumule des protons dans les cavités des thylakoïdes pour former un réservoir de protons.
- Ensuite, l'énergie emmagasinée dans le réservoir de protons est utilisée par l'ATP-synthétase pour catalyser la formation d'ATP. Ce processus s'appelle la photophosphorylation. Le transport des électrons excités peut se faire selon deux trajets : cyclique ou non cyclique.

1.2. Captation de l'énergie lumineuse par les pigments et photophosphorylation

- Sous l'effet de l'énergie lumineuse, la chlorophylle a (sous ses deux formes PSI, PSII) émet un électron riche en énergie qui quitte la molécule et est recueilli par la chaîne de transporteurs d'électrons, nommée "chaîne photosynthétique" qui capte les électrons et les amène successivement jusqu'à la surface externe de la membrane des thylakoïdes.

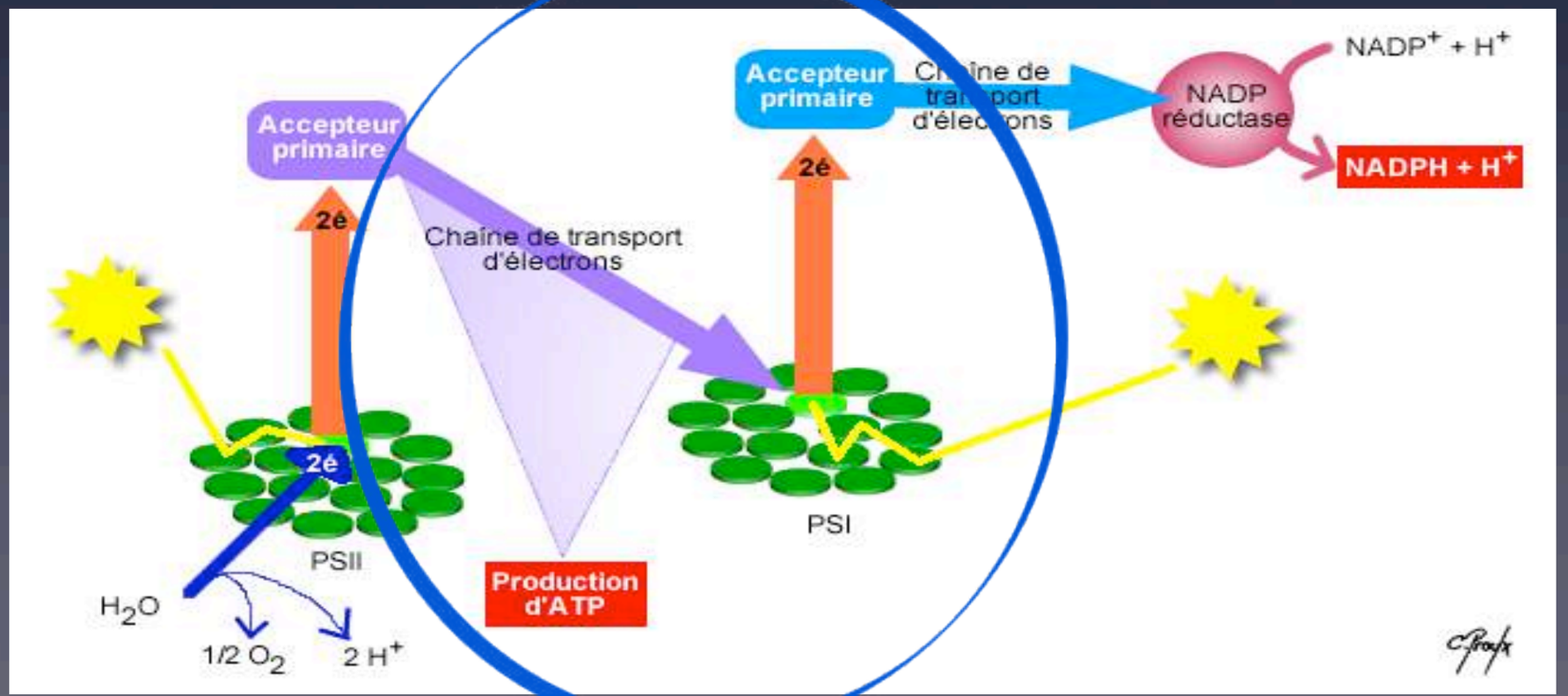


- La chaîne photosynthétique accumule des protons dans les cavités des thylakoïdes pour former un réservoir de protons.
- Ensuite, l'énergie emmagasinée dans le réservoir de protons est utilisée par l'ATP-synthétase pour catalyser la formation d'ATP. Ce processus s'appelle la photophosphorylation. Le transport des électrons excités peut se faire selon deux trajets : cyclique ou non cyclique.



1.2.1. Transport cyclique d'électrons

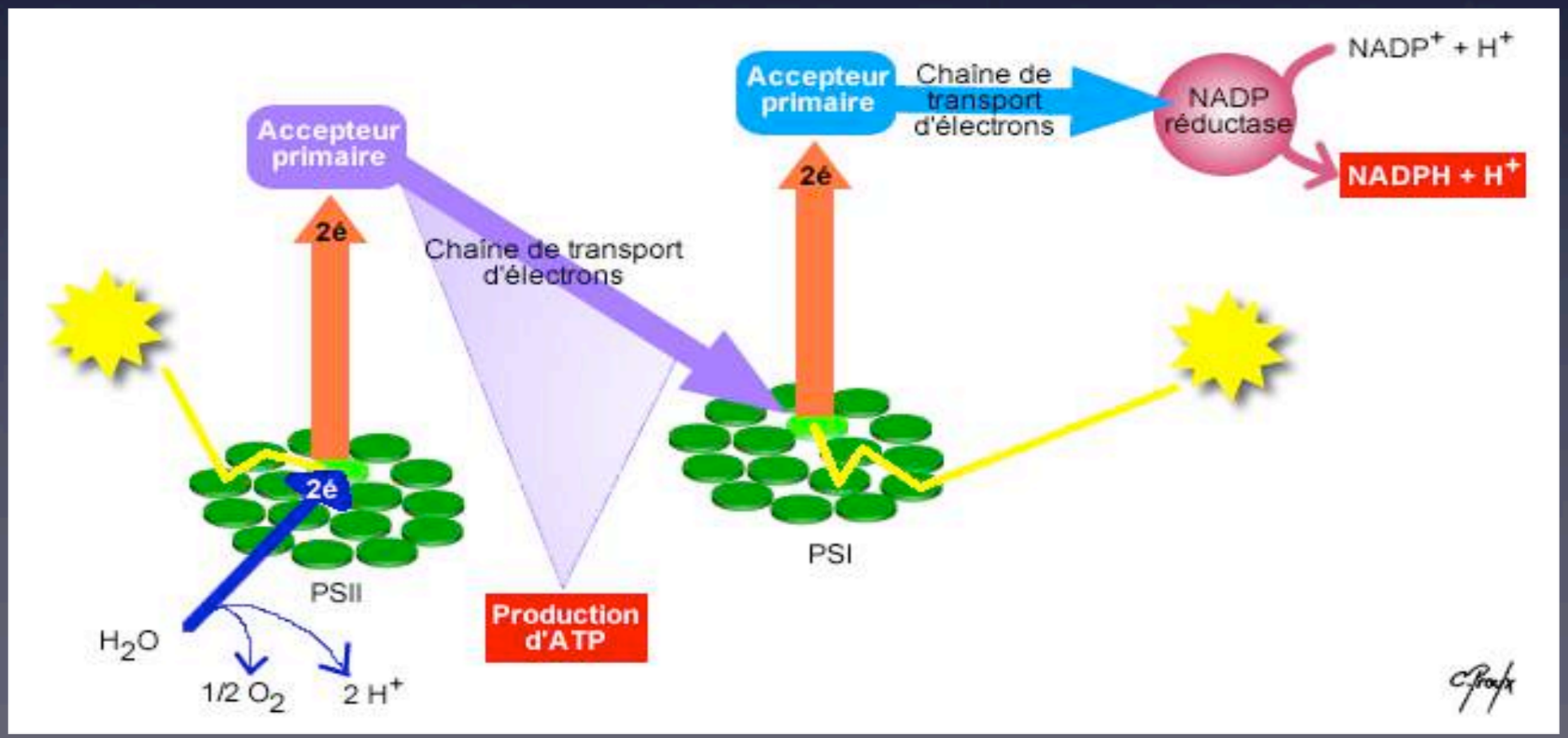
- Le transport cyclique d'électrons est le trajet le plus simple. Il ne fait intervenir que le photosystème I et n'engendre que de l'ATP; il ne produit ni NADPH + H^+ ni oxygène.
- Cette voie est dite cyclique parce que les électrons excités qui quittent la chlorophylle du photosystène I finissent par y revenir.



1.2.2. Transport non cyclique d'électrons

- Fait intervenir les 2 photosystèmes I et II et il s'établit un courant continuel d'électrons entre l'eau et le $NADP^+$.
- - Les électrons éjectés du photosystème II se font remplacer par des électrons retirés de l'eau.
- - Les électrons excités du photosystème II descendent une chaîne de transport d'électrons jusqu'au photosytème I, en fournissant l'énergie nécessaire à la synthèse d'ATP.
- - L'excitation du photosystème I propulse des électrons riches en énergie qui rejoignent le $NADP^+$ et le réduisent en $NADPH + H^+$.
- - La production d'ATP au cours du transport non cyclique d'électrons est appelée photophosphorylation non cyclique. Les produits nets du transport non cyclique d'électrons sont l'ATP, le $NADPH + H^+$ et l'oxygène qui diffuse à l'extérieur de la cellule puis de la plante.

- - L'énergie lumineuse provoque l'excitation et le départ d'un électron d'une molécule de chlorophylle du photosystème II.
- - Pour compenser cette perte, ce dernier récupère un électron à partir de la photolyse de la molécule d'eau:
- H_2O ---> 2 H^+ + 1/2 O_2 + 2e^- (Photolyse de l'eau)
- - Il y a production d'O_2, d'ATP et de NADPH et H+.
  - C'est donc l'eau qui est le donneur d'électron et le NADP+ qui est l'accepteur final;
  - l'O_2, libéré dans l'atmosphère, est utilisé dans la respiration cellulaire.



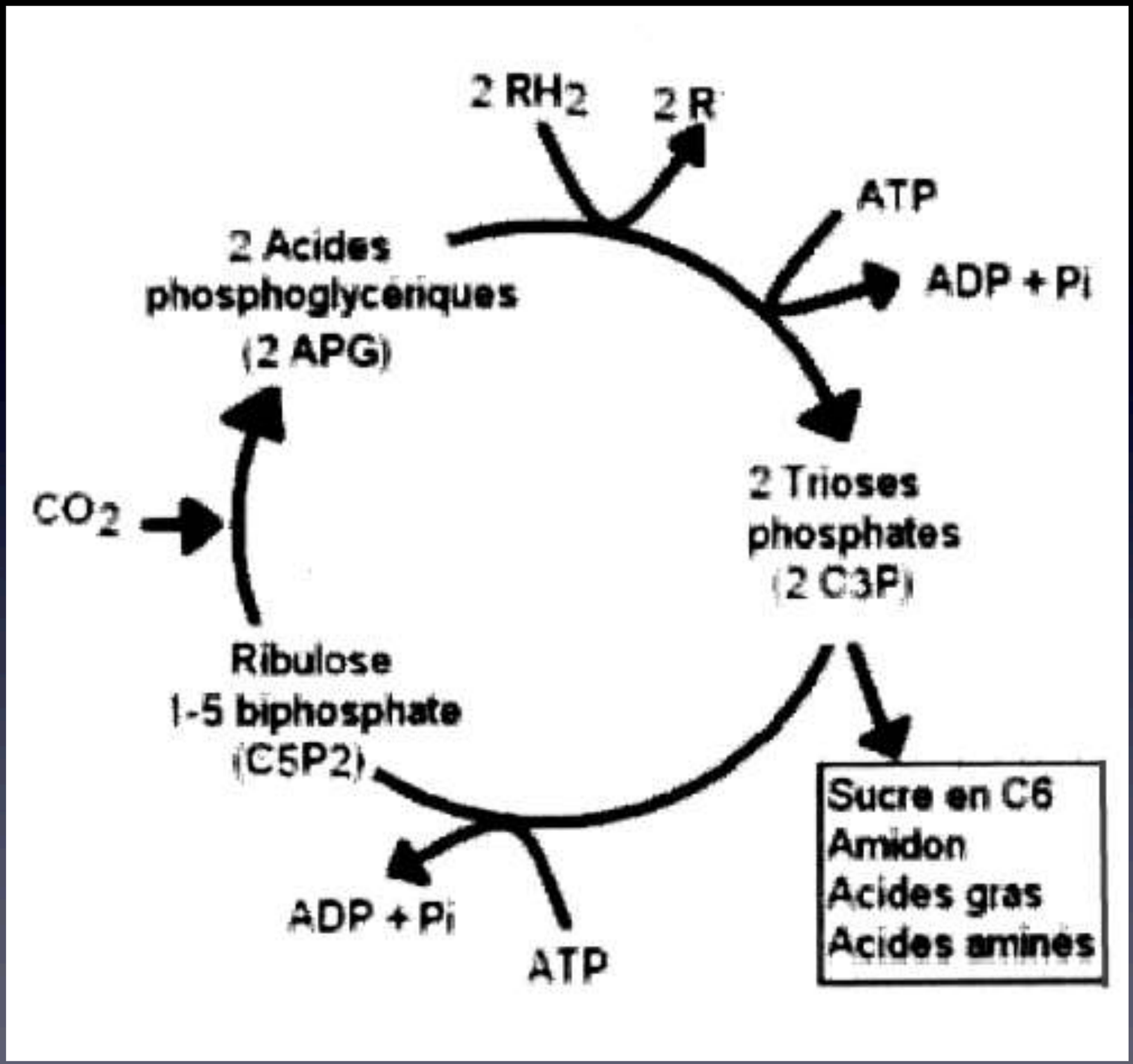
2- Phase obscure: cycle de Calvin = *Phase de fixation du carbone*

- **= Phase enzymatique permettant la synthèse de sucres, utilisant le CO2 (air) comme source de C.**
- ***Stroma*.**
- **Commence avec le CO2 et une molécule à 5C, *le RuP*, qui réagissent pour former deux molécules à 3C *APG* (phosphoglycérate).**
- **Chaque molécule d'APG utilise I ATP et I NADPH $+H^+$ pour se convertir en *PGAL* (phosphoglycéraldéhyde).**
- **Une 3ème ATP est nécessaire pour phosphoryler le ribulose phosphate pour régénérer la molécule de départ, le ribulose diphosphate.**

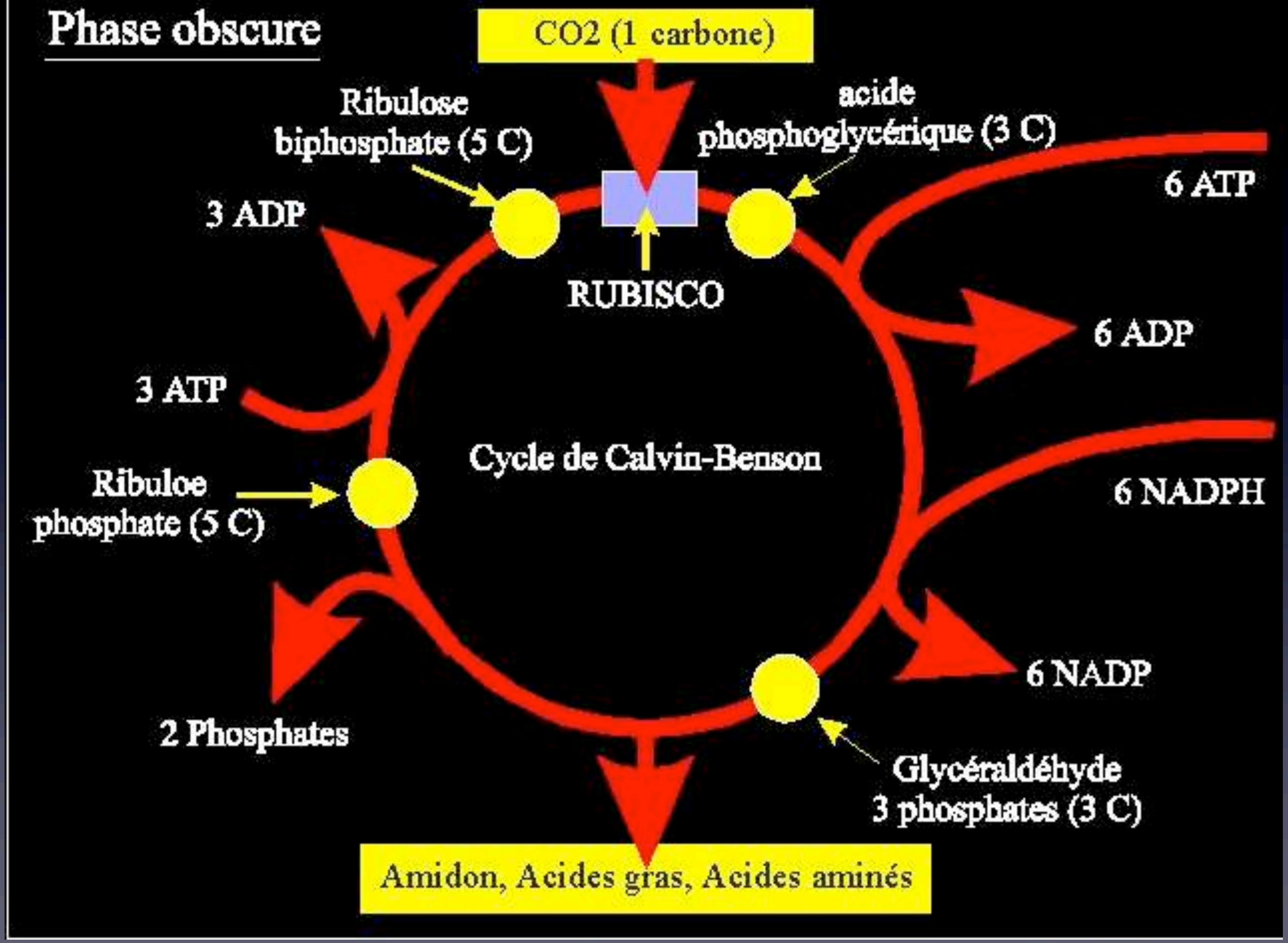
- **<u>Equation globale :</u>**

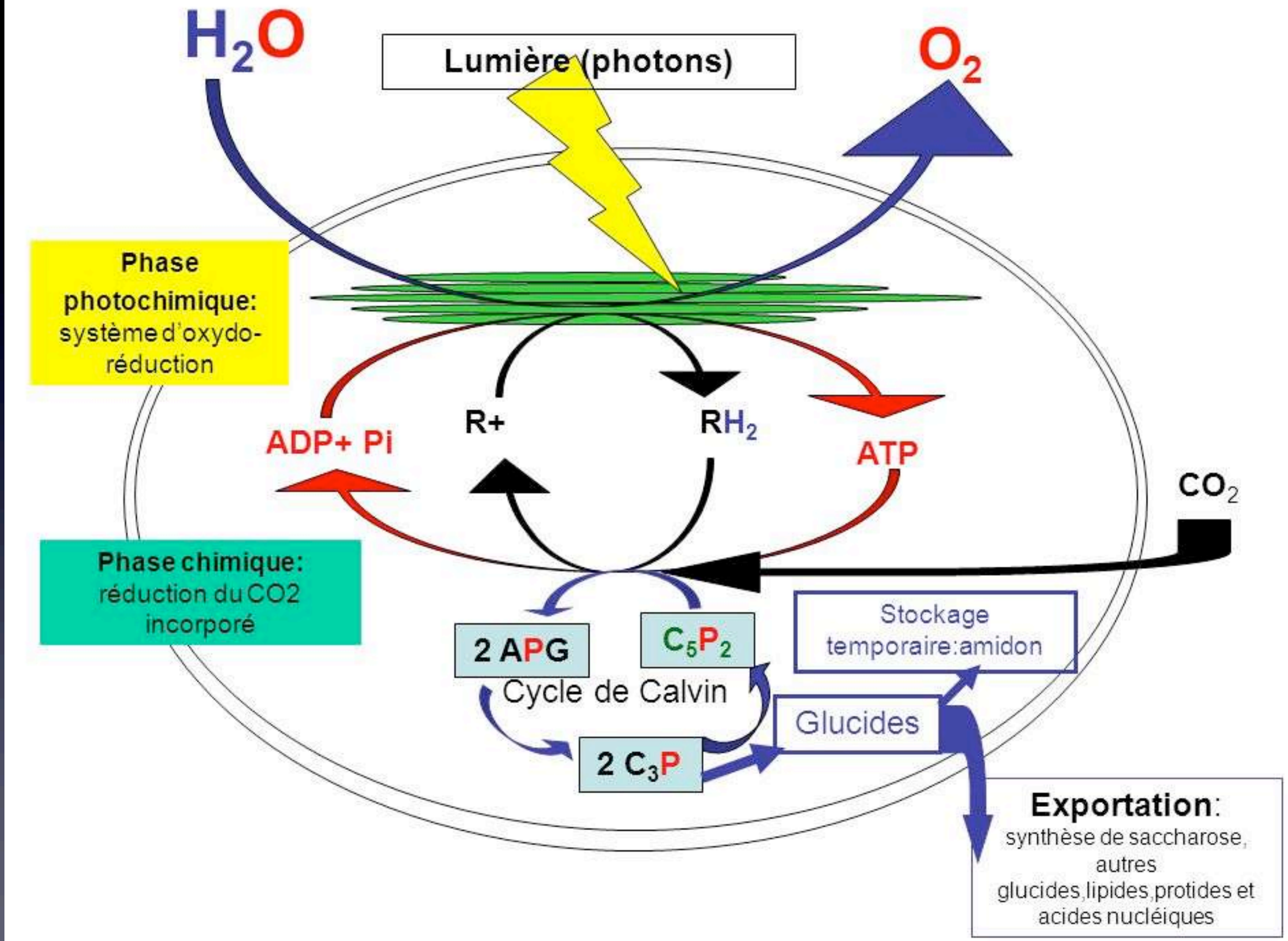
- $RuP + CO_2 + 2NADPH + 2H^+ + 3ATP$ -------- $RuDP + CH_2O + 2NADP^+ + 3ADP + 3P_i$

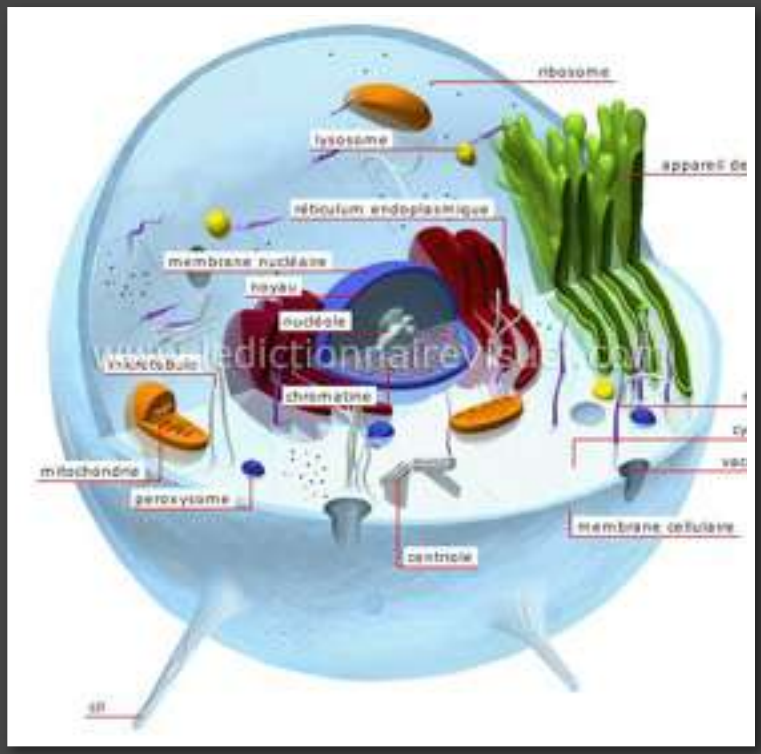
6 tours du cycle de Calvin = production de l'équivalent d'une molécule de glucose .



Phase obscure




H_2O
Lumière (photons)
O_2
Phase photochimique: système d'oxydo-réduction
ADP+ Pi
R+
RH_2
ATP
CO_2
Phase chimique: réduction du CO2 incorporé
2 APG
C_5P_2
Cycle de Calvin
Stockage temporaire:amidon
Glucides
2 C_3P
Exportation: synthèse de saccharose, autres glucides,lipides,protides et acides nucléiques



Biologie cellulaire

M^me^Boutaïna BELQAT

BIOLOGIE CELLULAIRE= connaissance de la cellule

Petite Histoire de la Biologie Cellulaire

1665 : **Robert Hooke** découvre des **cellules dans du liège** en utilisant les premiers microscopes.

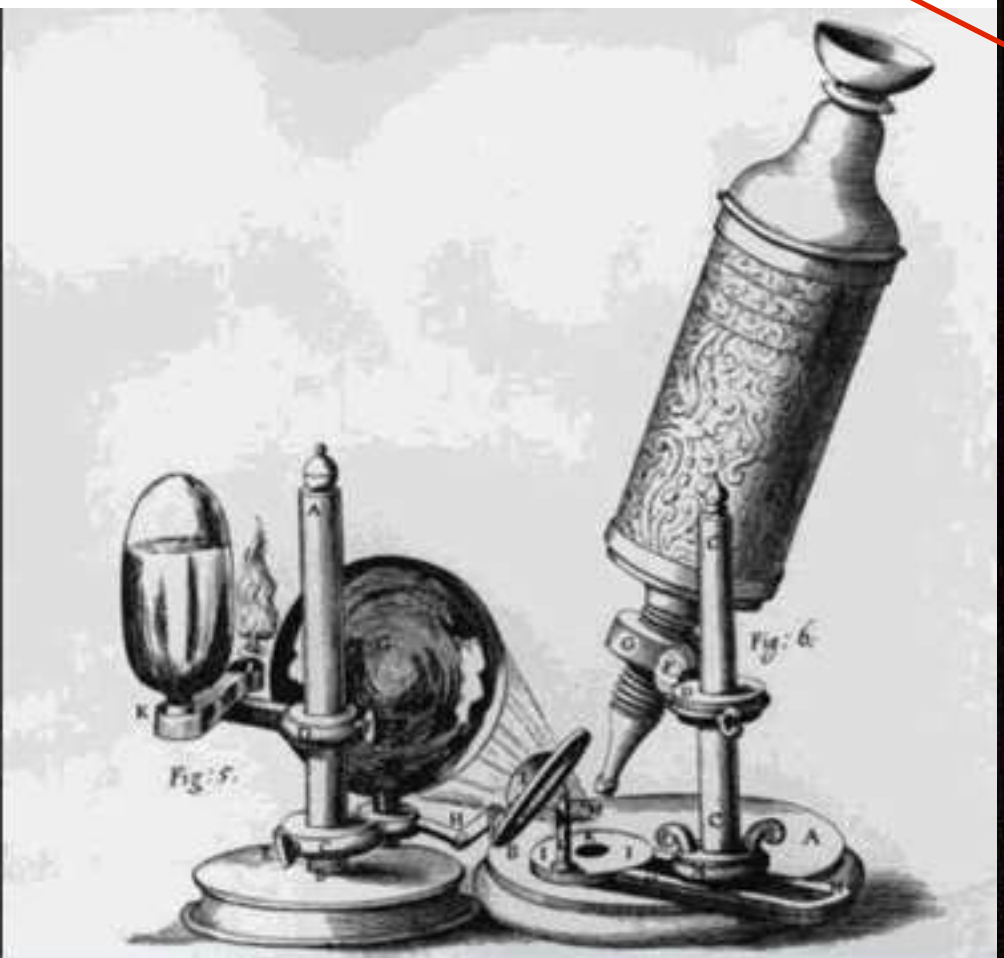
1677 : **Antoine van Leeuwenhoek**, connu pour ses améliorations du microscope, observe le poivre ce qui l'amène à la découverte accidentelle d'**animalcules**, connus aujourd'hui sous le nom de **protozoaires**.

