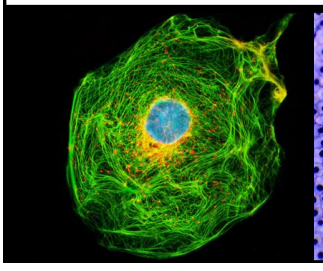
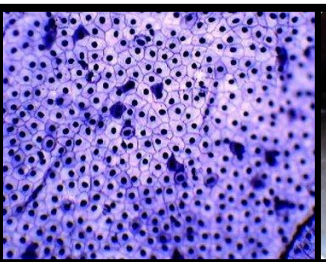
UE 2 « la cellule et les tissus » : Introduction à la Biologie et à la Cellule (2h)

Marc Blondel

Sources et ouvrages de référence :

1. Cours de Biologie Cellulaire de Cau et Seïté chez Ellipses
2. Biologie Cellulaire de Maillet chez Masson
3. Biologie Cellulaire de Bassaglia chez Maloine
4. « La cellule : une approche moléculaire » de G. Cooper (traduction C. François) chez De Boeck Université
5. L'Essentiel de la Biologie Cellulaire de Alberts et coll. (traduction S. Perelman) chez Médecine-Sciences, Flammarion
6. Biologie Moléculaire de la Cellule de Alberts et coll. (traduction N. Cartier) chez Médecine-Sciences, Flammarion
7. Biologie Moléculaire de la Cellule de Lodish et coll. (traduction C. François) chez DeBoeck Université
8. Molecular Cell Biology 5th de Lodish et coll. chez Freeman
9. Cell Biology de Pollard et Earnshaw chez Saunders (existe traduction française « Biologie Cellulaire » chez Elsevier)

partie **Biologie Cellulaire** de l'**UE de Biologie**
(26 heures, Tristan Montier & Marc Blondel)

- introduction à la biologie de la cellule (2h, MB)
- la mitochondrie (3h, MB)
- techniques et instrumentation en biologie cellulaire (1h, TM)
- la membrane plasmique : structure et composition (4h, TM)
- transport membranaire (4h, TM)
- système endomembranaire -SEM- et trafic intracellulaire (5h, TM)
- le cycle cellulaire (2h30, MB)
- l'apoptose (0h30, MB)
- le cytosquelette (4h, TM)

Introduction à la Biologie et à la Cellule :

1. **Historique de la Biologie & définition de la Biologie Cellulaire**

2. **Origine et évolution des cellules**
   - 2a. Origine : la cellule « primordiale »
   - 2b. Evolution du métabolisme cellulaire

3. **Généralités sur l'architecture et les fonctions cellulaires**
   - 3a. Cellules procaryotes
   - 3b. Cellules eucaryotes animales

4. **Vie et mort des cellules eucaryotes**
   - 4a. Cycle cellulaire : ≠ phases, durée, contrôle
   - 4b. Mort cellulaire : apoptose, nécrose

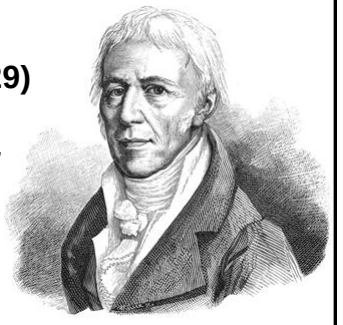
5. **Systèmes expérimentaux modèles**
   - 5a. Unité de fonctionnement des cellules (malgré leur diversité)
   - 5b. Exemples de systèmes cellulaires modèles

1. Historique de la Biologie & définition de la Biologie Cellulaire

La Biologie : terme créé en 1815 par

JB de Lamarck (célèbre évolutionniste français/Darwin**)**
Bios + Logos = sciences de la vie (1815)
…une science jeune…

Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829)



« Tout ce qui est généralement commun aux végétaux et aux animaux, comme toutes les facultés qui sont propres à chacun des êtres sans exception, doit constituer l'unique et vaste objet d'une science particulière qui n'est pas encore fondée, qui n'a même pas de nom et à laquelle je donnerai le nom de **biologie. »**