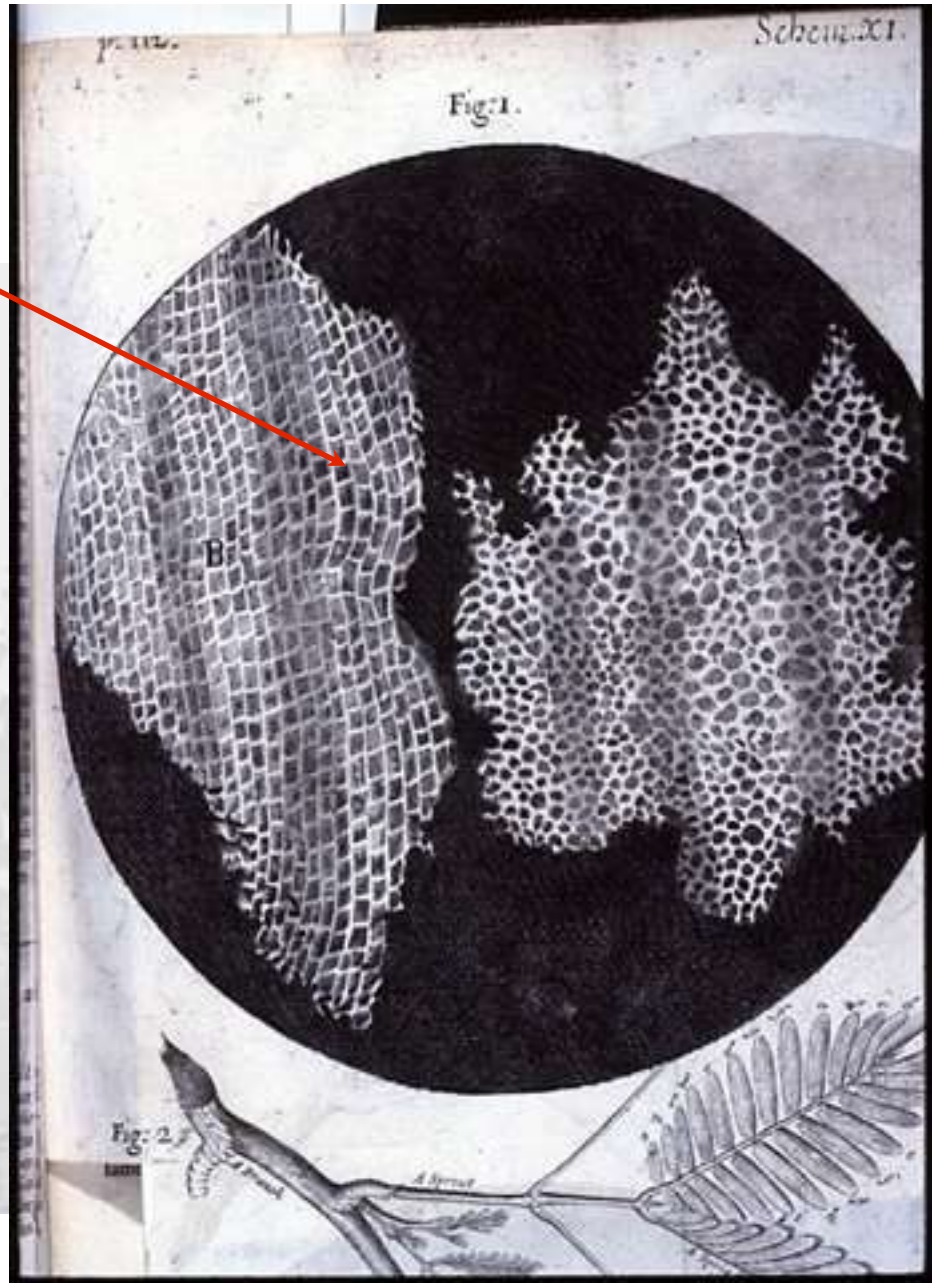
1838 : **Matthias Jakob Schleiden** (botaniste) et en 1839 : **Theodor Schwann** (zoologiste) découvrent que **les plantes et les animaux sont tous faits de cellules**, concluant que la cellule est l'unité commune de structure et de développement, ce qui fonda la **théorie cellulaire**.

1858 : **Louis Pasteur réfute la génération spontanée**, croyance selon laquelle des formes de vie peuvent apparaître spontanément.

1858 : **Rudolph Virchow** affirme que les cellules naissent du résultat de la division cellulaire (« omnis cellula e cellula »)

Microscope utilisé par Hooke et la coupe de liège qu'il avait observé





Protozoaire

Proto (premier)

-zoa (animal)

= **protistes** (organismes **eucaryotes unicellulaires**) hétérotrophes qui ingèrent leur nourriture par phagocytose.

La cellule unique des Protozoaires est plus complexe que la cellule animale typique.

Toutes les fonctions nécessaires à la vie animale sont remplies par cette cellule unique.

LE CONCEPT CELLULAIRE

- Enoncé en 1838 par Schwann et Schleiden.
- En terme général la théorie cellulaire = la cellule est l'unité de vie (tout ce qui est vivant est cellulaire) et contient des organites dans son intérieur.

- Concept facilement accepté par les microscopistes sauf ceux du système nerveux qui persistaient à penser que c'était un "continuum" (une continuité) : une structure sans compartiments séparés.

- Ramon y Cajal à partir de 1900 introduit et généralise la notion de neurone (cellule nerveuse), faisant du tissu nerveux un tissu comparable aux autres.

- Un organisme complexe est constitué de tissus possédant différentes fonctions, eux-mêmes formant des organes spécialisés .

Théorie cellulaire

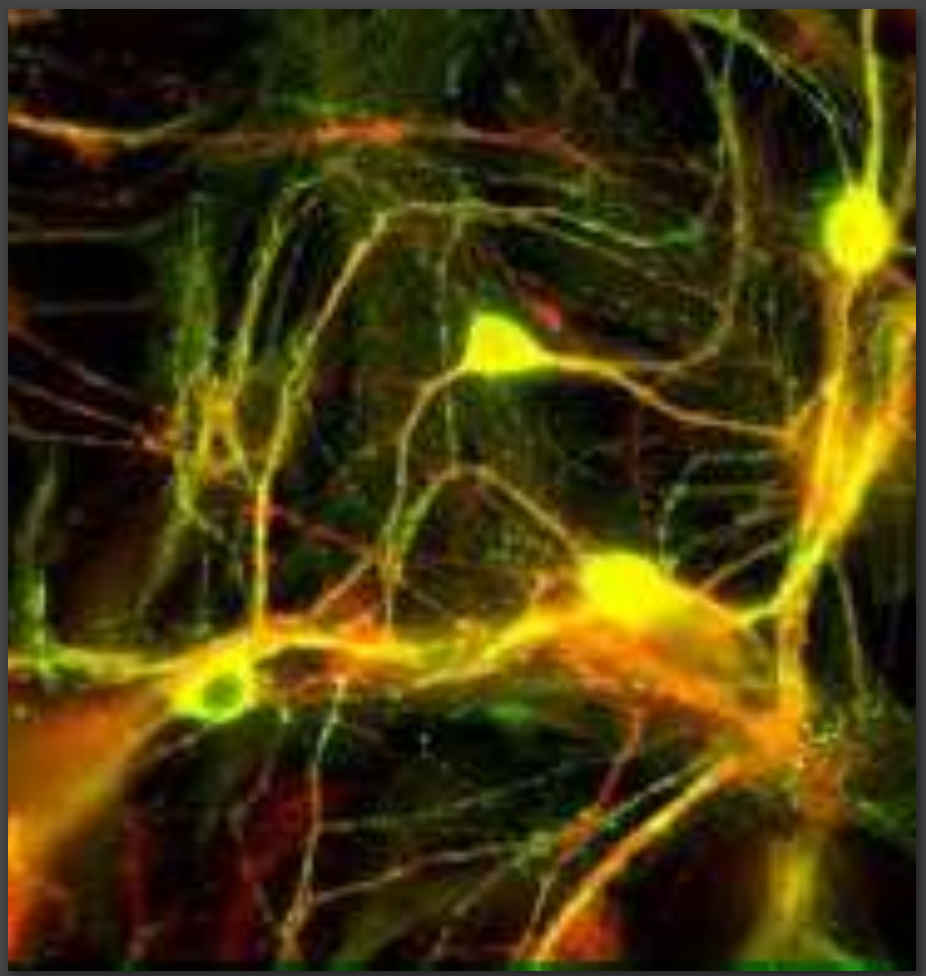
- La cellule est l'unité constitutive des organismes vivants. Elle en est aussi l'unité fonctionnelle.

-L'organisme dépend de l'activité des cellules isolées ou groupées en tissus pour assurer les différentes fonctions.

-Les activités biochimiques des cellules sont coordonnées et déterminées par certaines structures présentes à l'intérieur des cellules.

-La multiplication des cellules permet le maintien des organismes et leur multiplication.

Tissu nerveux



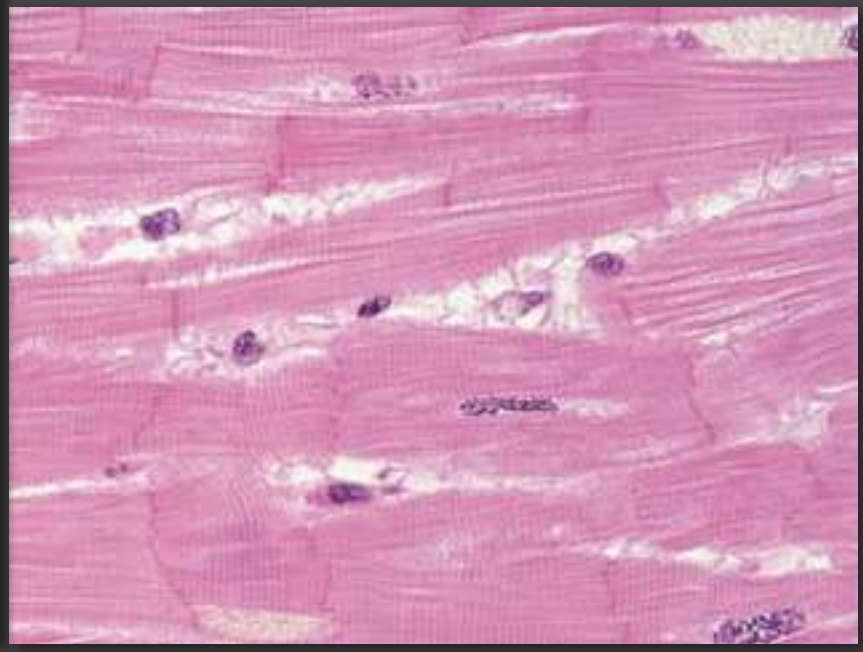
Cellules nerveuses = Neurones

Organisme

Organes

Tissus

Coeur



Tissu c**ardi**aque (myocarde)

Organisme

Organes

Tissus

Cellules (se différencient pour former des tissus et des organes spécialisés)

+ Matrice extracellulaire

Organites

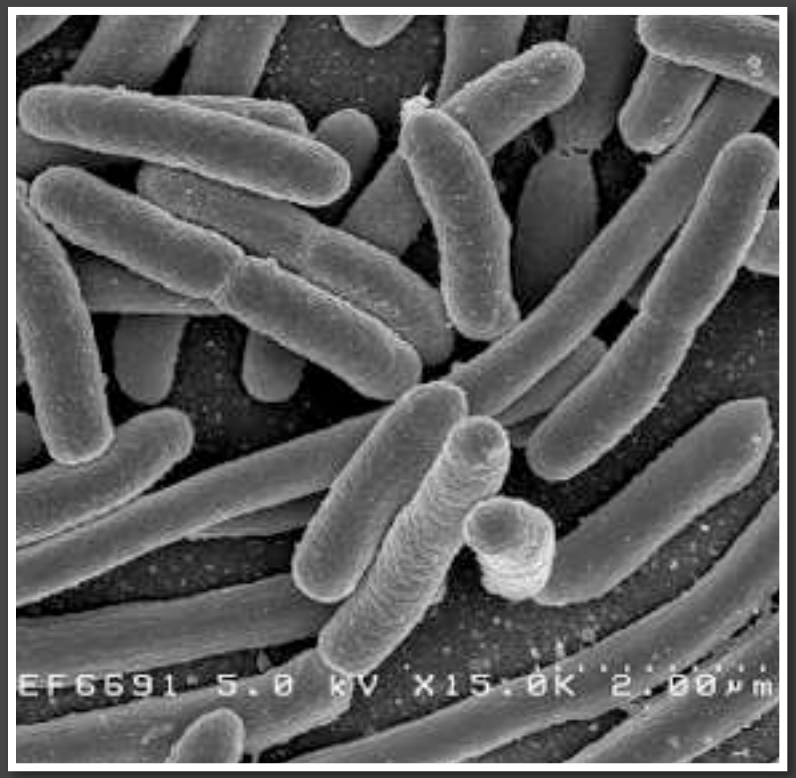
Molécules biologiques (Protéines , lipides, Glucides)

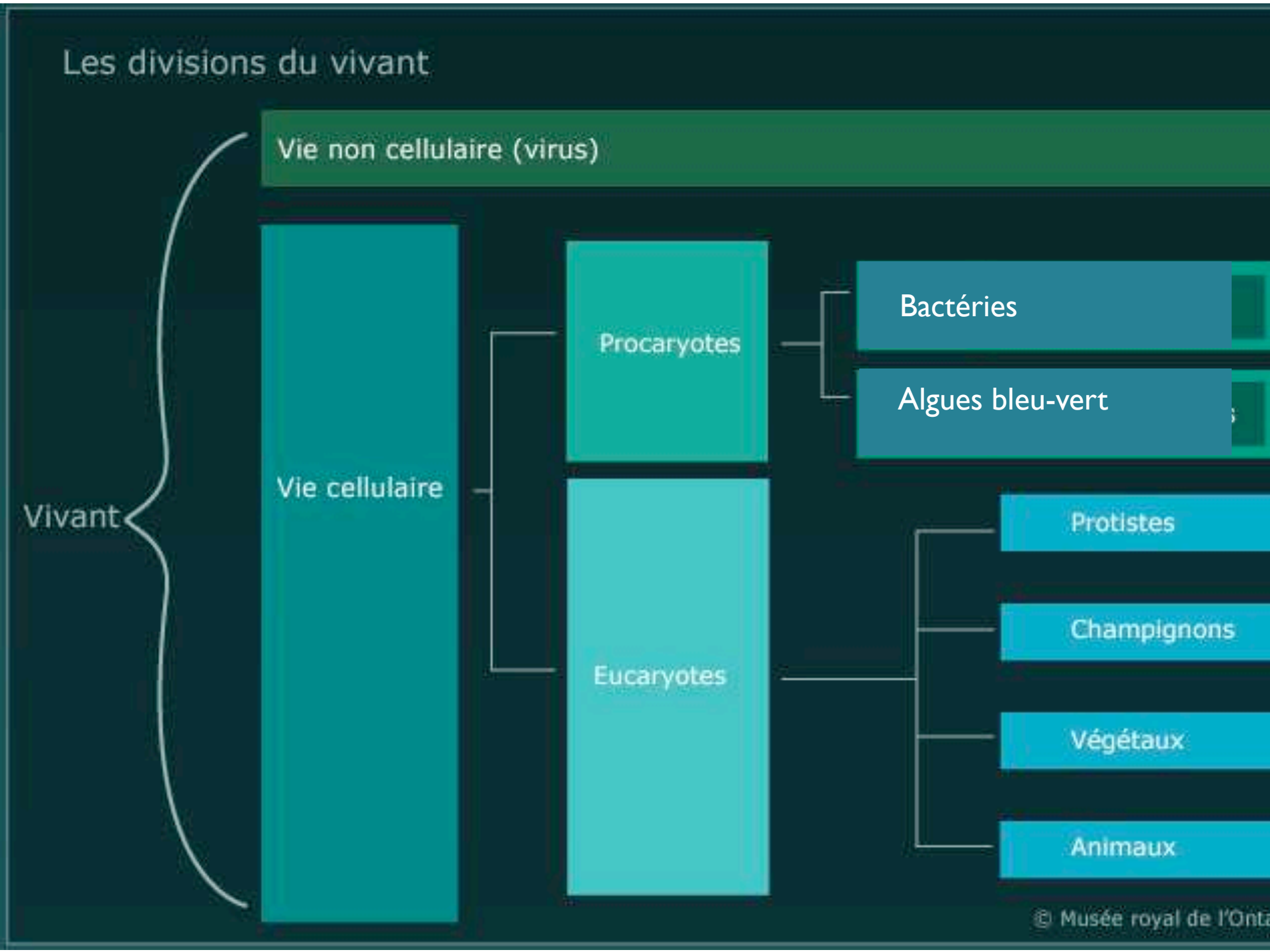
Figure 1. La hiérarchie du vivant

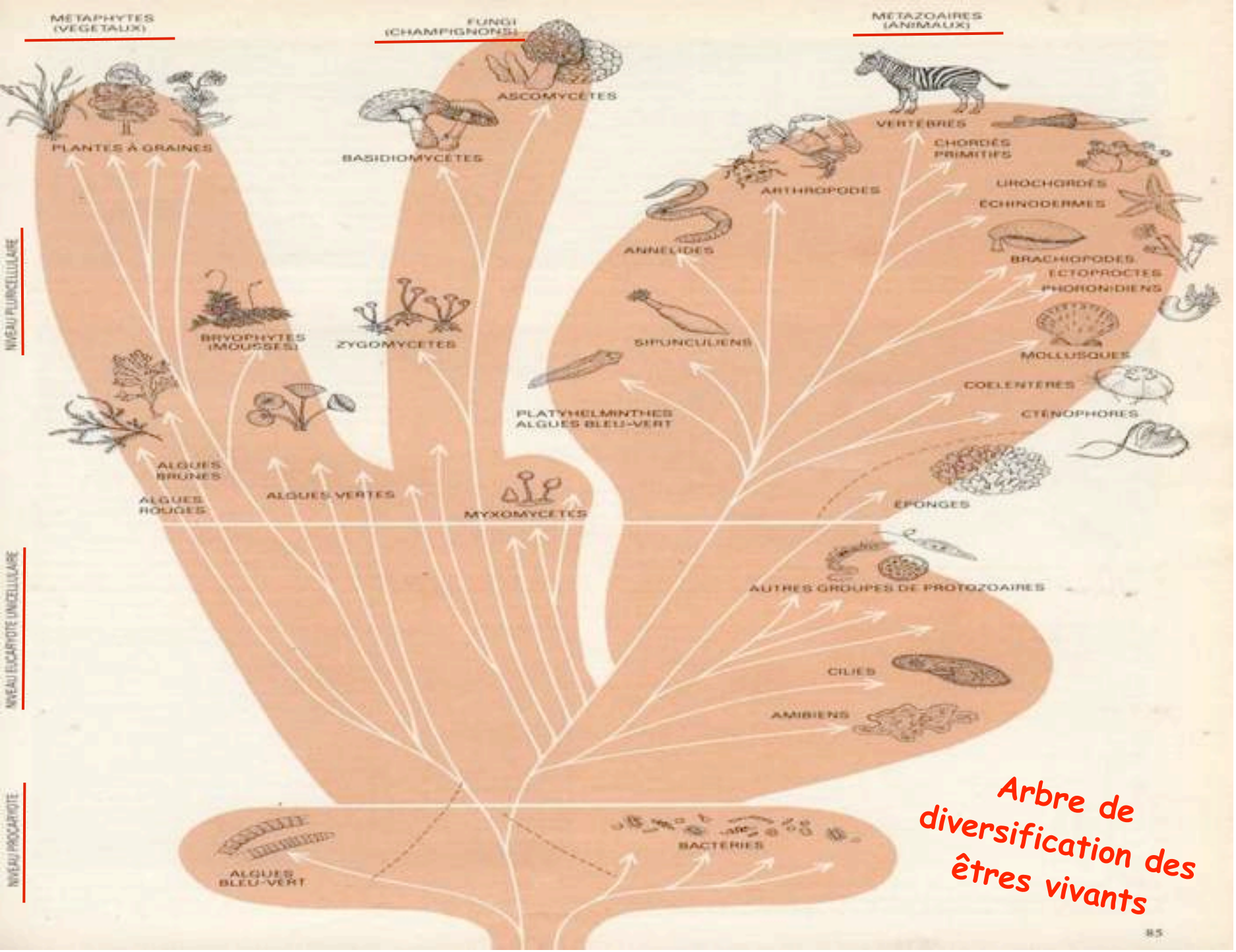
Il existe deux grands types d'organismes:

Les Procaryotes (du grec, pro, avant et karyon, noyau) = êtres vivants unicellulaires, caractérisés par une absence de noyau et d'organites.

Les Eucaryotes (eu, propre)= êtres vivants uni ou pluricellulaires , possédant un noyau et des organites.




Les divisions du vivant
Vie non cellulaire (virus)
Vivant
Vie cellulaire
Procaryotes
Bactéries
Algues bleu-vert
Eucaryotes
Protistes
Champignons
Végétaux
Animaux
© Musée royal de l'Onta



Arbre de diversification des êtres vivants

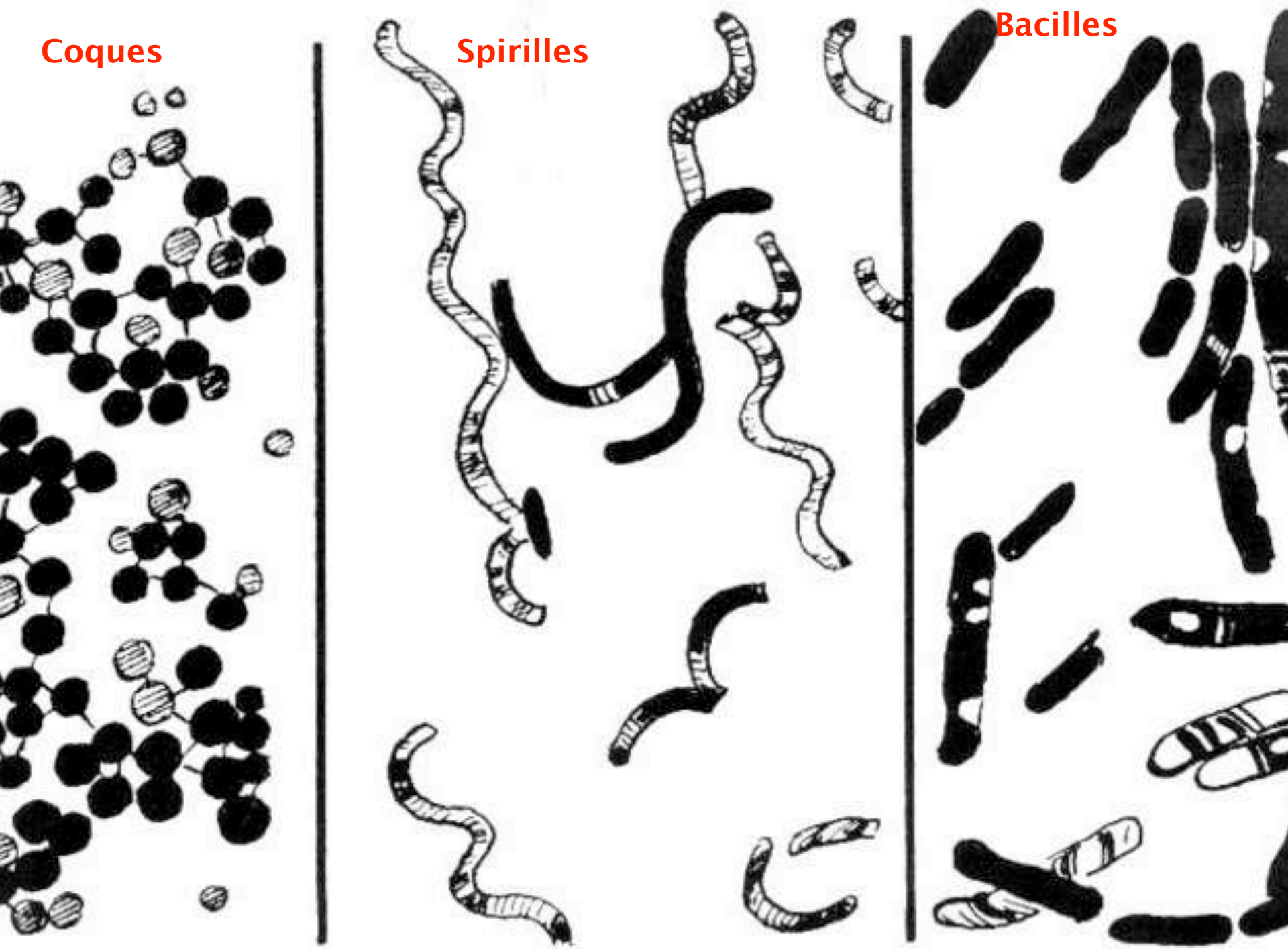
Cellules procaryotes: les bactéries & cyanobactéries

- L'étude des **bactéries** s'est surtout développée au XIXème siècle, avec les travaux de Louis Pasteur (France) et de Robert Koch (Allemagne). Le terme « procaryote » trouve toute sa signification dans les années 1950, lorsque le microscope électronique montre l'absence de noyau vrai dans la cellule.
- La plupart des bactéries possèdent une paroi cellulaire glucidique (= le peptidoglycane).Les bactéries les plus grosses mesurent plus de 2 µm.
- Les bactéries présentent de nombreuses formes: sphériques (coques), allongées ou en bâtonnets (bacilles), des formes plus ou moins spiralées.
- L'étude des bactéries est la bactériologie, une branche de la microbiologie.

Coques

Spirilles

Bacilles



Streptocoque

Staphylocoque

Treponema pallidum

Angines

Panaris

Syphilis

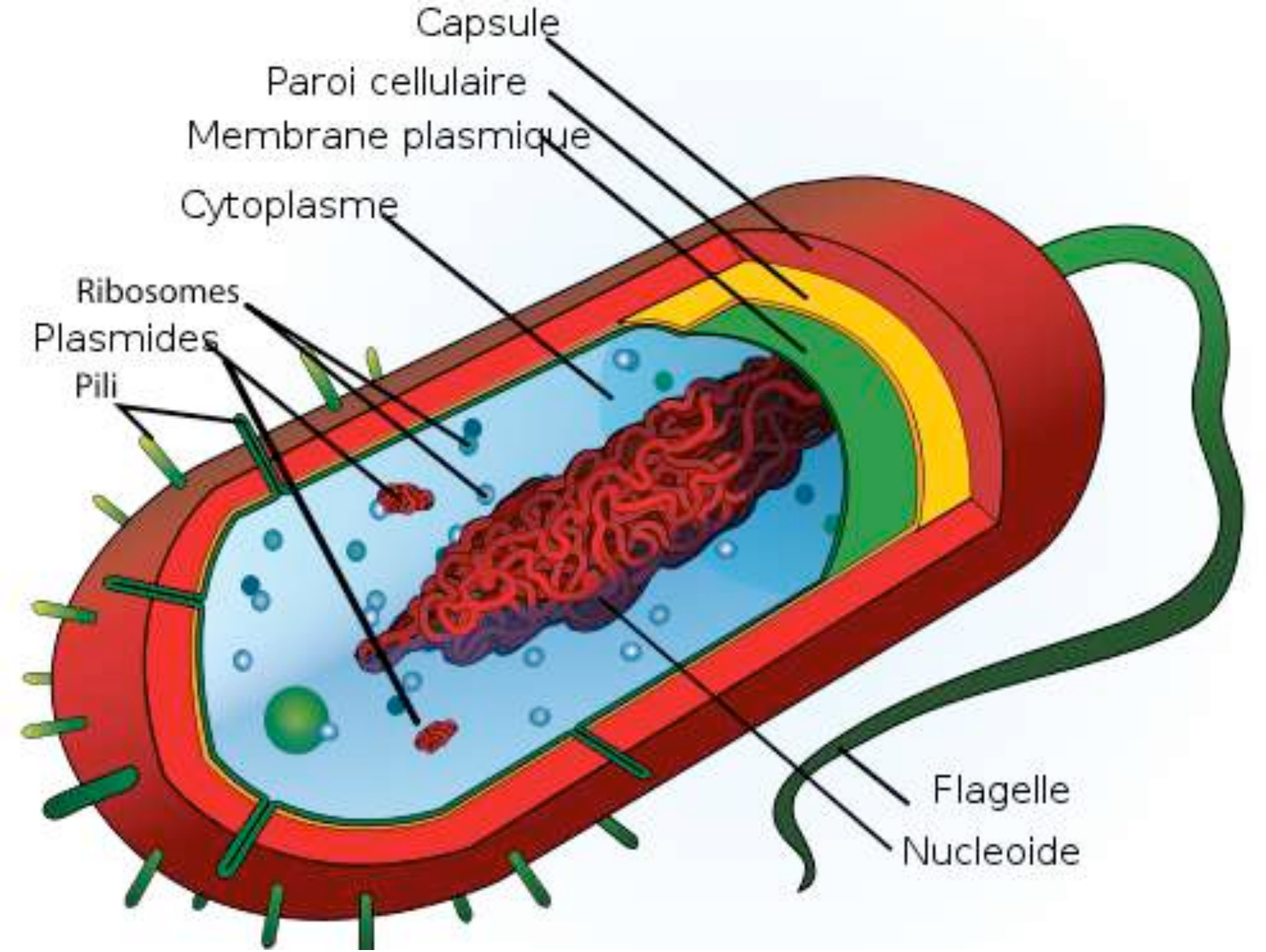
Salmonelles (Salmonella typhimurium)

Les bactéries sont ubiquitaires et sont présentes dans tous les types de biotopes rencontrés sur Terre:

- sol,
- eaux douces, marines ou saumâtres,
- air,
- peau et intestin des animaux.

Les bactéries ont une importance considérable dans les cycles biogéochimiques comme le cycle du carbone et la fixation de l'azote de l'atmosphère.

Cellule Procaryote : Bactérie de type bacille (*Escherichia coli*) observée en microscopie électronique à transmission (x 35 000)


Capsule
Paroi cellulaire
Membrane plasmique
Cytoplasme
Ribosomes
Plasmides
Pili
Flagelle
Nucleoide

Structure cellulaire

- Les bactéries possèdent :
  - un chromosome circulaire sous forme de filament d'ADN.
  - des molécules d'ADN circulaire extra-chromosomiques (= plasmides).
  - de nombreux ribosomes.
  - des substances intracellulaires de réserve (dans le cytosol).

Cyanobactérie = cyanophycée

- procaryote photoautotrophe de coloration bleue-verte ou violet sale, capable de photosynthèse (utilisent et exploitent l'énergie de la lumière), contrairement aux hétérotrophes (bactéries, protozoaires, zooplancton, mammifères) qui ne peuvent pas produire leur propre matière organique à partir de l'énergie solaire.

Cellules eucaryotes

- **Organismes unicellulaires:**

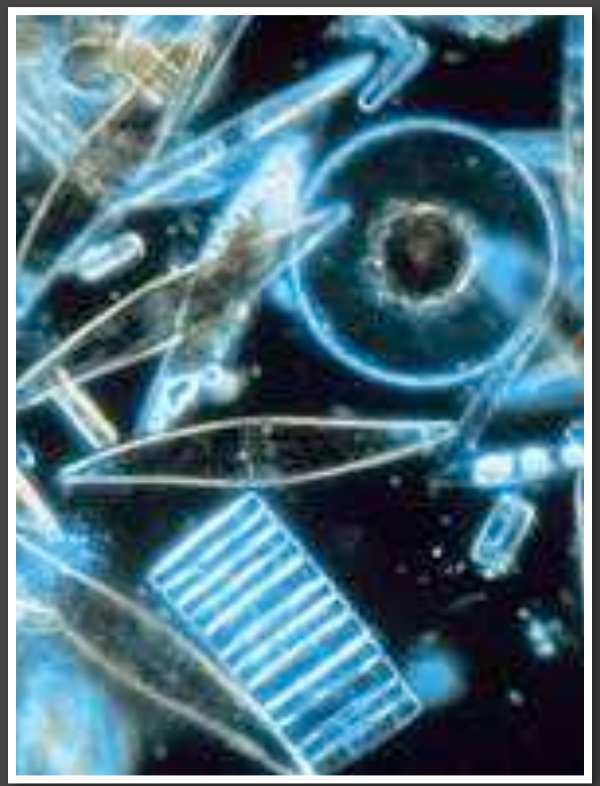
- Leur diversité est très grande :
  - **algues** unicellulaires (phytoplancton),
  - **levures** (champignons)
  - P**aramécies** (protozoaires).

- **Organismes pluricellulaires:**

Formés d'une communauté de cellules interdépendantes

CELLULES EUCARYOTES:

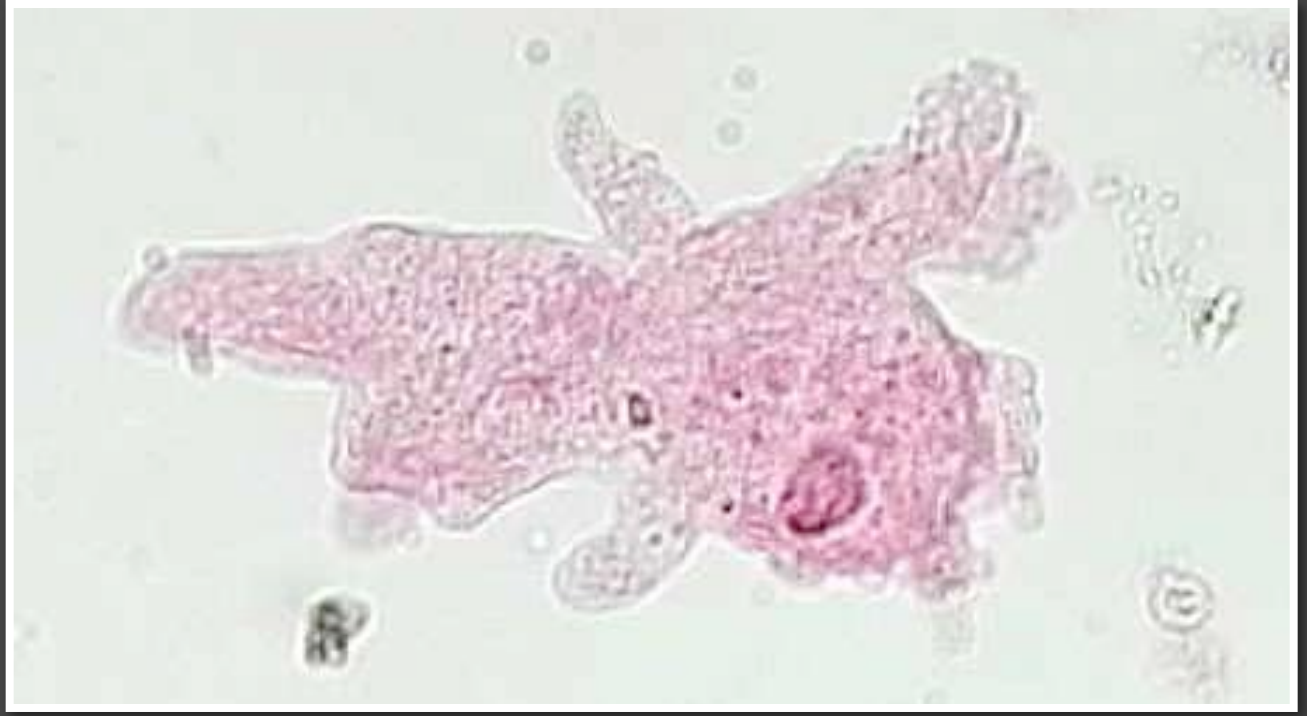
- Organismes unicellulaires:



algues unicellulaires (phytoplancton)

levures (champignons)

Protozoaire: Paramécie



Amibe : Amoeba proteus

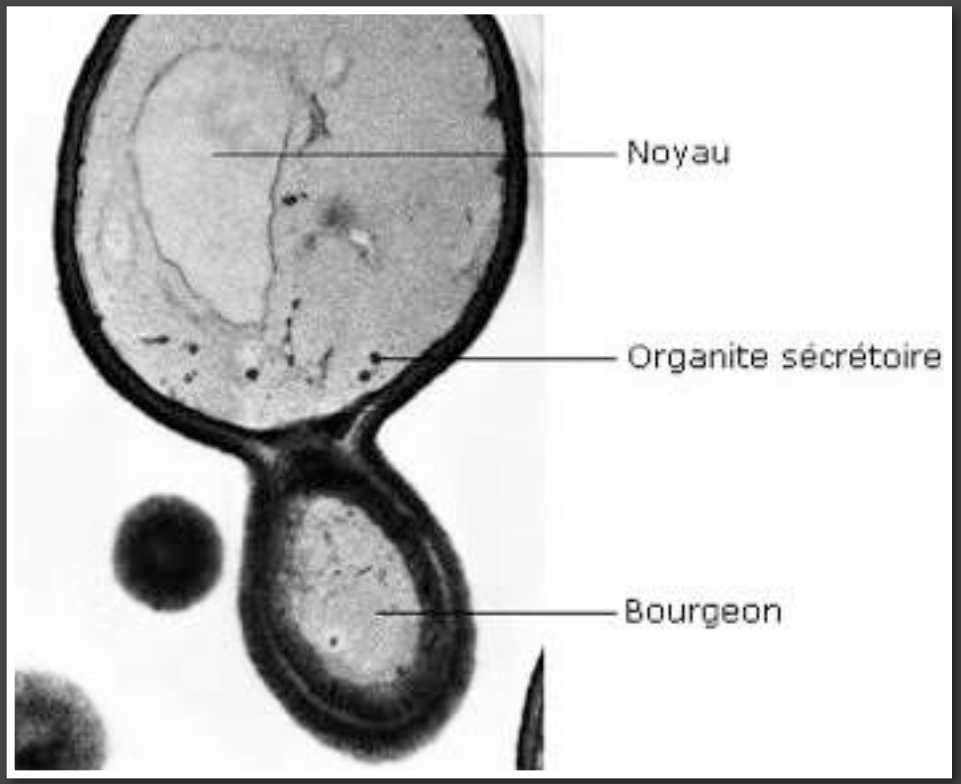
= êtres vivants unicellulaires eucaryotes anciennement classés parmi les Protozoaires.

Elles sont caractérisées par un corps cellulaire déformable émettant des pseudopodes (prolongements de forme changeante), qui leur permettent de ramper sur un support ou de capturer des proies microscopiques par phagocytose.

= espèces libres vivant des les eaux, les sols humides, certaines peuvent être à l'origine de pathologies diverses.

levure

Saccharomyces cerevisiae
(Image en microscopie électronique)



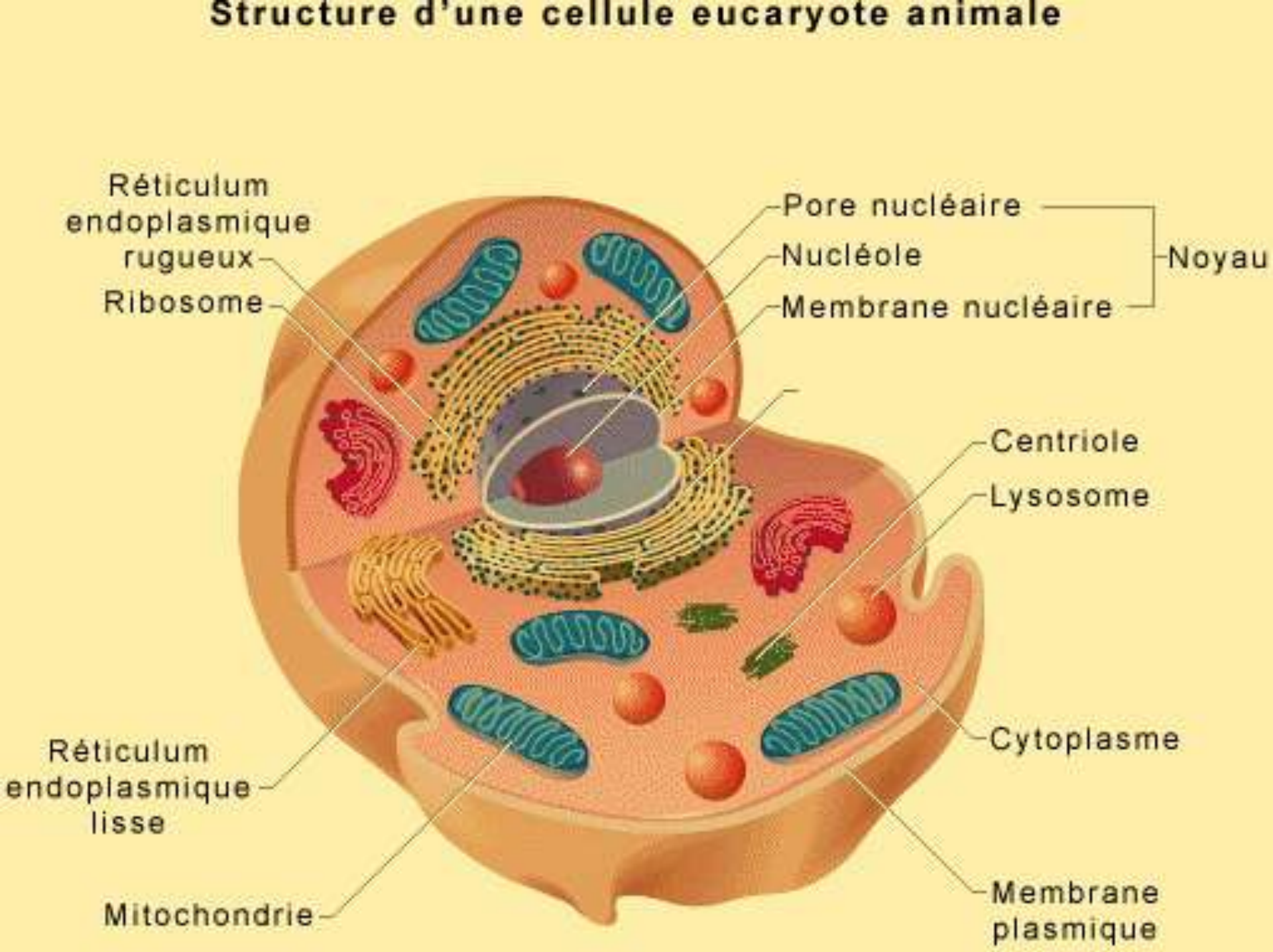
= **champignons microscopiques unicellulaires** (ou très faiblement pluricellulaires) qui se multiplient par **bourgeonnement**.

Elles ont la capacité de fermenter des matières organiques, minérales ou végétales pour produire des substances variées (pain, bière …).

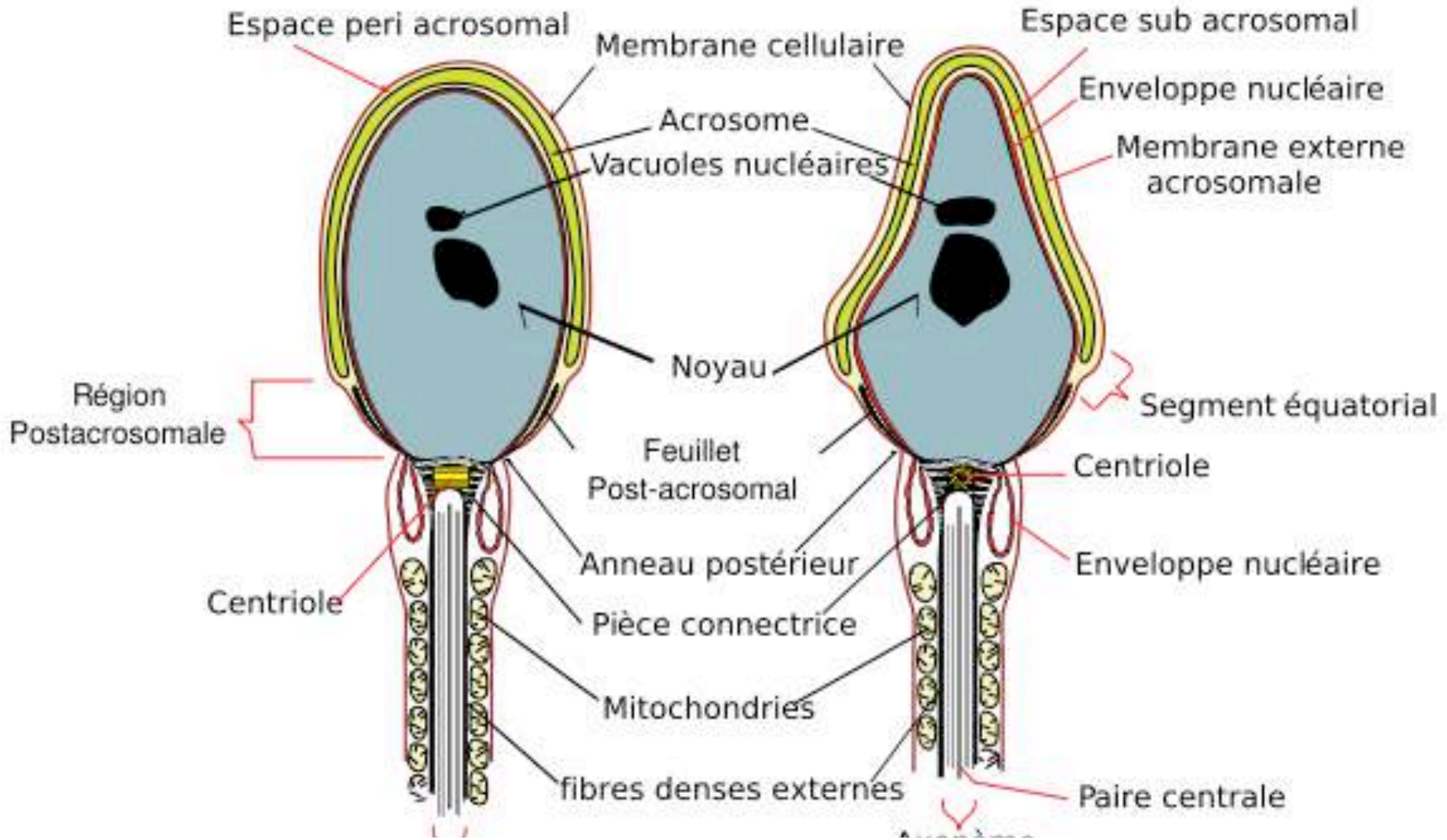
L'activité chimique des levures provoque le dégagement de bulles de gaz carbonique et fait lever la pâte à pain.

- Organismes
pluricellulaires

Structure d'une cellule eucaryote animale



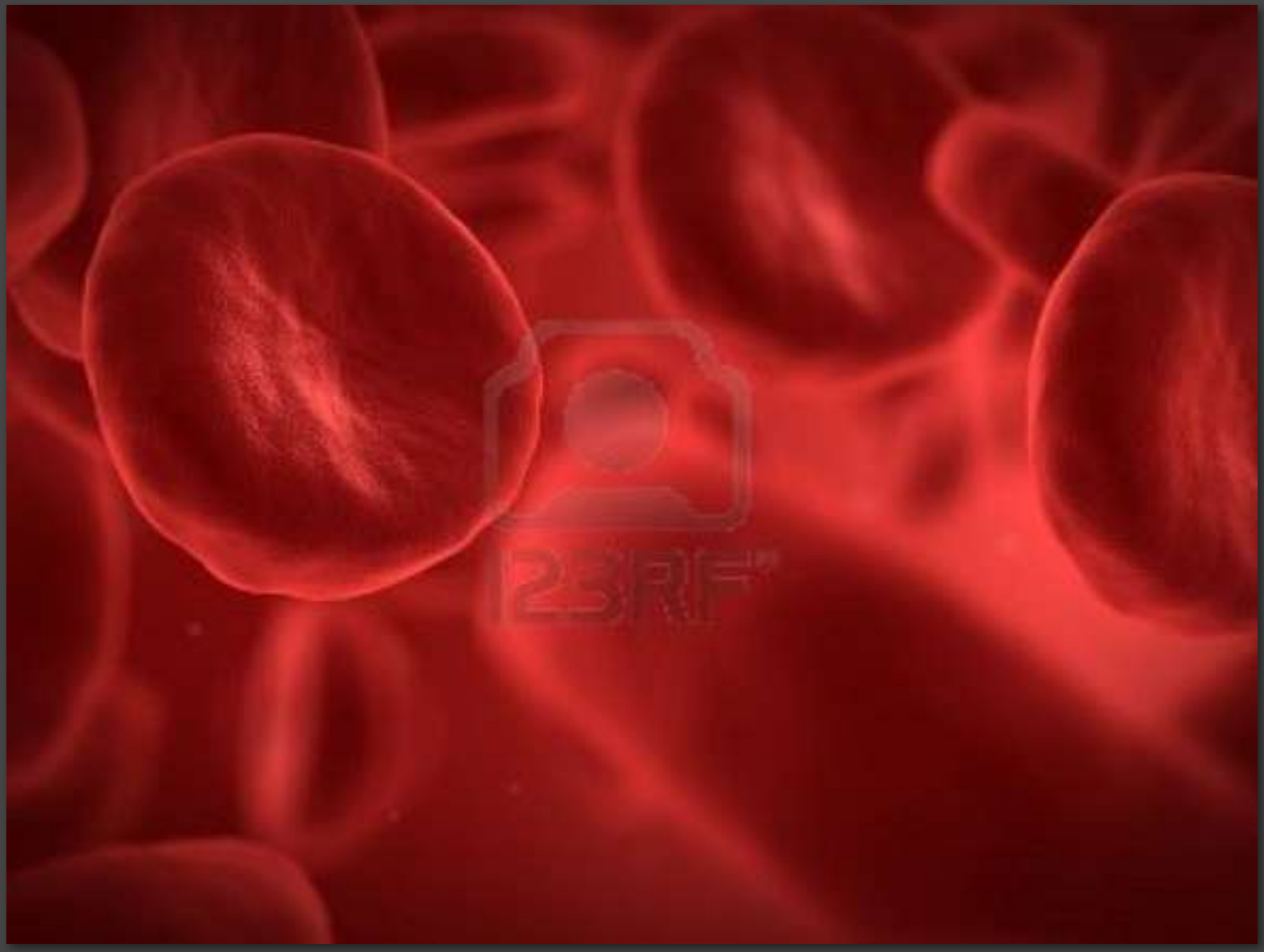
Disque terminal
Tête
Pièce intermédiaire
Pièce principale
Pièce terminale


Espace peri acrosomal
Membrane cellulaire
Espace sub acrosomal
Enveloppe nucléaire
Acrosome
Vacuoles nucléaires
Membrane externe acrosomale
Noyau
Région Postacrosomale
Segment équatorial
Feuillet Post-acrosomal
Centriole
Anneau postérieur
Enveloppe nucléaire
Centriole
Pièce connectrice
Mitochondries
fibres denses externes
Paire centrale

Un ovule entouré de spermatozoïdes

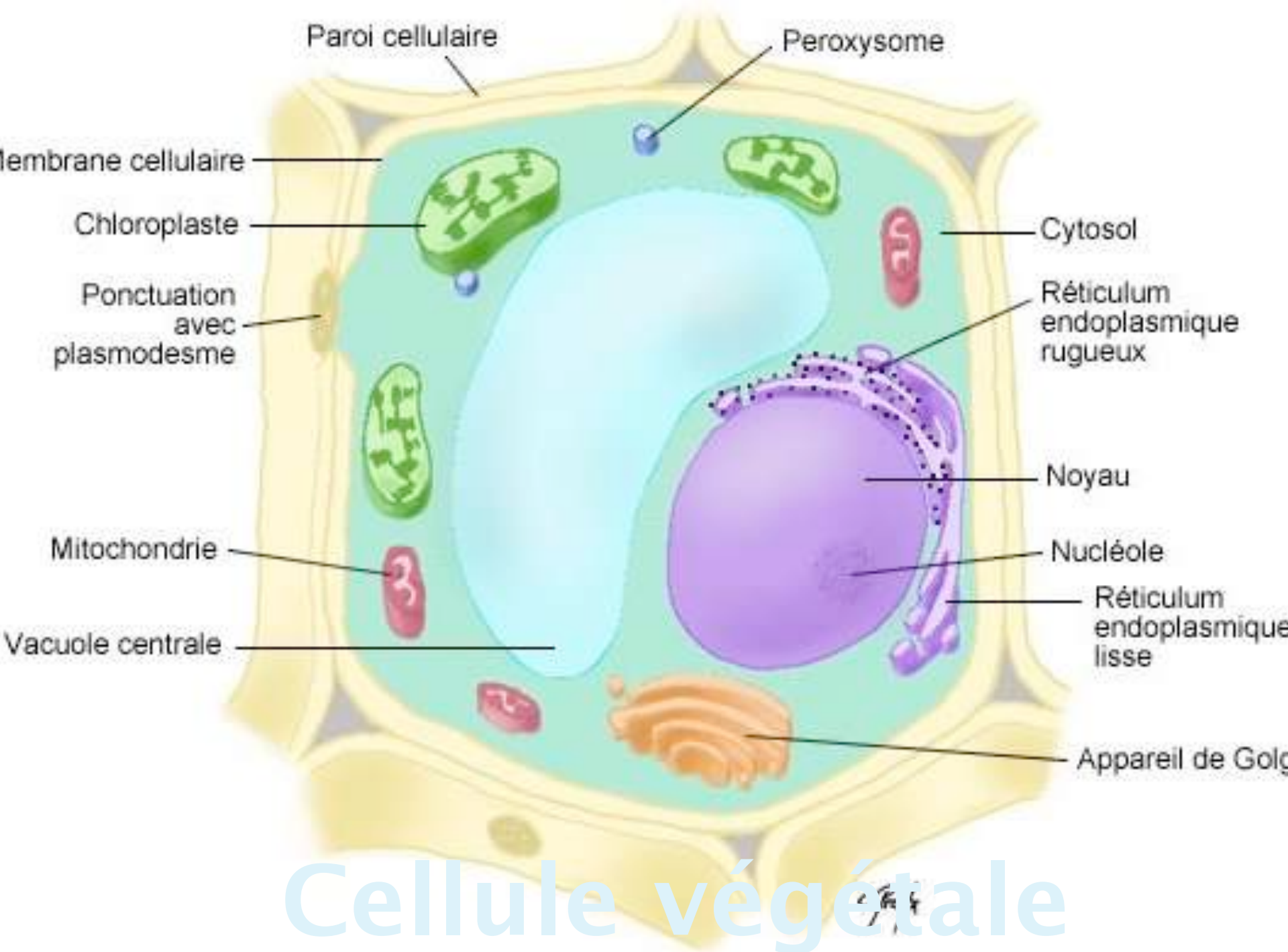
Le matériel génétique est dans la tête du spermatozoïde. Il entre dans l'ovule tête première.

Cellule humaine: muqueuse buccale. Colorée à l'eau iodée.

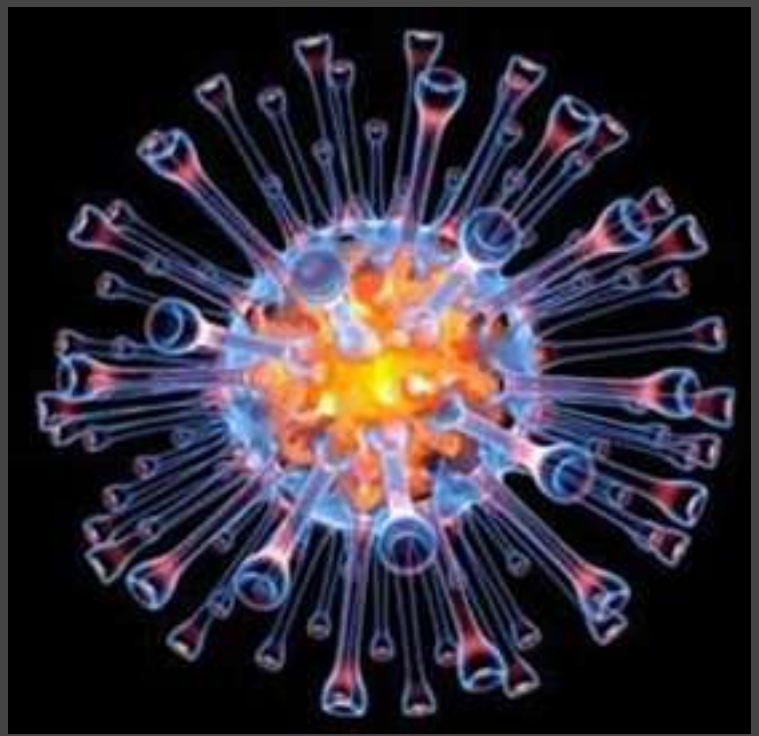


Cellules sanguines humaines: les hématies (Globule rouges)

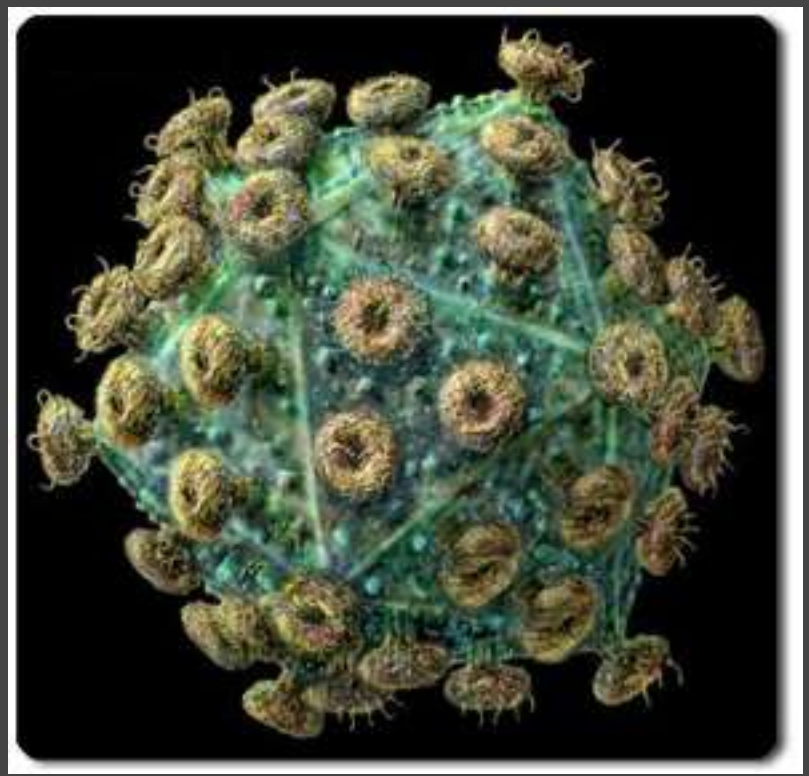
Cellules sanguines humaines: les leucocytes (Globules blancs)



Cellule végétale



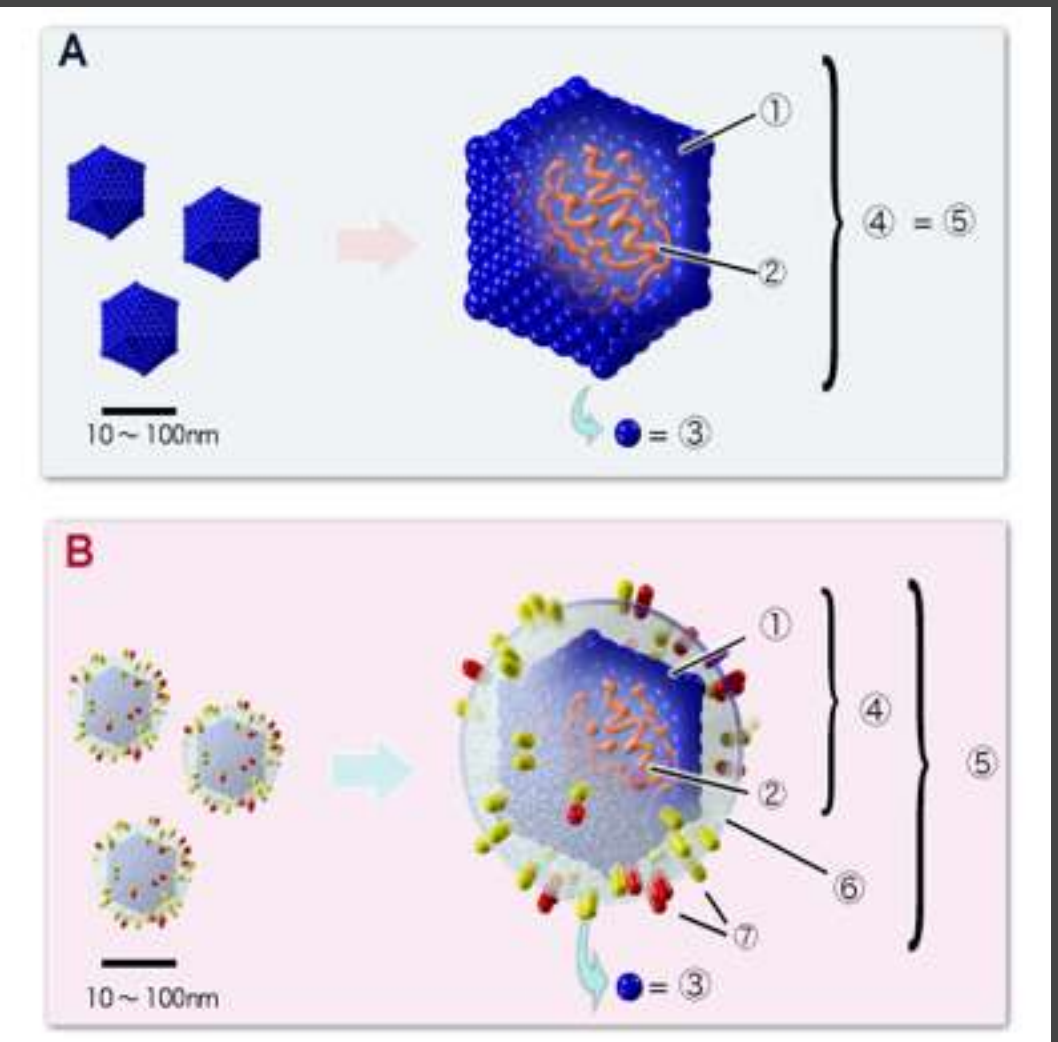
Virus H1N1 de la grippe porcine



Virus(HIV) : **Immunodéficience Humaine**

virus

Particule microscopique infectieuse qui nécessite une cellule hôte pour se multiplier.



Un **virus** se caractérise par son incapacité à se multiplier seul par division.

Il a besoin d'utiliser une cellule hôte : un virus est un parasite intracellulaire obligatoire.

Il est composé d'une ou plusieurs molécules d'ADN, ou d'ARN entourées d'une coque de protéines, appelée la capside, et, parfois, d'une enveloppe.

Med@TICE
Université Joseph Fourier - Grenoble 1
ETUDES DE SANTÉ
Première Année

www.medatice-grenoble.fr

UE2 : Structure générale de la cellule

Chapitre 7 : Structure de la cellule

Le noyau cellulaire

Professeur Michel SEVE

Année universitaire 2010/2011

Université Joseph Fourier de Grenoble - Tous droits réservés.

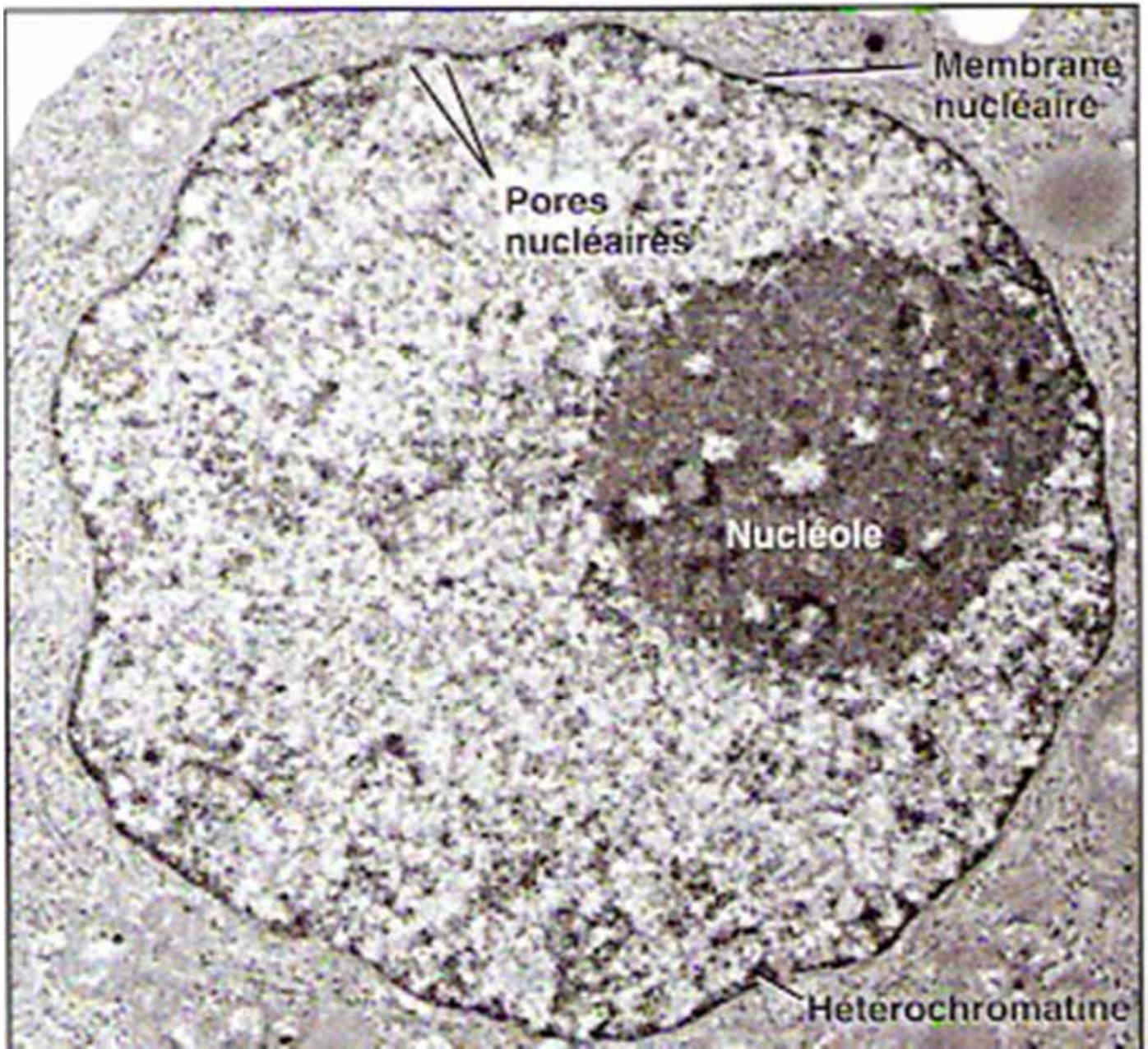
Structure du noyau

- Le noyau est un compartiment séparé par une membrane communiquant avec le cytosol par des pores

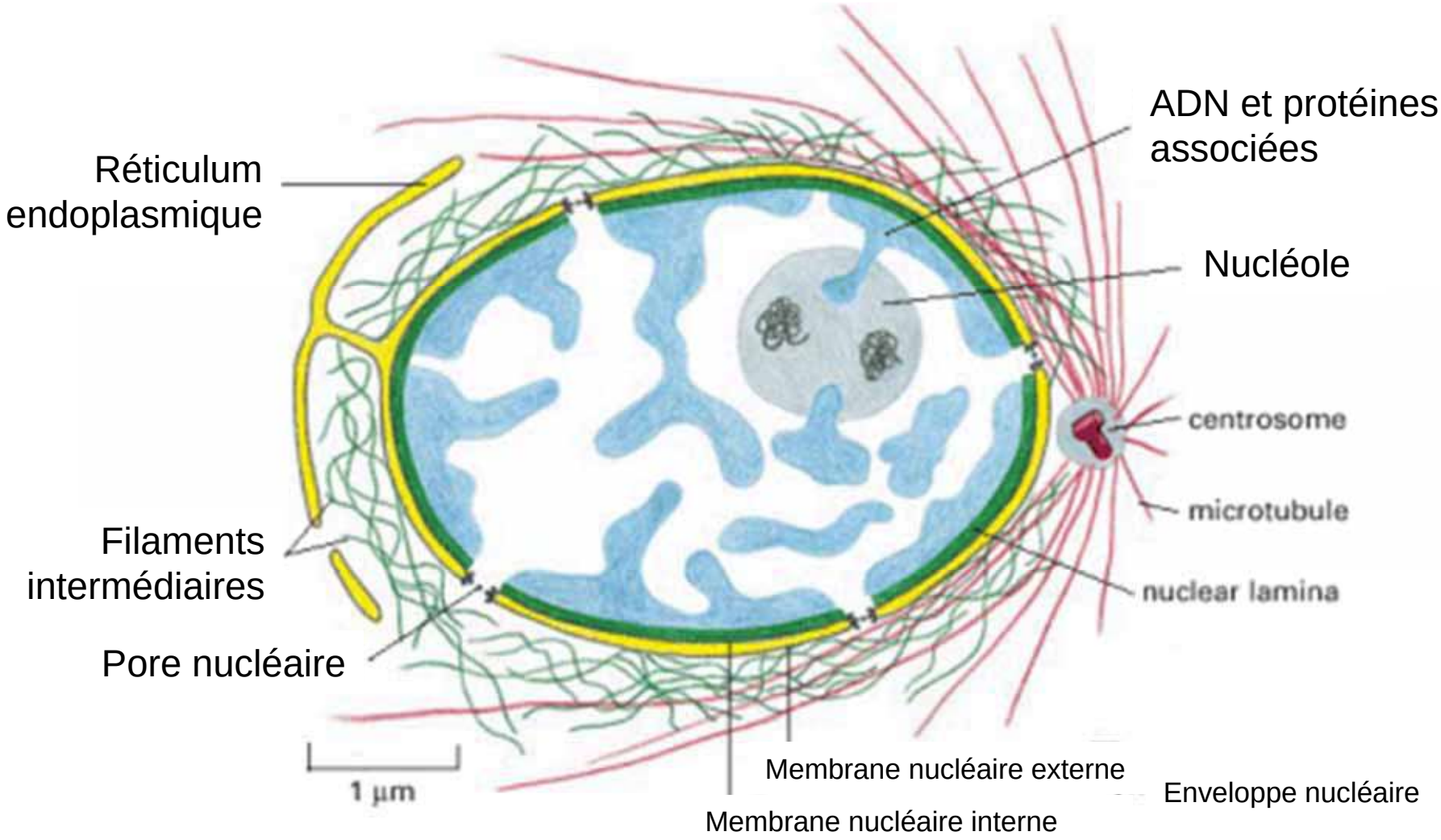
- Toutes les macromolécules entrent et sortent par des mécanismes actifs de transport

- Le noyau n’est pas homogène:
  - territoires chromosomiques
  - Nucléole: zone de transcription des gènes des ARNr
  - Corps de Cajal: régulation et assemblage des snARN
  - Granules (speckles): lieu de maturation, épissage

Structure du noyau au microscope électronique

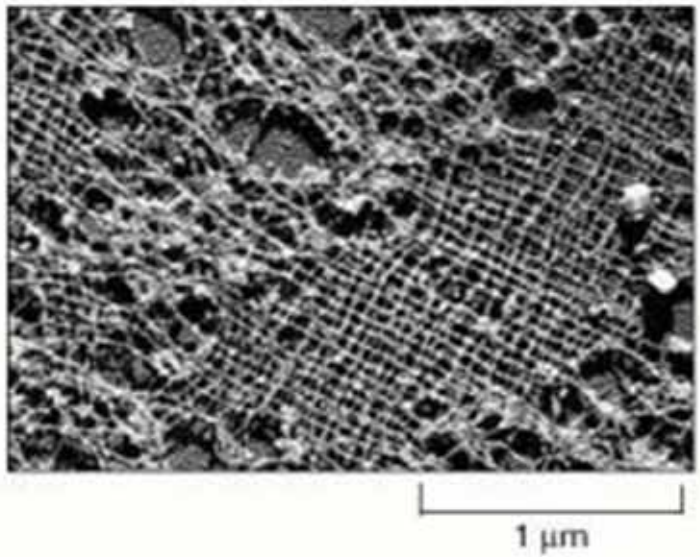


Relations du noyau avec les structures cellulaires

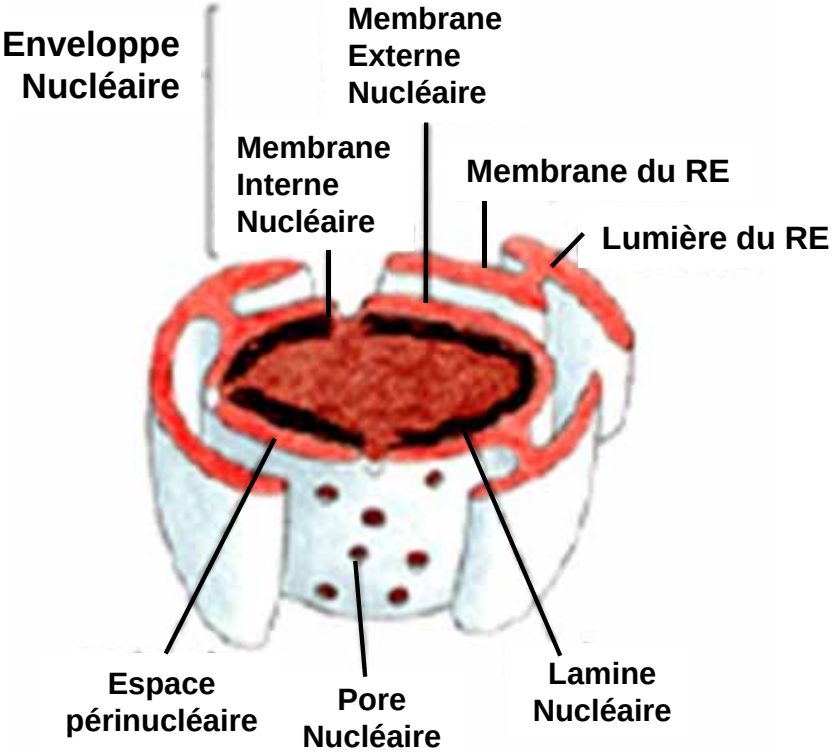


La membrane nucléaire

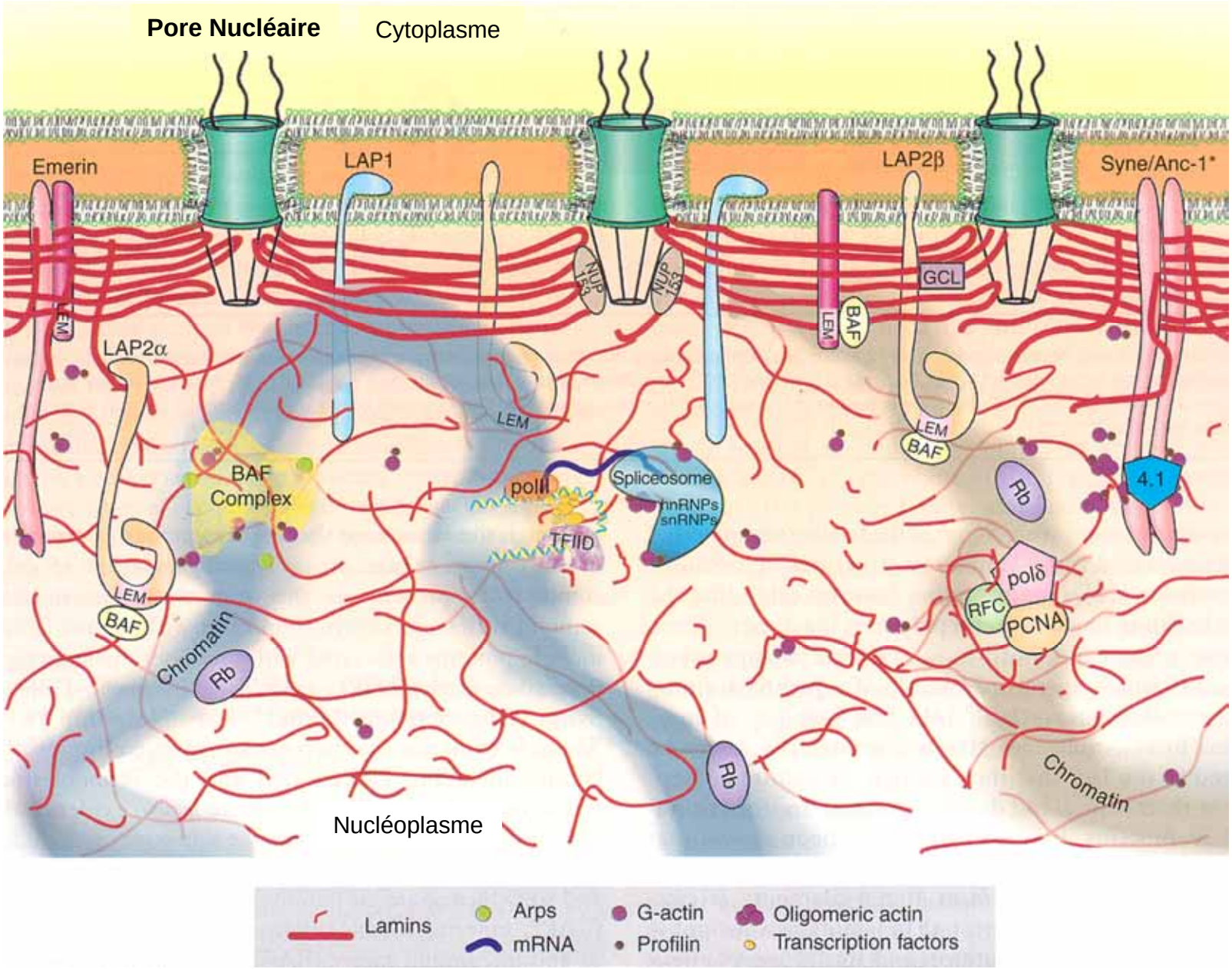
- Deux bicouches lipidique: membrane interne et membrane externe
- Espace périnucléaire de 30 nm
- Armature interne de protéines: les lamines (disparait lors de la mitose) en interaction avec la chromatine
- Pores nucléaires

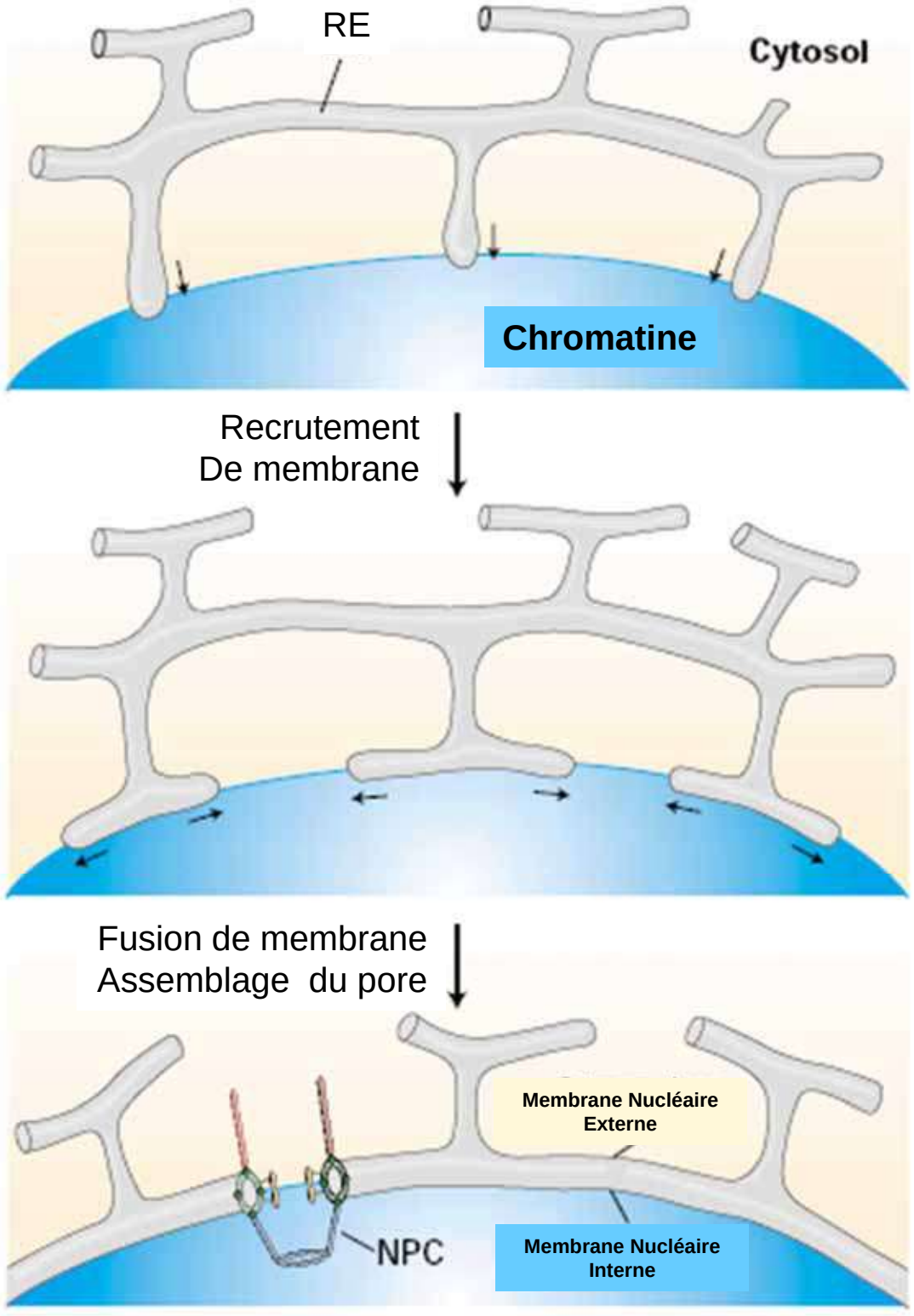


Réseau de lamine observé au microscope électronique



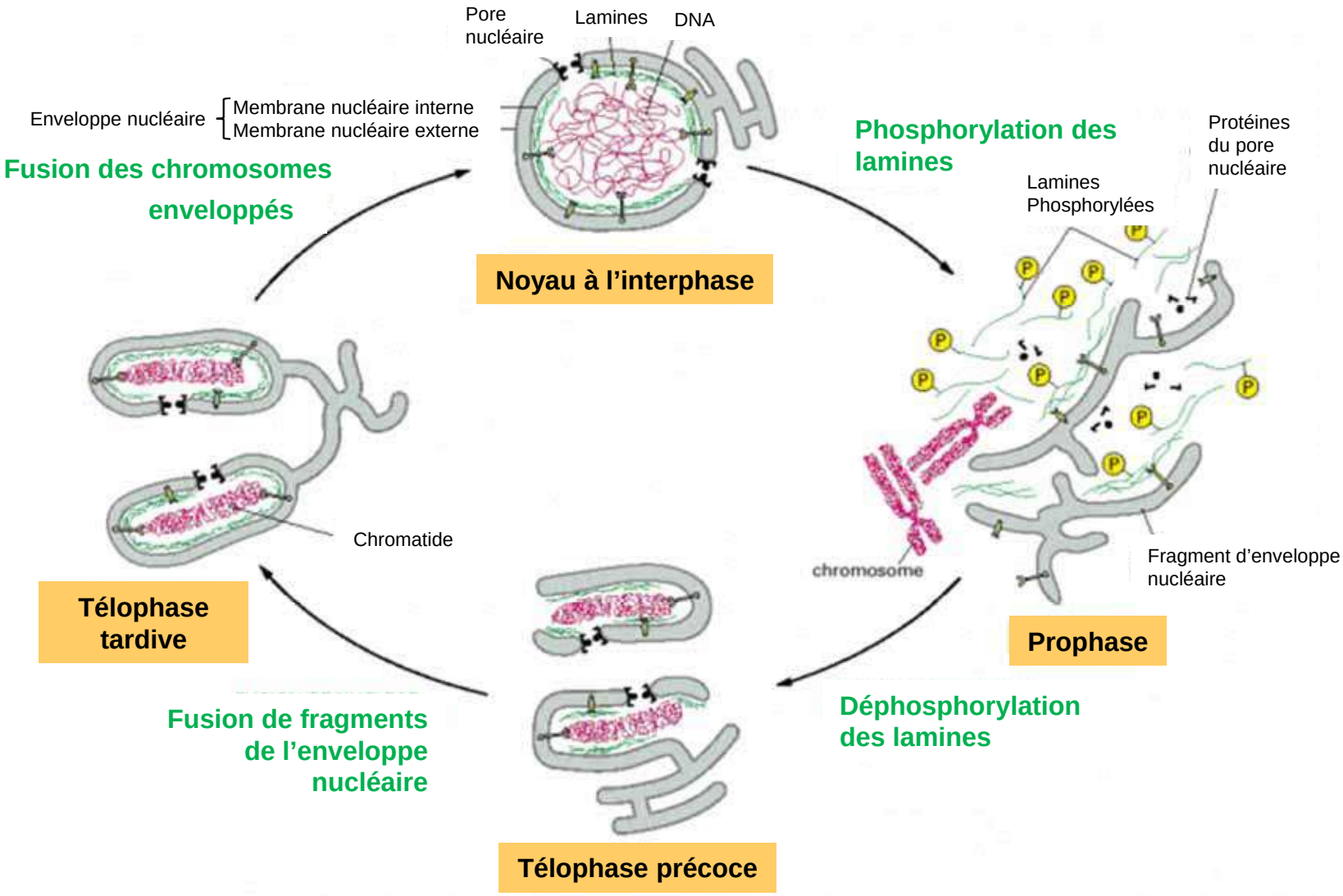
Structure de la membrane nucléaire





Reformation de la membrane nucléaire durant la télophase

Structure de la membrane nucléaire au cours du cycle cellulaire



Les pores nucléaires

- Machinerie complexe et régulée

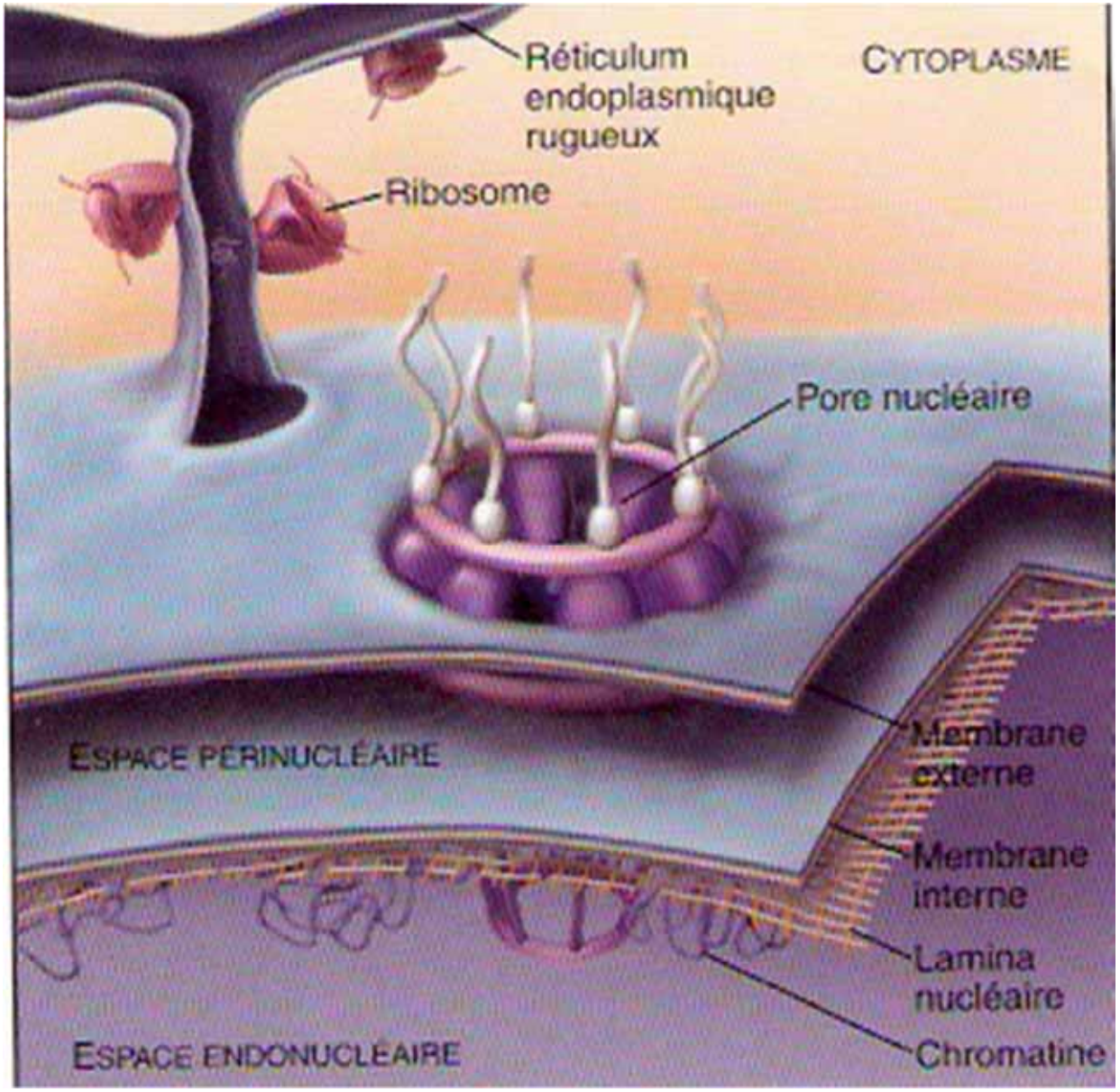
- Formée de protéines les nucléoporines

- - Les protéines qui entrent dans le noyau ont une séquence de localisation nucléaire (SLN)
- *exemple: PKKKRKV*

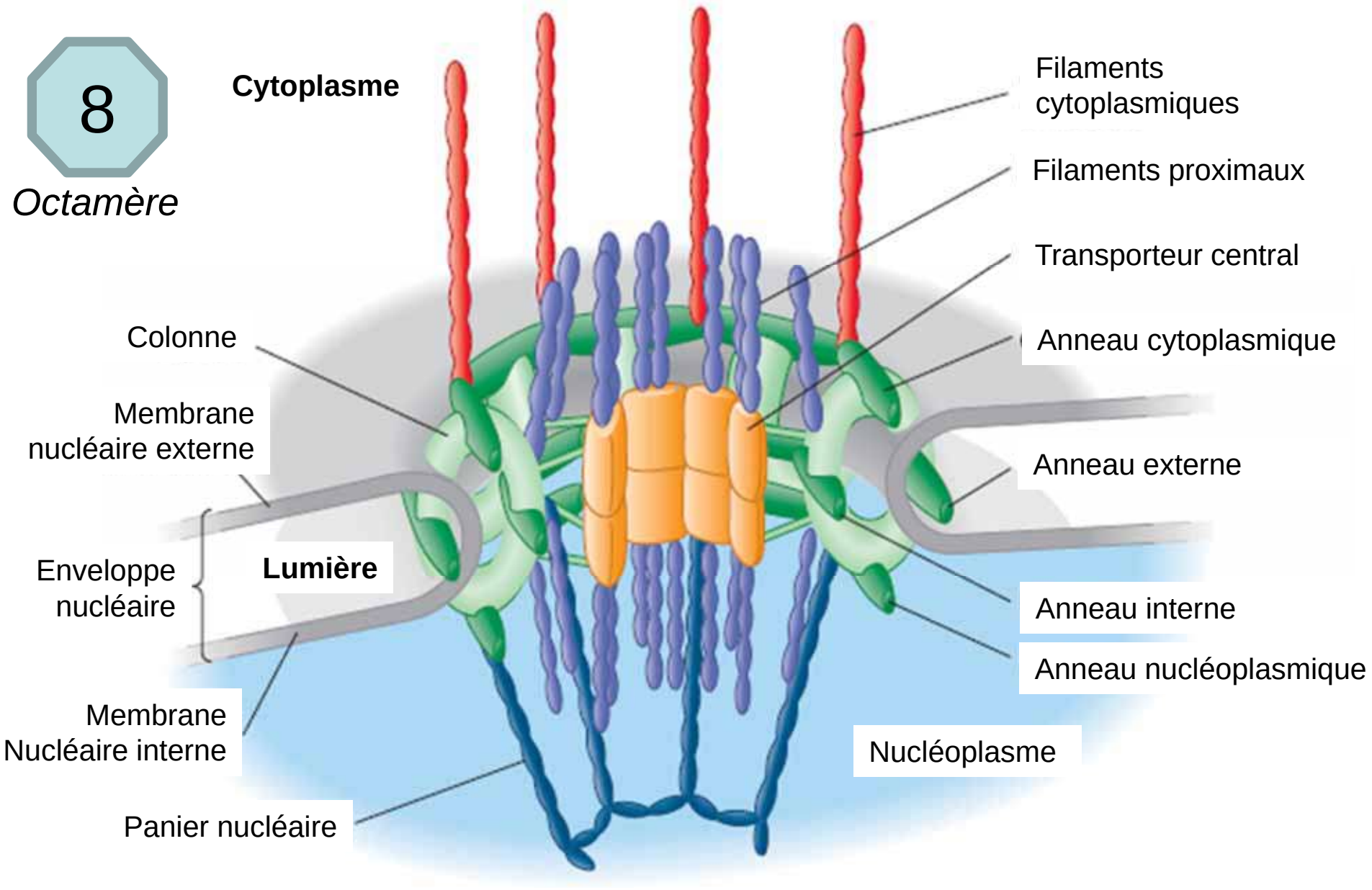
- Les protéines qui sortent du noyau ont une séquence d'export nucléaire ou sont liés à des ARN

- - Les importation de protéines et d'ARN se font grâce à des protéines d'échange:
  - *Exemple: importines*

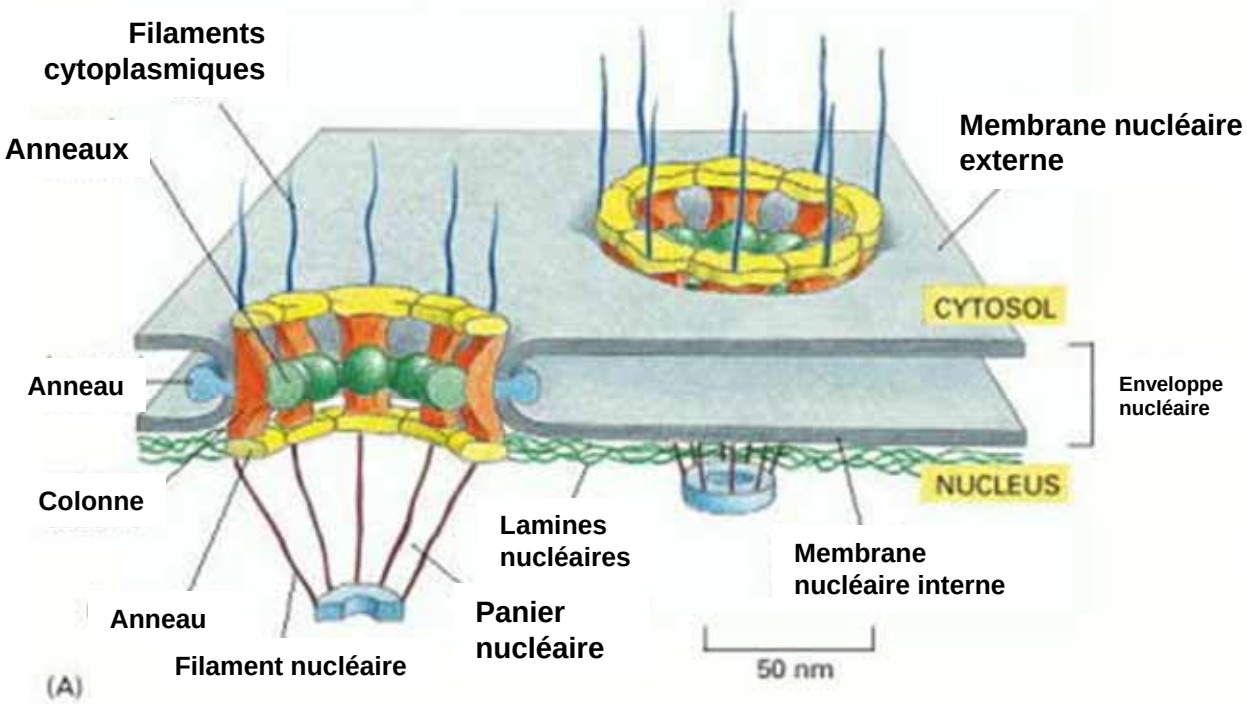
Le pore nucléaire et la membrane nucléaire

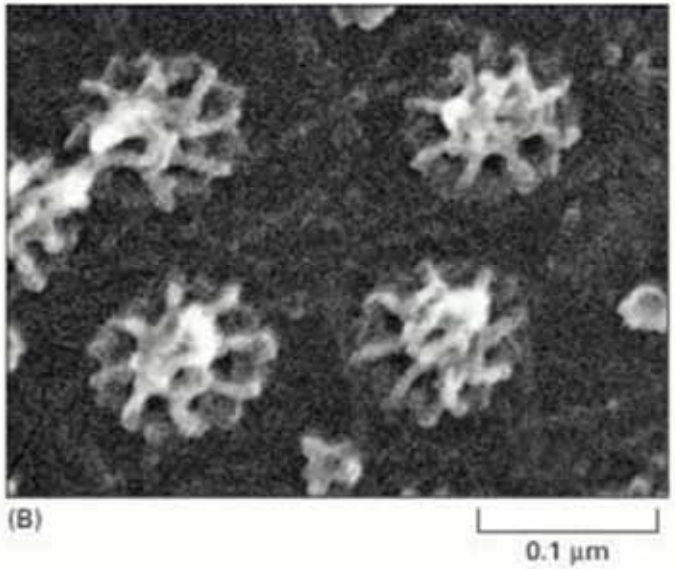


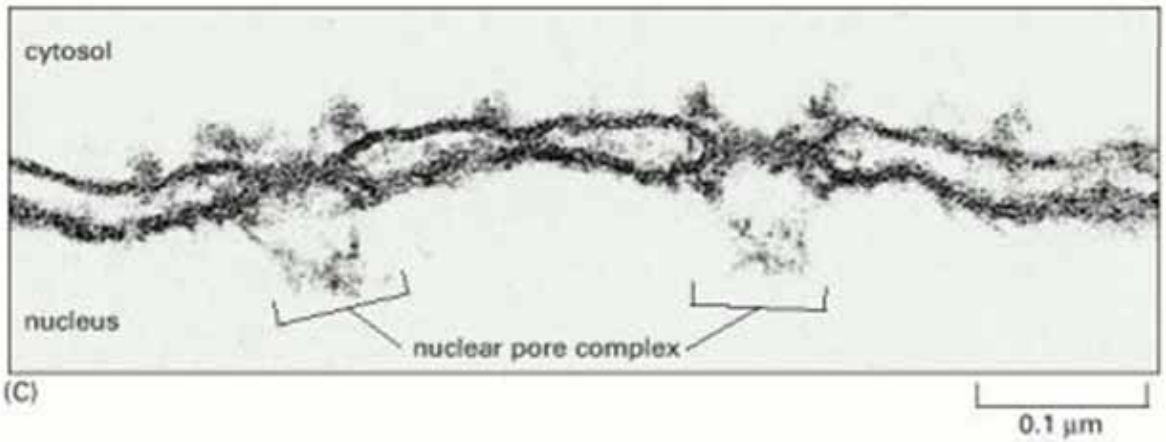
Structure du pore nucléaire

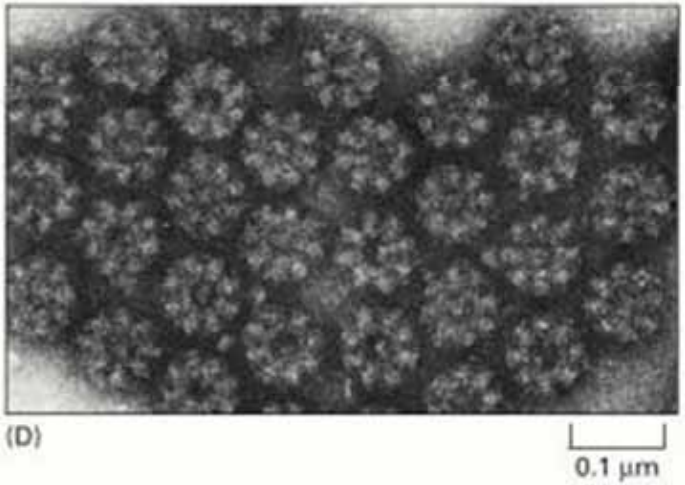


Observations du pore nucléaire en microscopie électronique

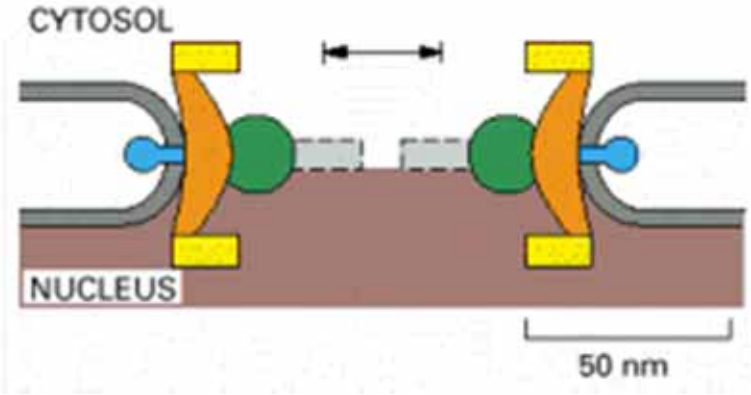








Transport des protéines à travers le pore nucléaire



Entrée Passive (Ions, petites Molécules)

Entrée Active (Protéines)

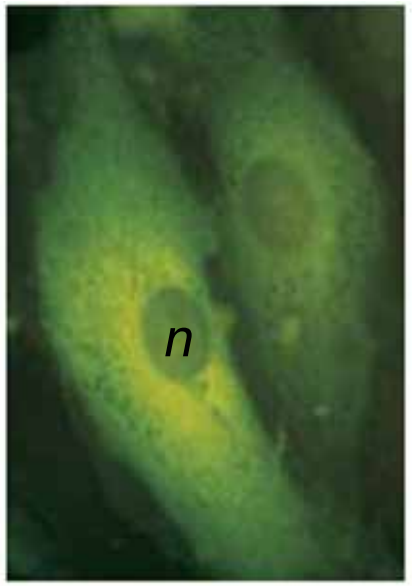
Transport des protéines à travers le pore nucléaire

nécessite

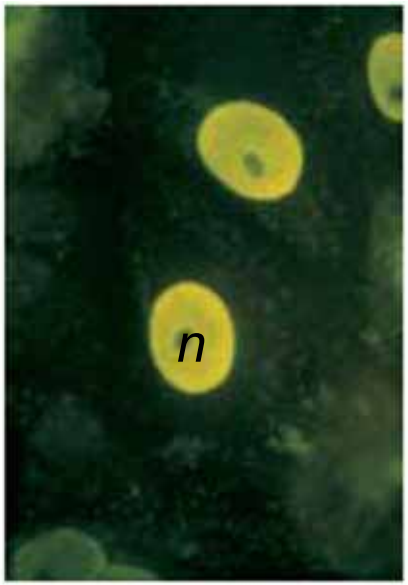
NLS: « Nuclear Localization Signal »
=Signal de localisation Nucléaire

Pyruvate kinase

Sans NLS

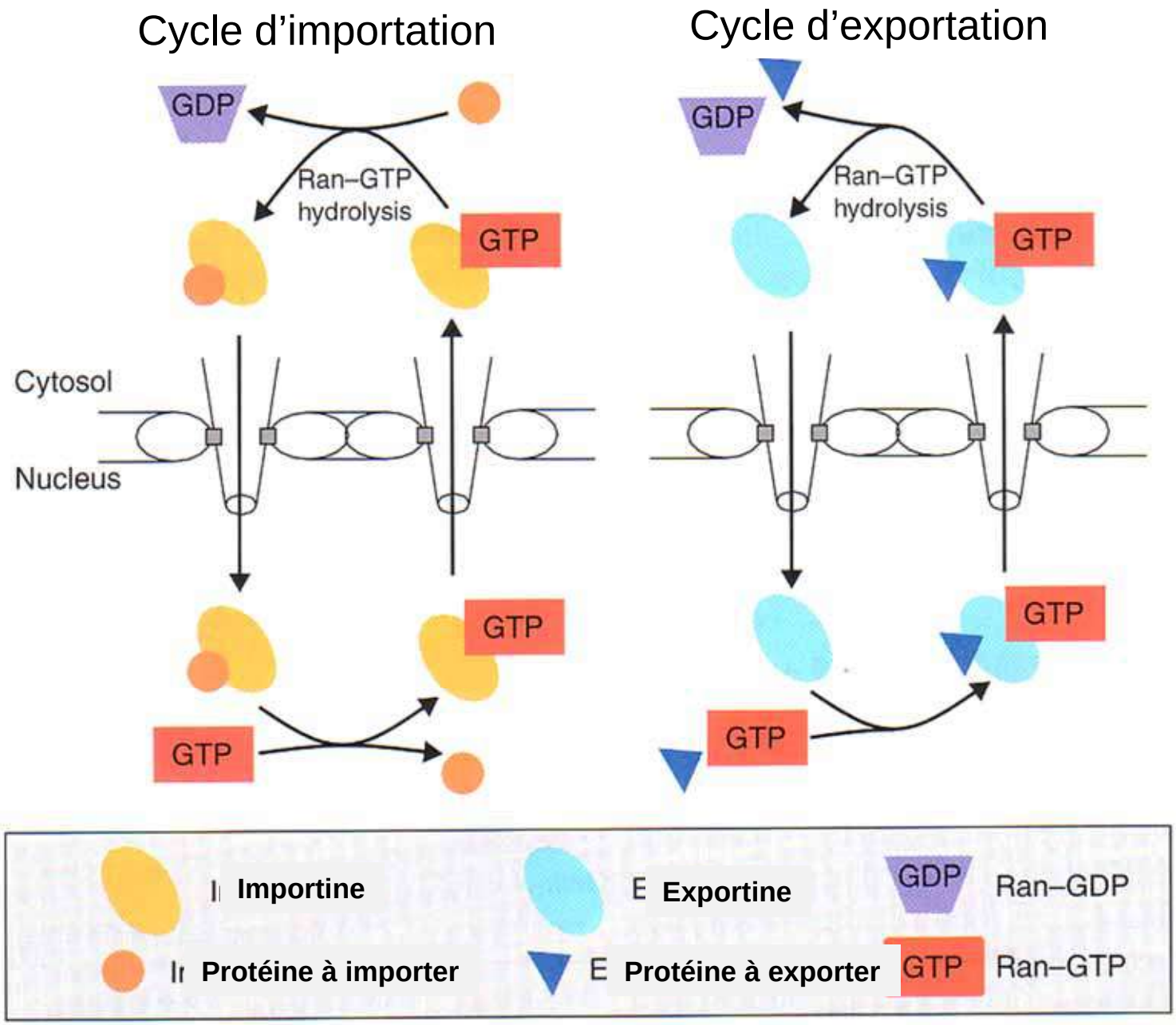


Avec NLS

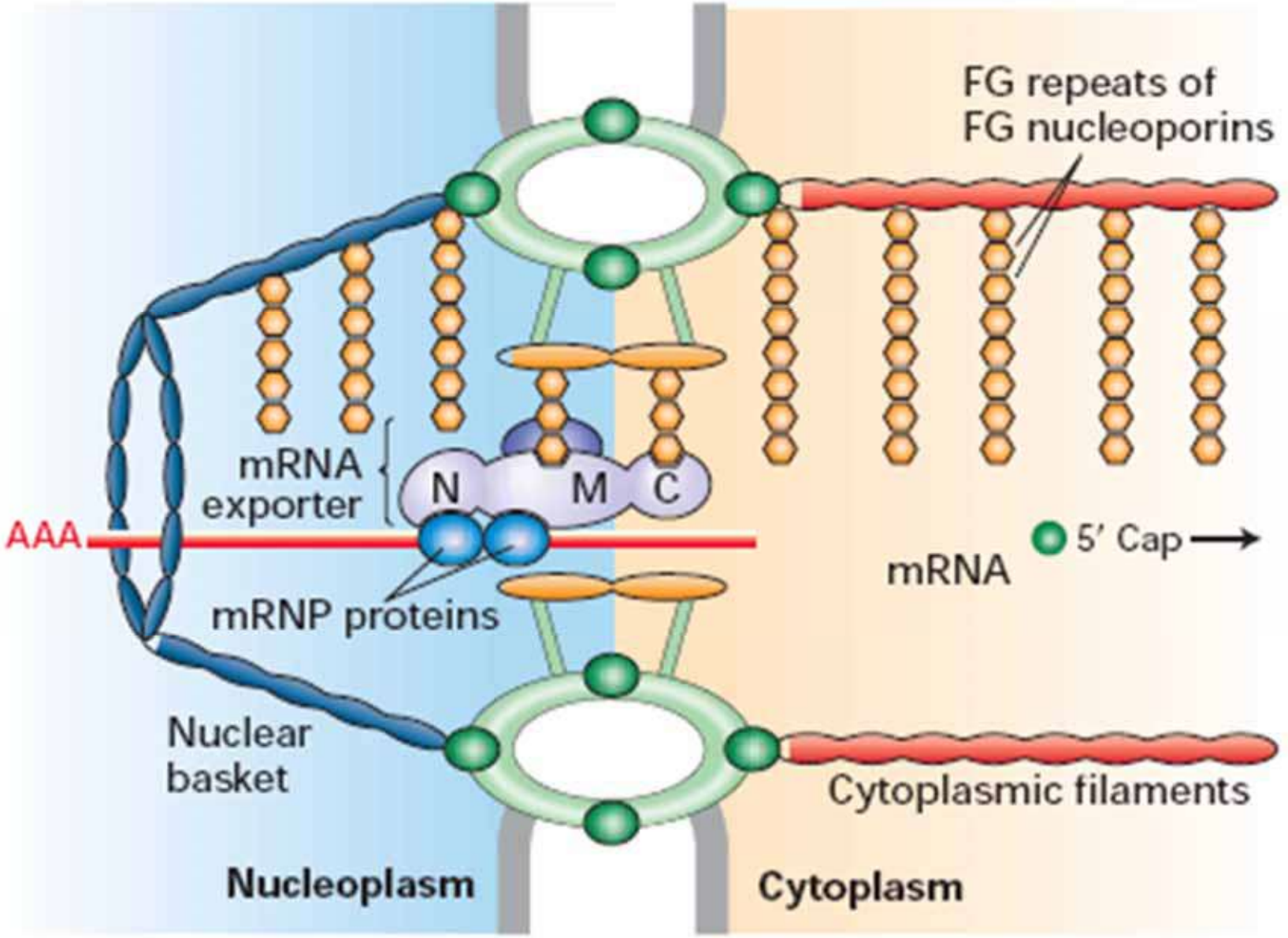


n: noyau

Importine et Exportine



Sortie des ARN grâce au mARN exporter



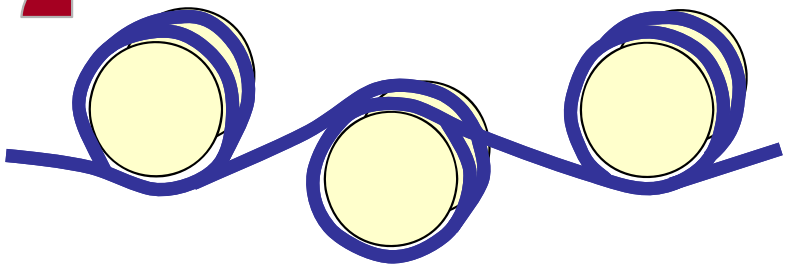
STRUCTURE DE LA CHROMATINE

Résumé des niveaux de compactage de la chromatine

1

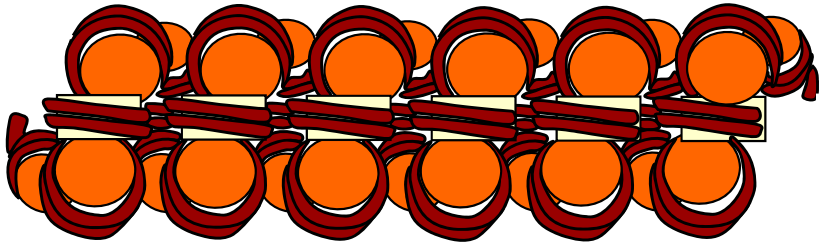
2 nm

2



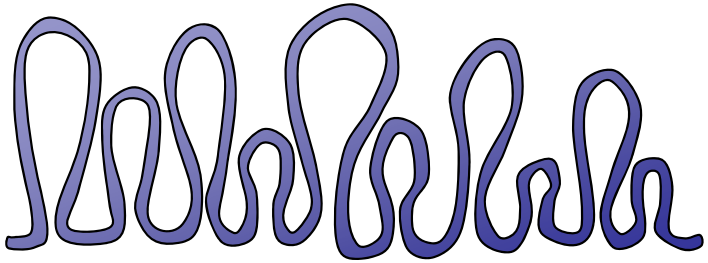
11 nm

3



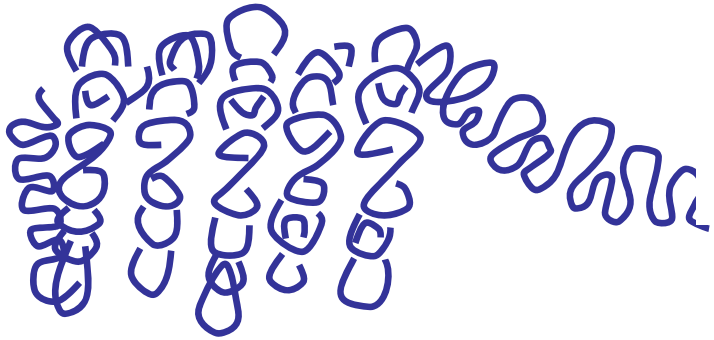
30 nm

4



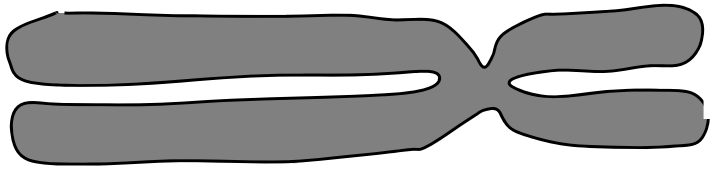
300 nm

5



700 nm

6



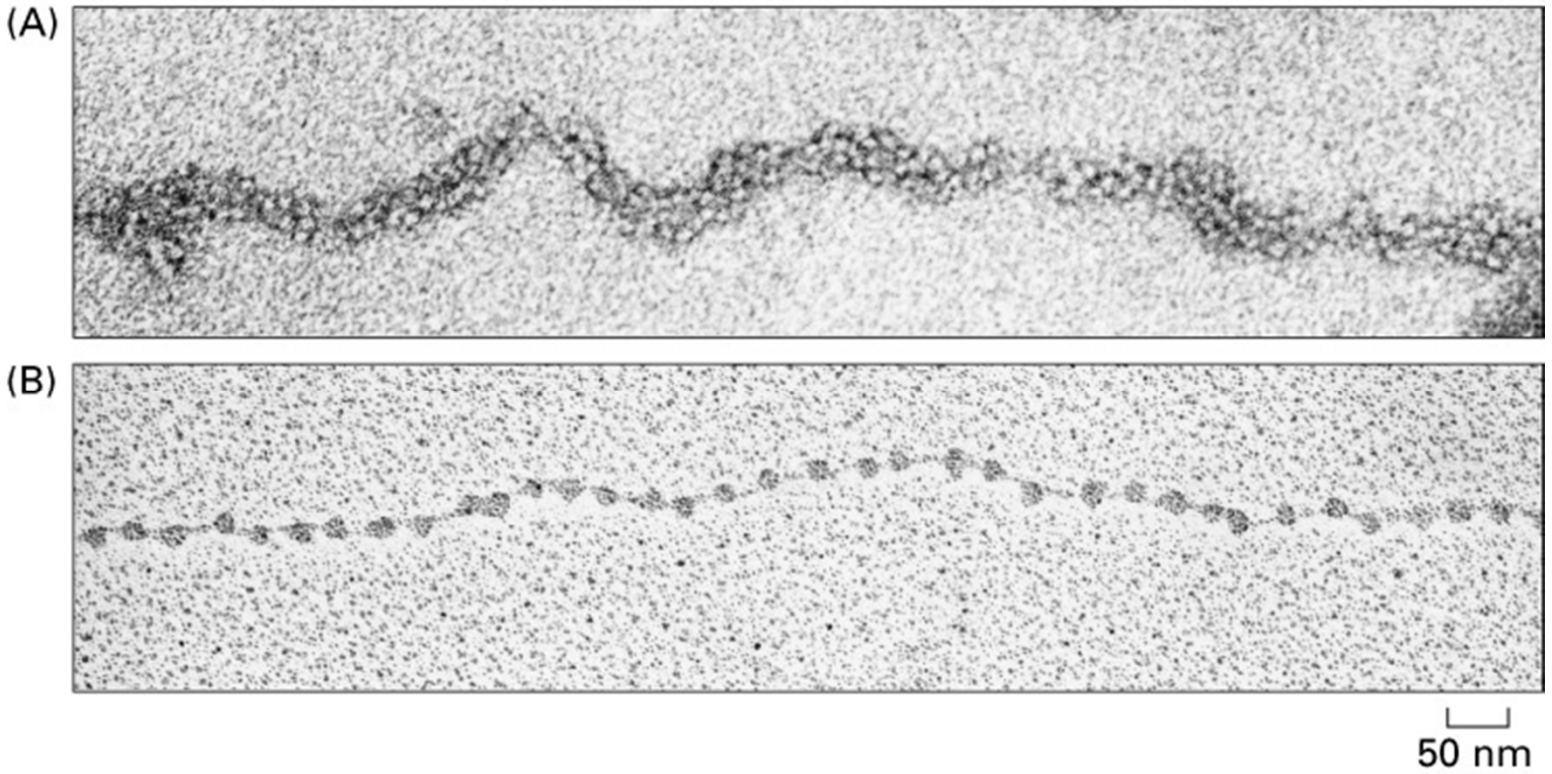
1400 nm

Chromosome=chromatides sœurs

Interphase

Mitose / Méiose

Observation au microscope électronique de la chromatine

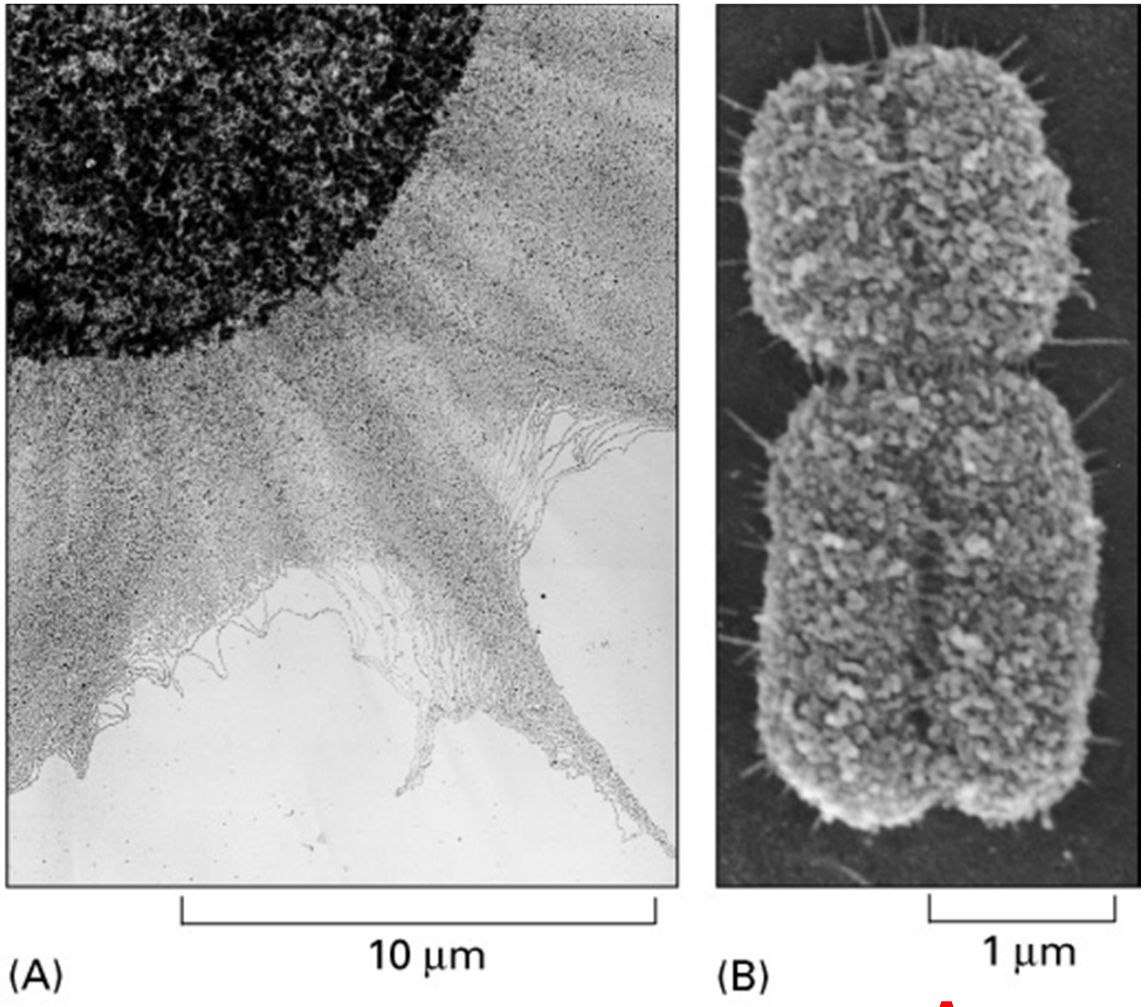


A = Fibre de 30 nm d'un chromosome à l'interphase

B = Nucléosomes le long d'une fibre d'ADN

Aspect en collier de perle = «Moniliforme»

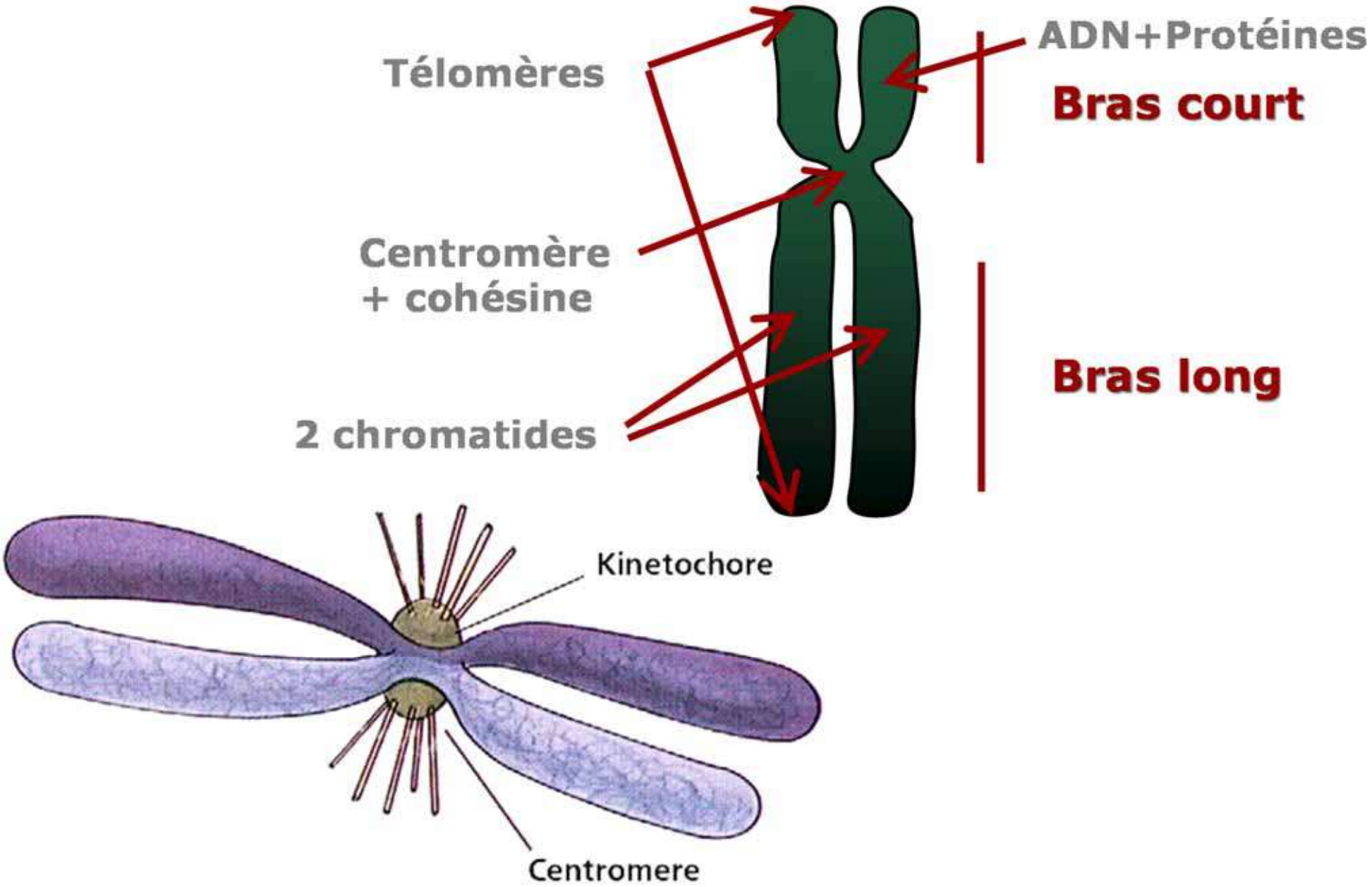
Structure de la chromatine



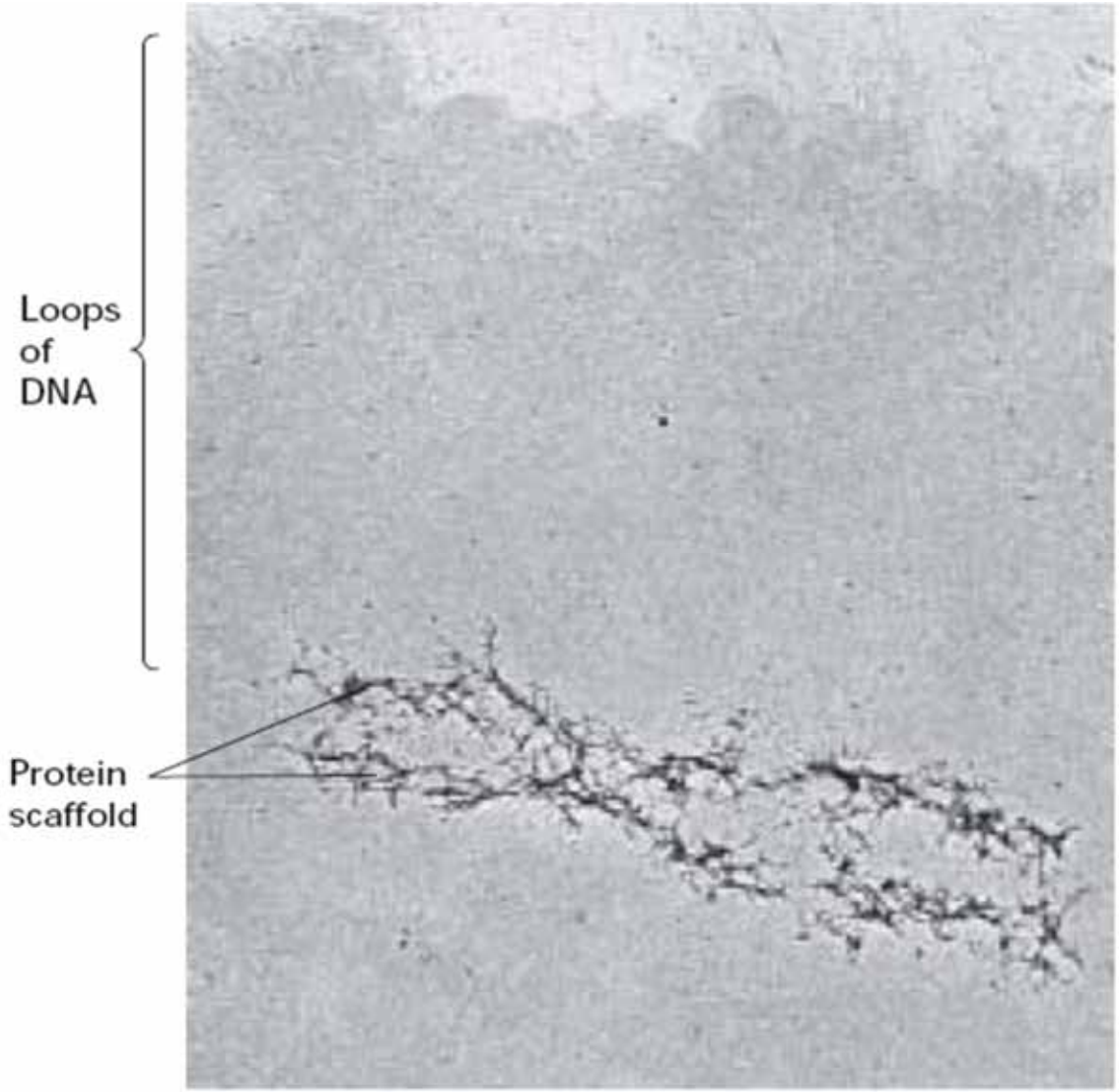
En interphase

- **Au cours de la mitose**

Structure d'un chromosome



L’armature de protéines du chromosome



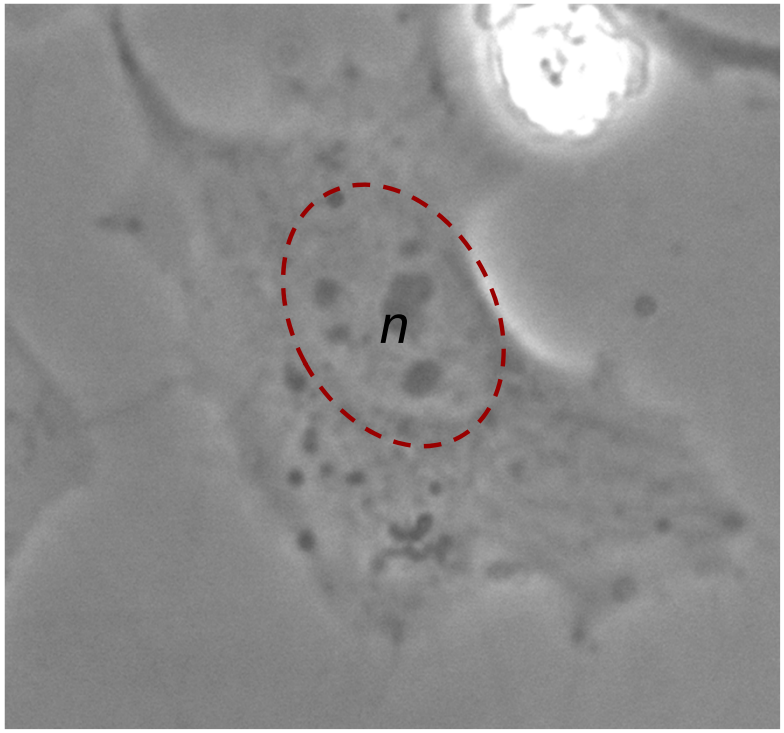
Condensation de la chromatine

- A l’interphase:

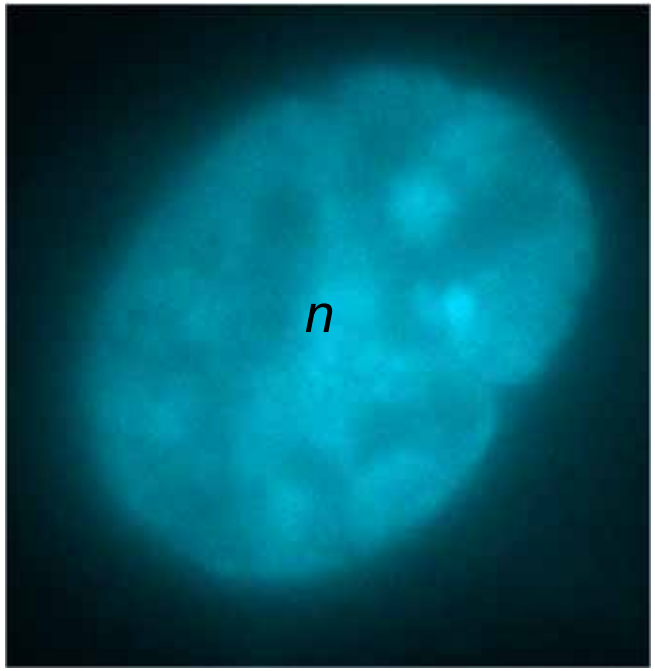
- Hétérochromatine: Chromatine très condensée
- Transcription Inactive

- Euchromatine: Chromatine peu condensée
- Transcription Active

La chromatine à l'interphase

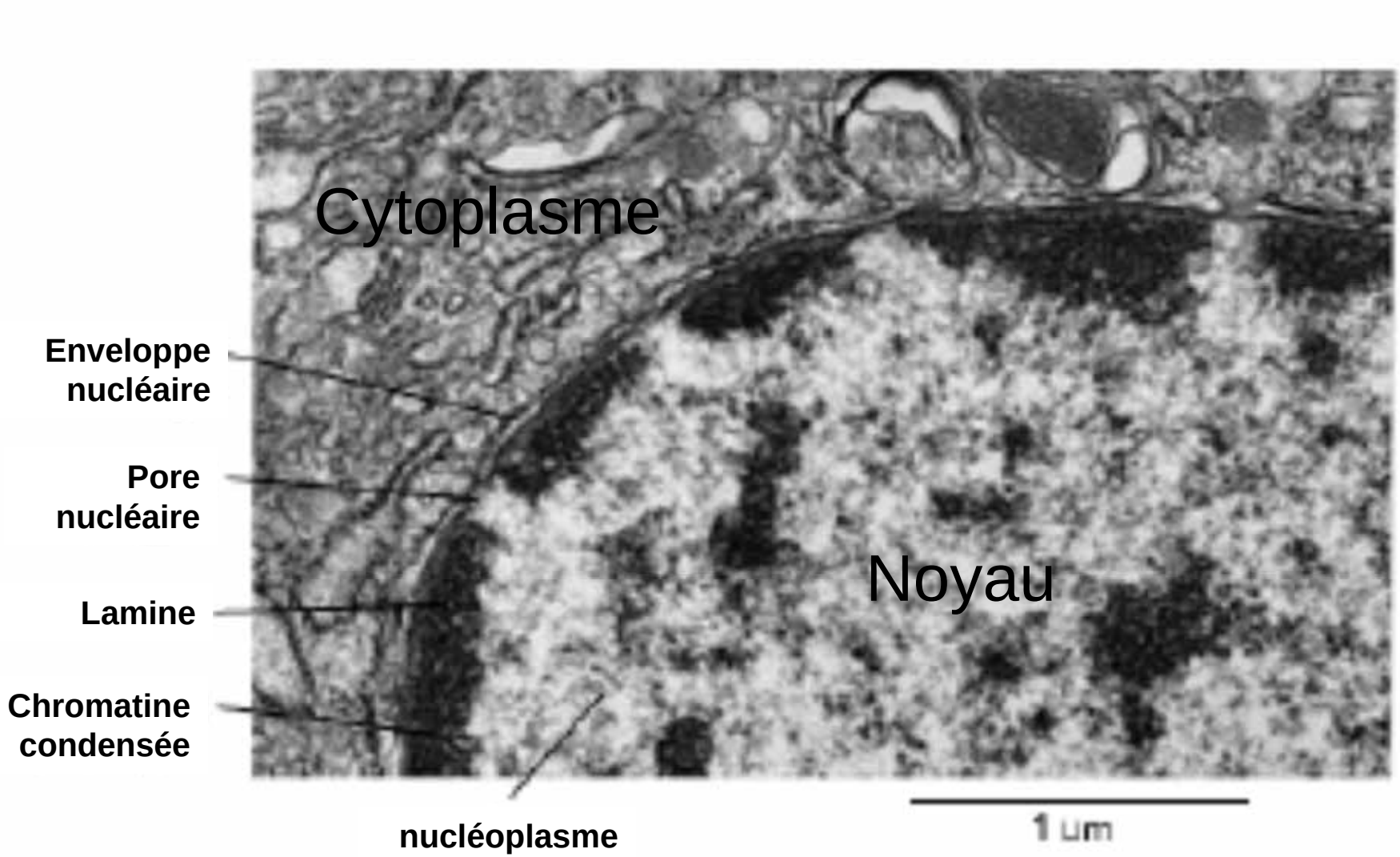


Cellules HeLa à l’interphase
Microscopie à contraste de phase

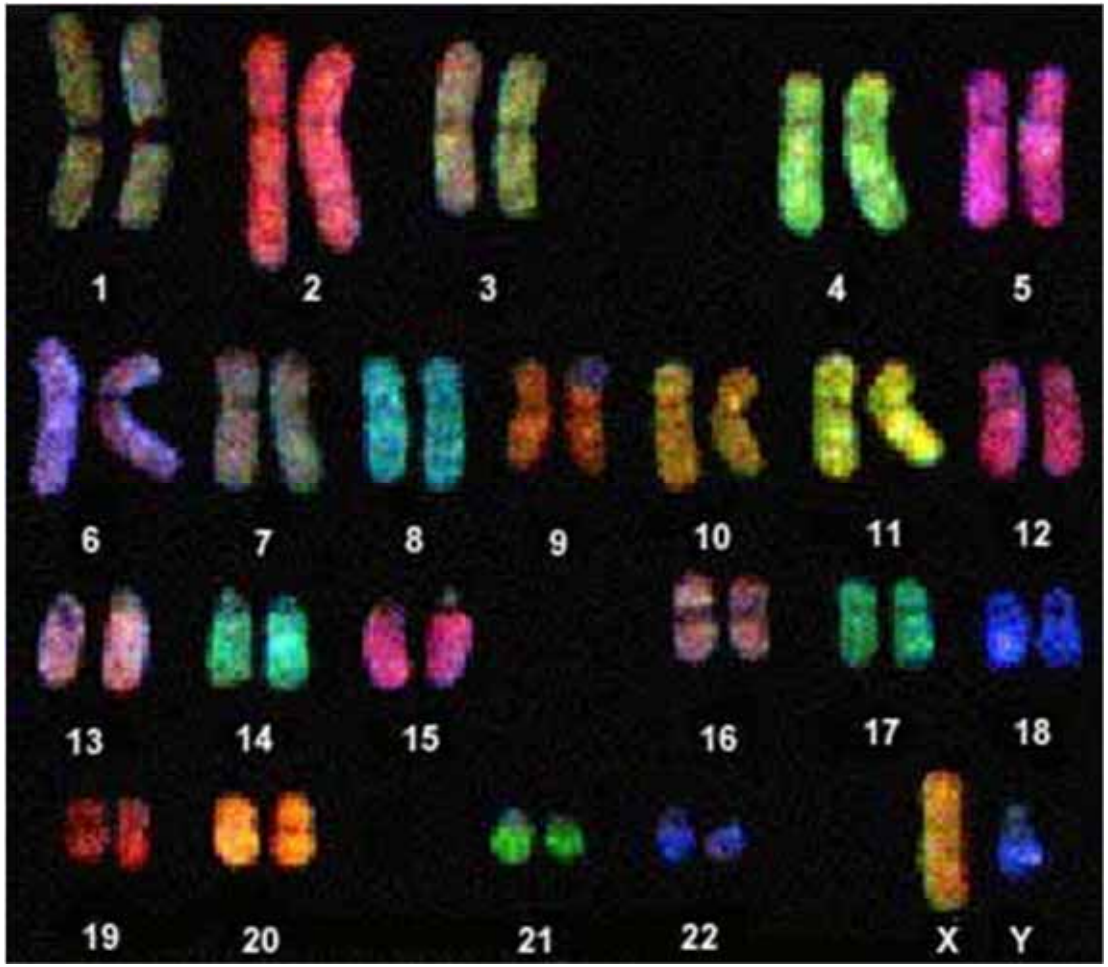


Chromatine à l'interphase
Coloration au Hoechst 33258
Microscopie à Fluorescence

La chromatine condensée est absente prés des pores nucléaires

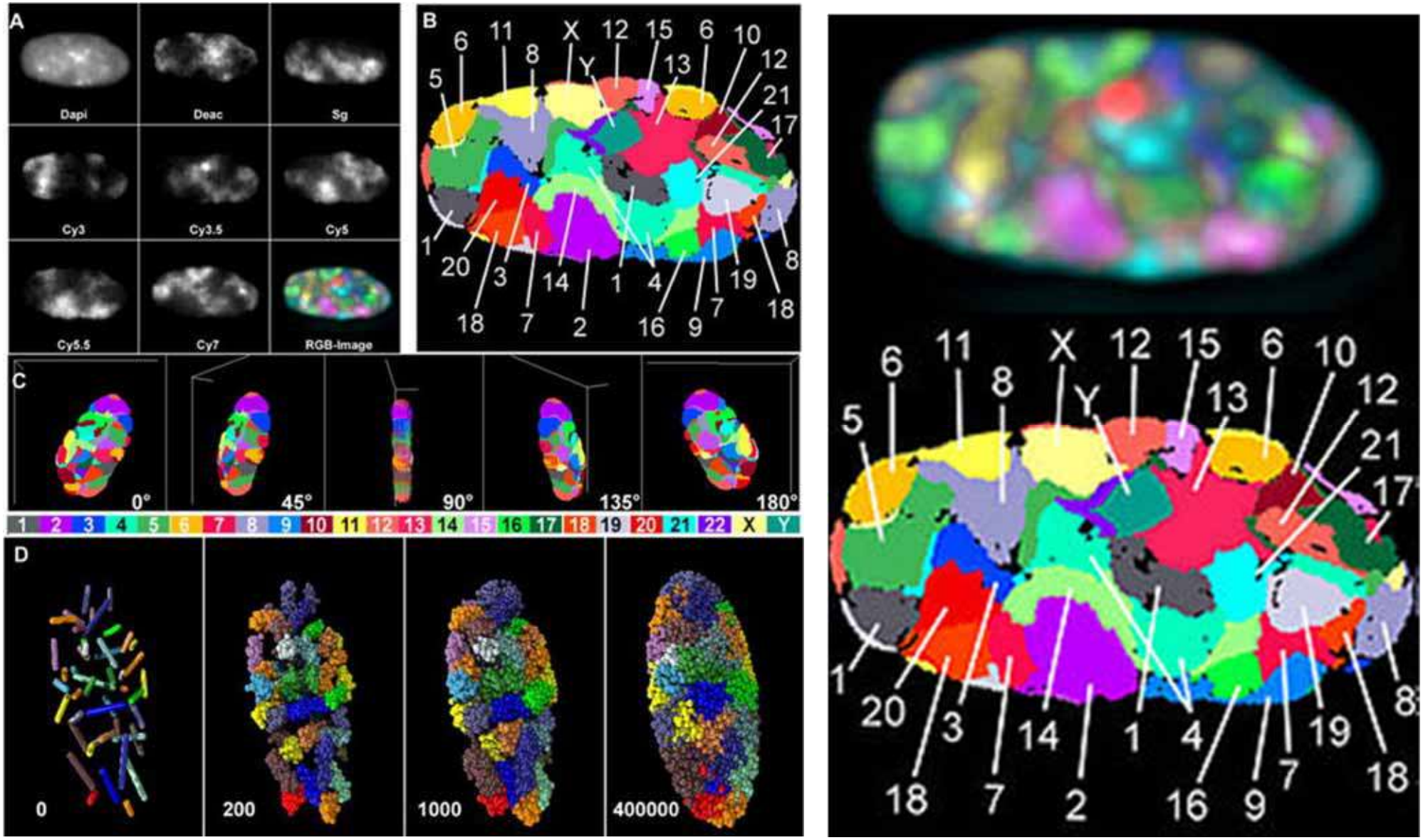


Territoires chromosomiques (1)

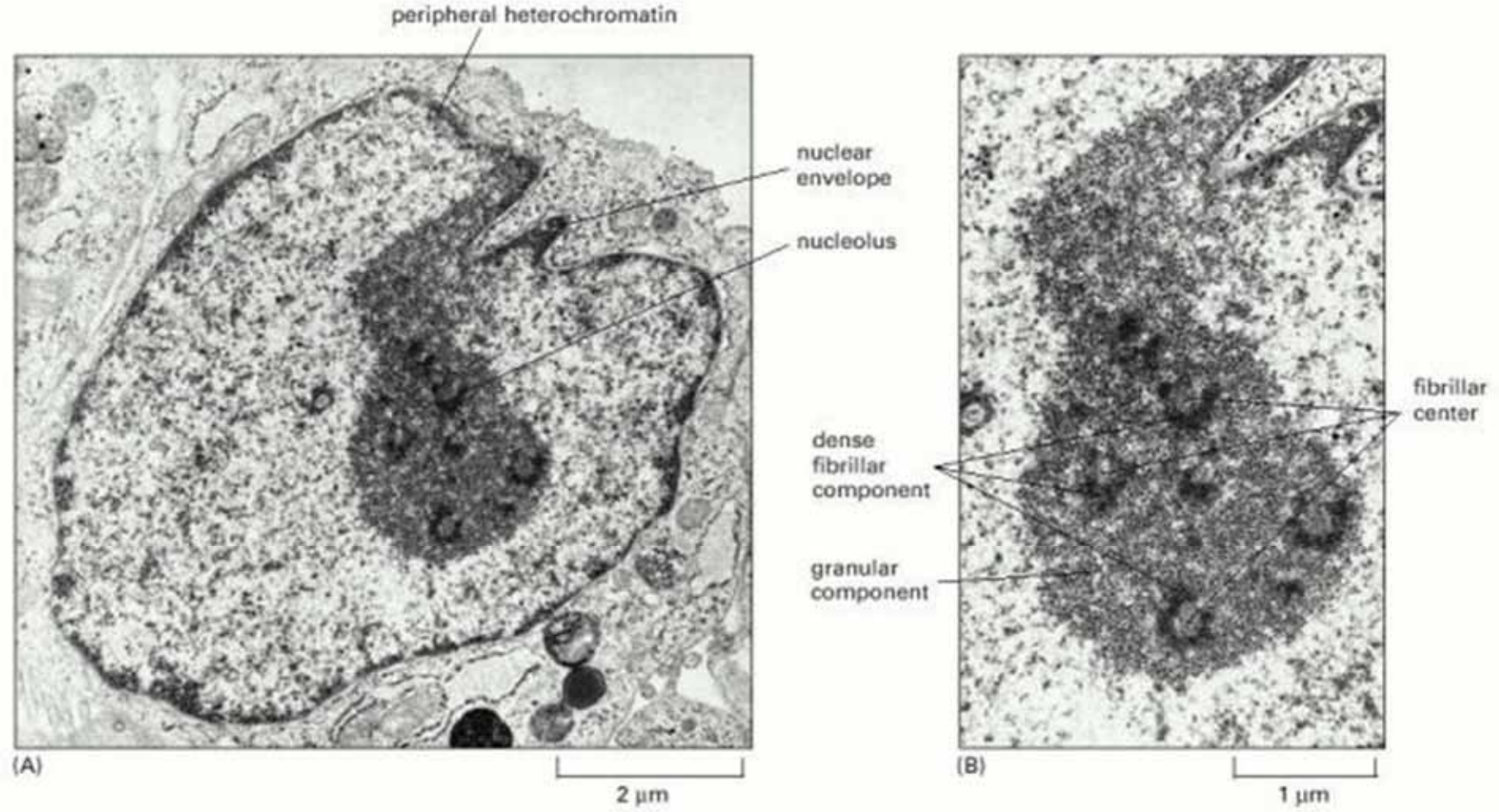


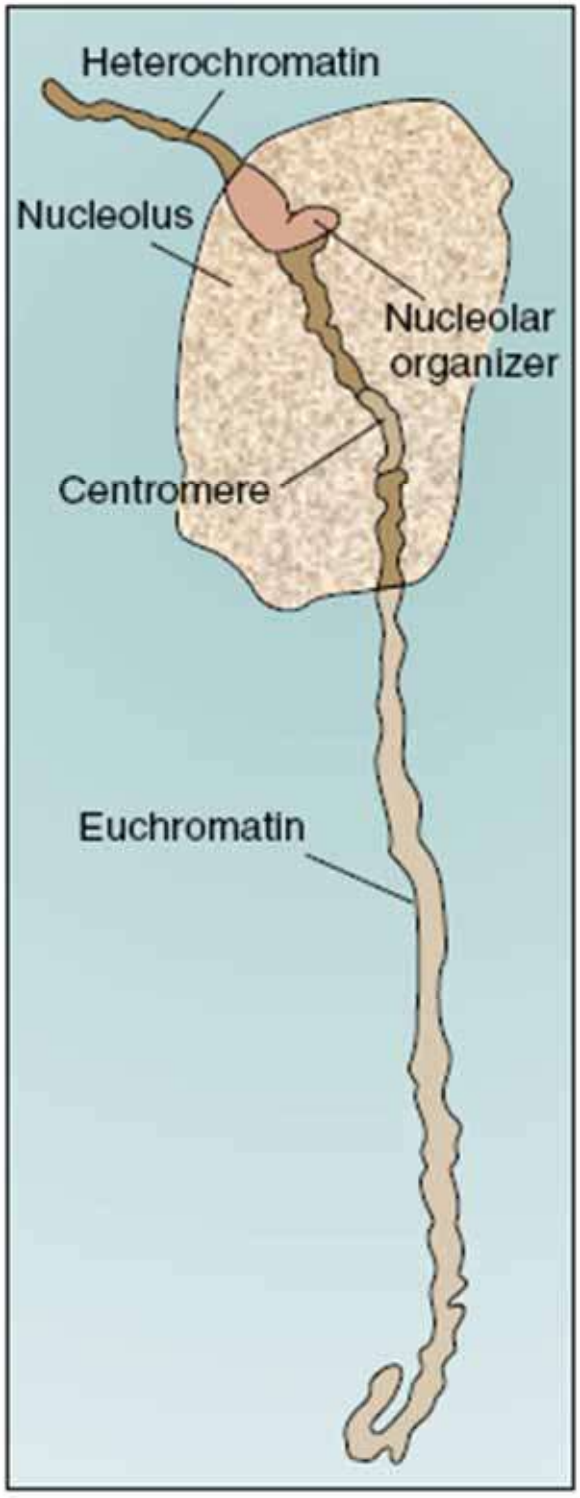
Chromosome painting

Territoires chromosomiques (2)



Le nucléole (1)





Le nucléole (2)

Le nucléole contient la partie du chromosome appelé Nucleolar organiser (NO) et qui contient les génes des rARN

Mentions légales

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'université Joseph Fourier de Grenoble.

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits en 1ère année de Médecine ou de Pharmacie de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.

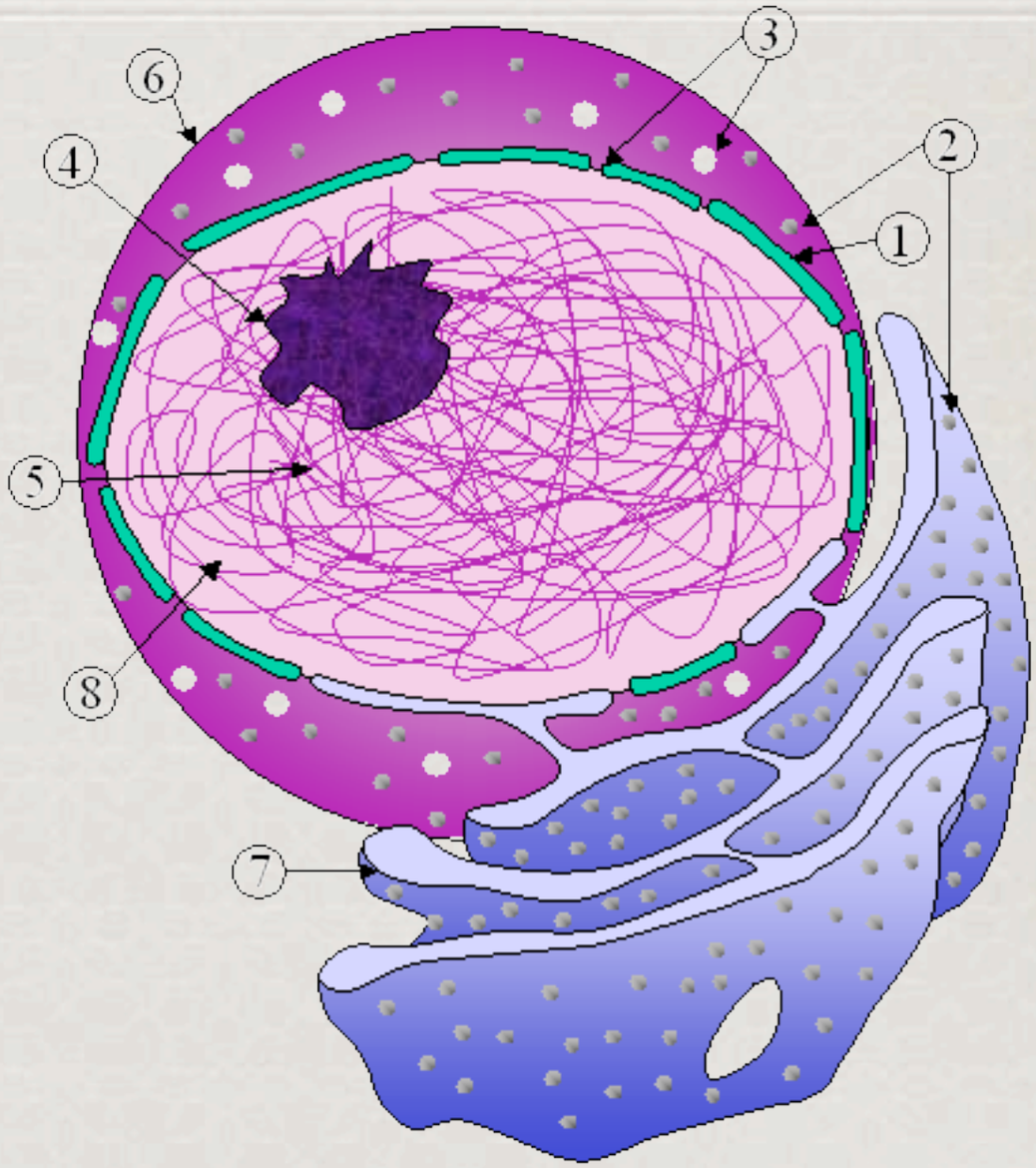
Ce document a été réalisé par la Cellule TICE de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Grenoble
(Université Joseph Fourier – Grenoble 1)

Le Noyau Cellulaire

Pr. Boutaïna BELQAT

Définition

Le noyau est un organite, présent dans les cellules eucaryotes, et contenant le matériel génétique de la cellule (ADN).

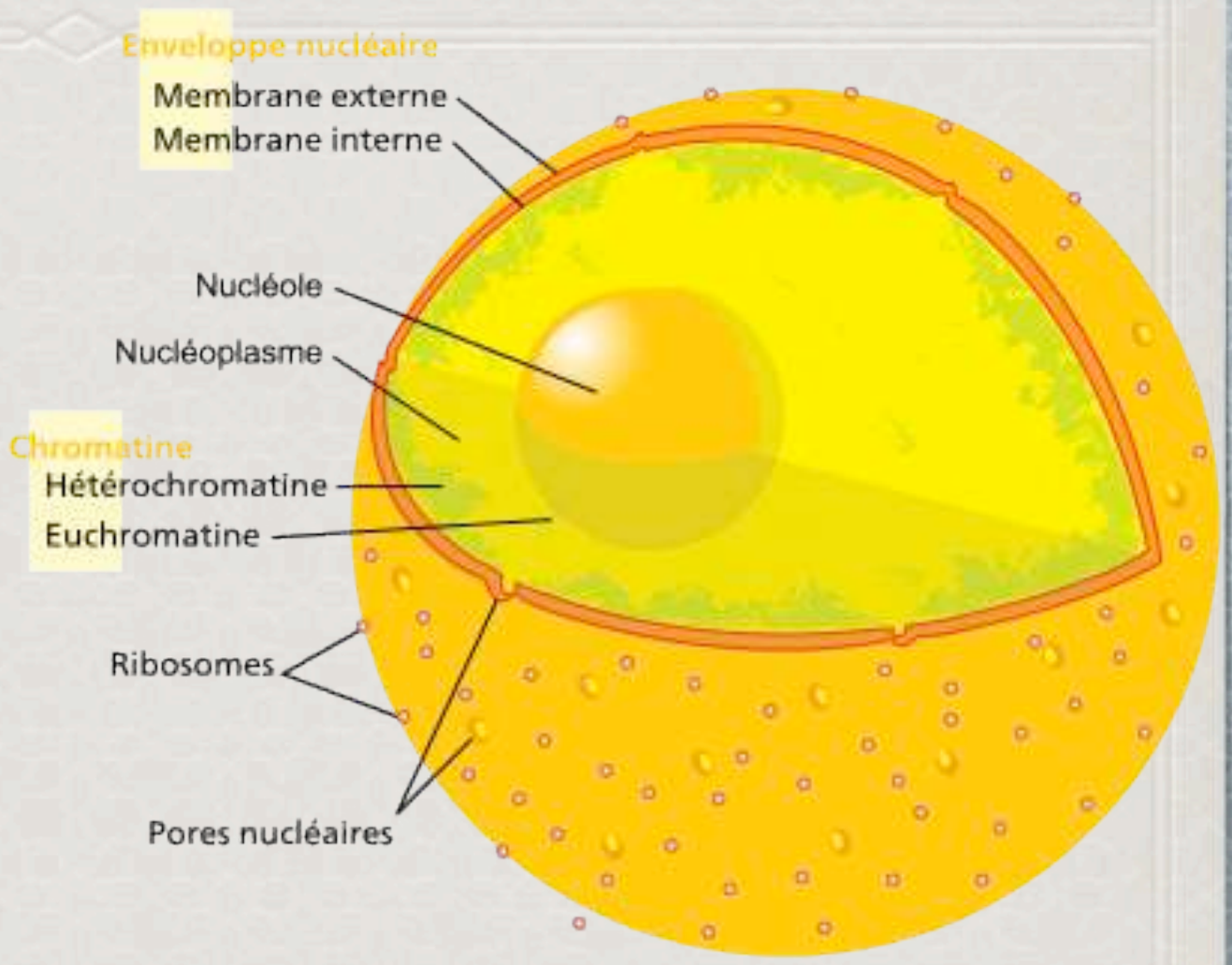


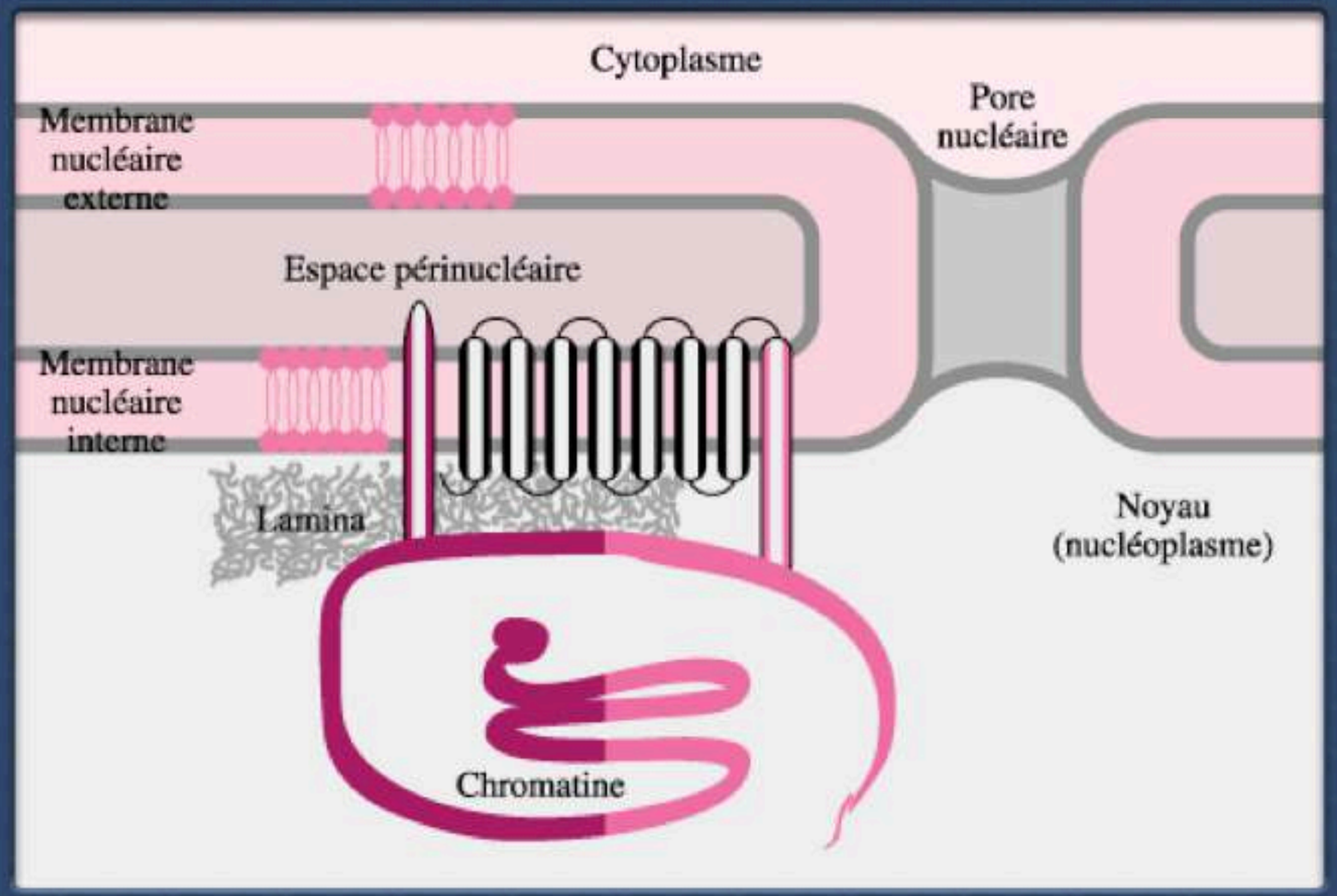
Il a deux fonctions principales :
- contrôler les réactions chimiques du cytoplasme et,

- stocker les informations nécessaires à la division cellulaire.

- **Il a un diamètre variant de 5 à 7 micromètres, ce qui fait de lui le plus grand des organites.**

Membrane nucléaire





La lamina nucléaire = réseau protéique fibreux, qui double la membrane interne de l'enveloppe nucléaire formant une couche de 10 à 20 nm d'épaisseur et interrompue par des pores nucléaires.

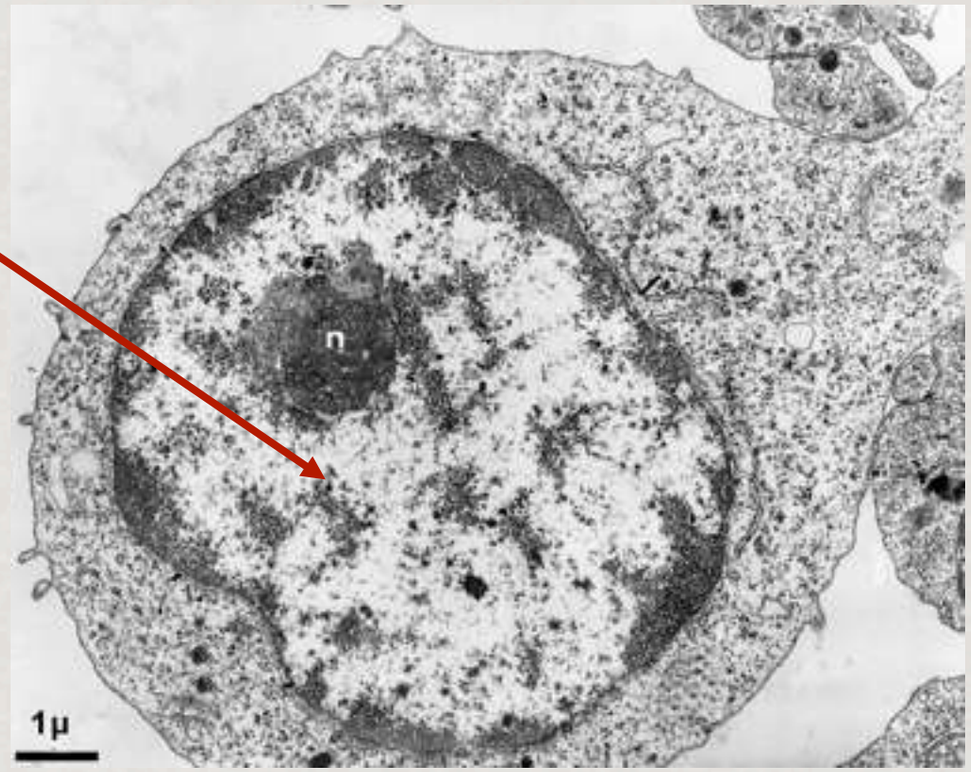
Rôle de la lamina

- ***La lamina:***
  - ***donne sa forme au noyau,***
  - ***rend rigide l'enveloppe nucléaire et,***
  - ***joue un rôle dans le disparition et la reconstitution de la membrane nucléaire lors de la division cellulaire***
  - ***sert aussi à la fixation des chromatides à la périphérie du noyau***

Le nucléoplasme

Le <u>nucléoplasme</u> est un liquide de consistance gélatineuse (qui apparaît grisâtre ponctué de noir en microscopie électronique) contenu dans le noyau délimité par l'enveloppe nucléaire.

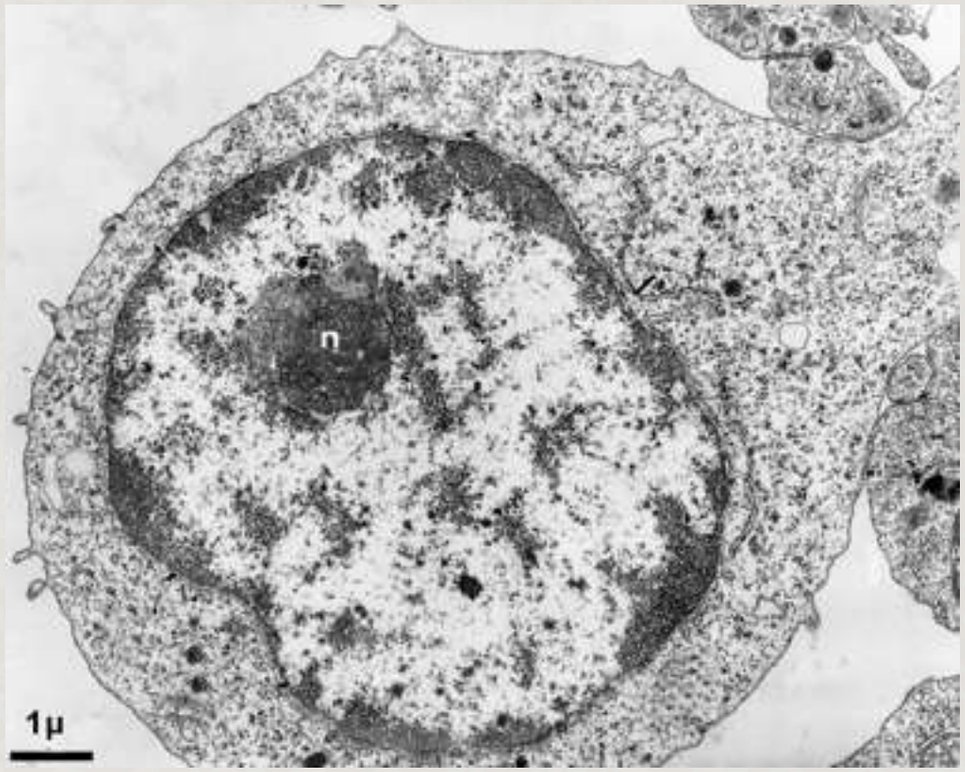
- **Il contient en moyenne entre 70 % et 90 % d'eau et son pH est proche de 7.**



Le nucléoplasme

- **Le nucléoplasme contient:**
  - **nucléotides triphosphates,**
  - **des enzymes,**
  - **des protéines et des facteurs de transcription.**

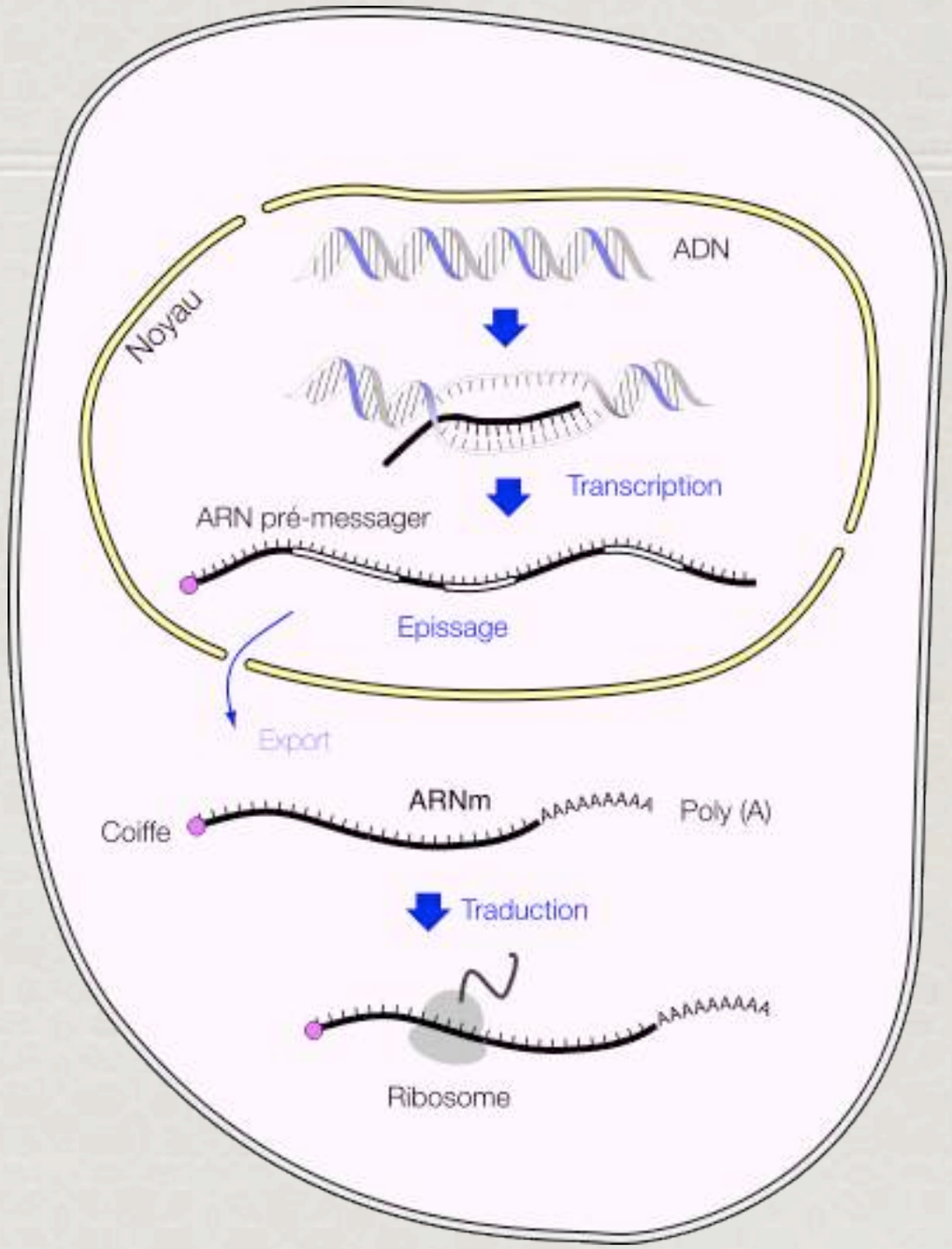
Il renferme la quasi totalité de l'information génétique (2 mètres d'ADN double brin enfermé dans la chromatine (complexe ADN-protéines).



La transcription de l'ADN en ARN pré-messager se déroule dans le nucléoplasme

- **L'acide ribonucléique messager, ARN messager ou ARNm est une copie transitoire d'une portion de l'ADN correspondant à un ou plusieurs gènes.**

- **L'ARNm est utilisé comme intermédiaire par les cellules pour la synthèse des protéines.**



Chromatine

La chromatine est la forme sous laquelle se présente l'ADN dans le noyau.
C'est la substance de base des chromosomes eucaryotes, elle correspond à l'association:

ADN + ARN + Protéines

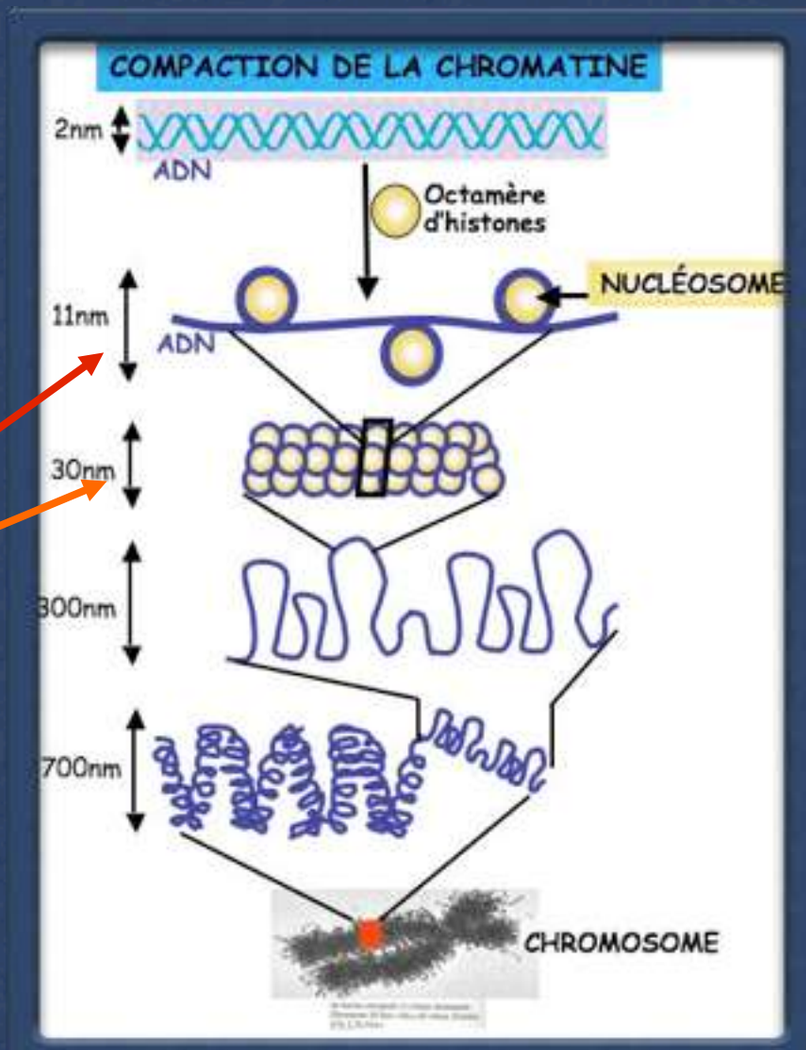
Les protéines sont de deux types :
- histones (protéines très riches en aa basiques) et,
- protéines non-histones, non liées à l'ADN.

Il y a deux types de chromatine : l'euchromatine et l'hétérochromatine.

Les nucléosomes = Enroulement de l'ADN autour de disques protéiques octamères (assemblage de 8 molécules d'histones H2A, H2B, H3 et H4)

Ils constituent une structure en collier de perles.

Avec l'addition d'histones H1, le filament nucléosomique, appelé aussi la fibre de 10 nm est à son tour compacté sous forme de fibres de 30 nm de diamètre3, constituant l'**unité de base de la chromatine**.

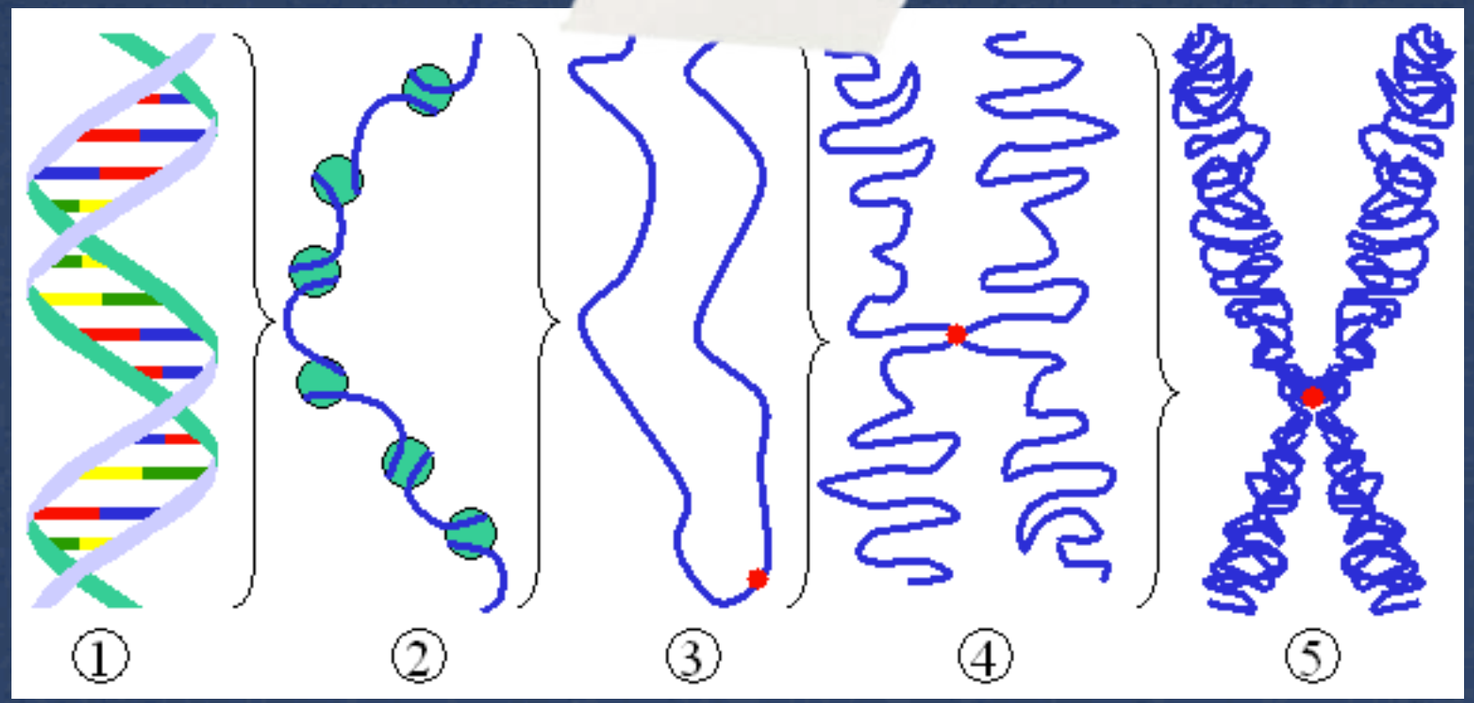


Deux types de chromatine

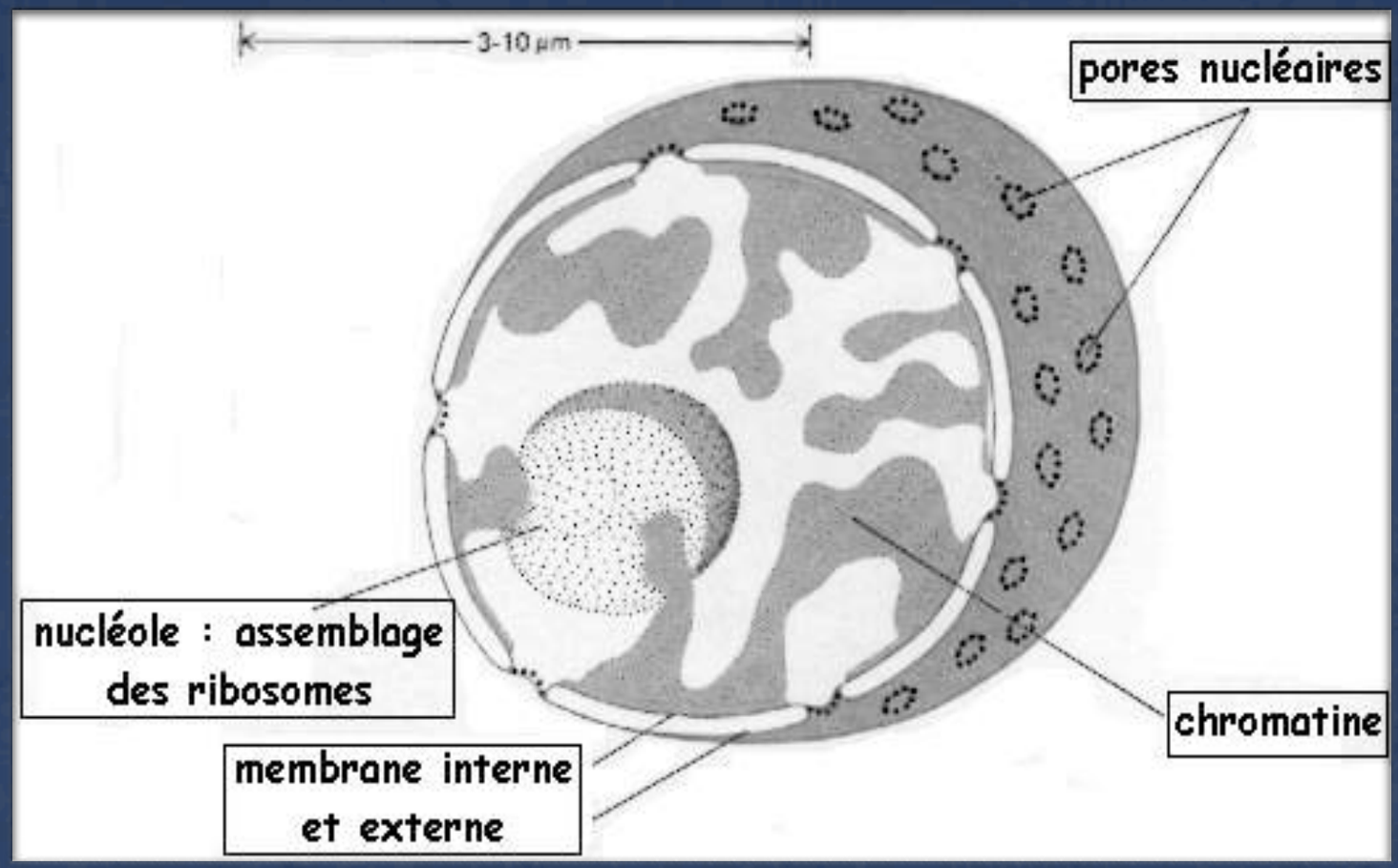
- ***L'euchromatine, qui consiste en ADN actif, de structure globalement décondensée permettant l'expression génique.***

- ***L'hétérochromatine, régions d'ADN condensé qui consiste en ADN principalement inactif. Il semble servir à des fins structurelles durant les phases chromosomiques.***

Différents niveaux de condensation de l'ADN



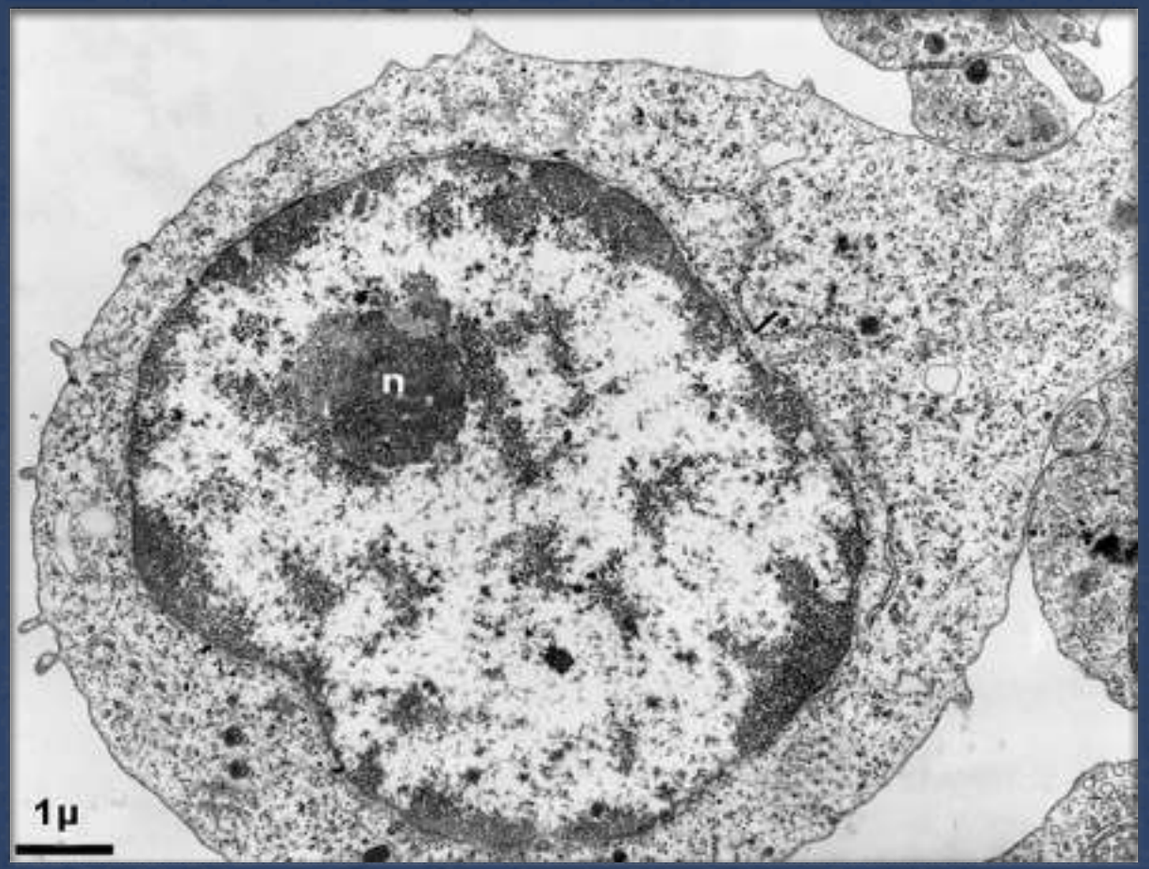
Differents niveaux de condensation de l'ADN. (1) Single DNA strand. (2) Chromatin strand (DNA with histones). (3) Chromatin during interphase with centromere. (4) Condensed chromatin during prophase. (Two copies of the DNA molecule are now present) (5) Chromosome during metaphase.



= un organite cellulaire eucaryote situé dans le noyau. ***Il n'est pourtant pas entouré d'une membrane lipidique et n'est donc pas séparé physiquement du noyau.***

Il est observable au microscope optique et électronique et disparaît au cours de divisions cellulaires.

Fonction du nucléole



Bon courage

LIENS UTILES ☝

Visiter :

1. https://biologie-maroc.com
   - Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. https://biologie-maroc.com/shop/
   - Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
   - Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
   - Trouver des bourses et des écoles privées

3. https://biologie-maroc.com/emploi/
   - Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
   - Trouver des offres d'emploi et de stage