Histoire naturelle des animaux sans vertèbre, 1815, p. 49

La cellule : définition

La cellule version Alcatraz…

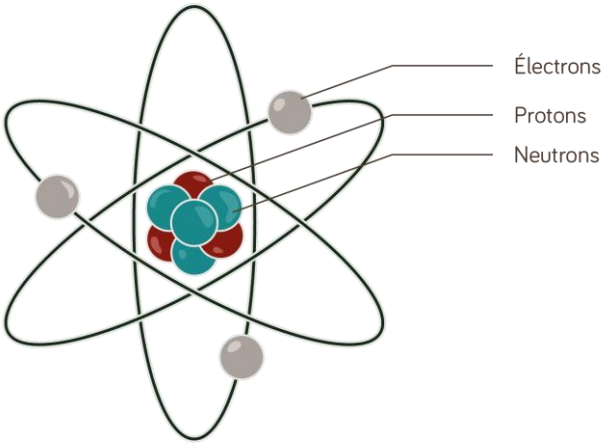
La cellule : définition

- **cellule = unité de base structurale et fonctionnelle du vivant,**
  capable de vivre isolée
  capable de se reproduire (par division)

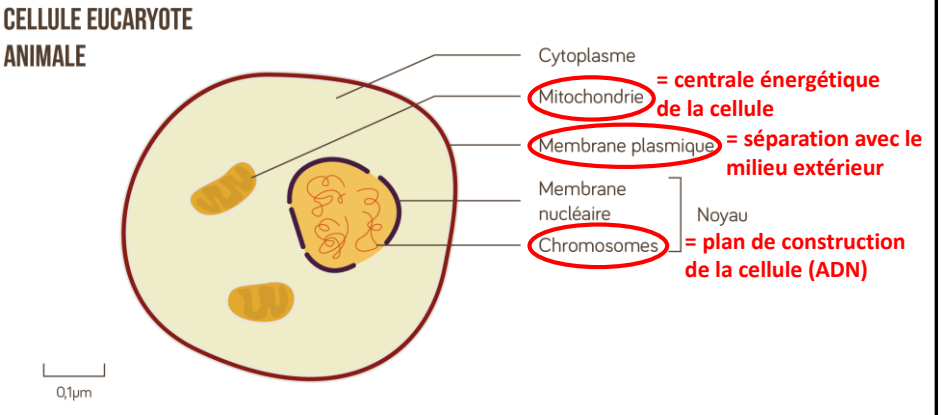
- **quel que soit le type d'être vivant (animal, végétal, champignon...)**
  il est constitué de cellules dont le mode de fonctionnement est très conservé

- **« avec la cellule, la biologie a trouvé son atome »**
  (François Jacob, Inst. Pasteur, prix Nobel Médecine 1965)

l'atome = unité de base de la matière

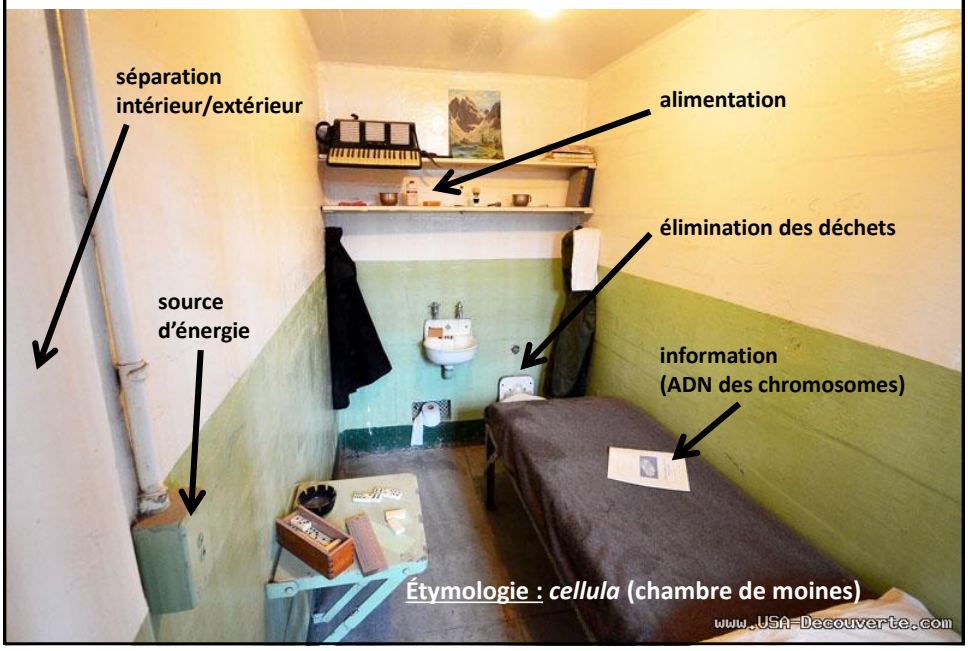


la cellule = unité de base de tout être vivant

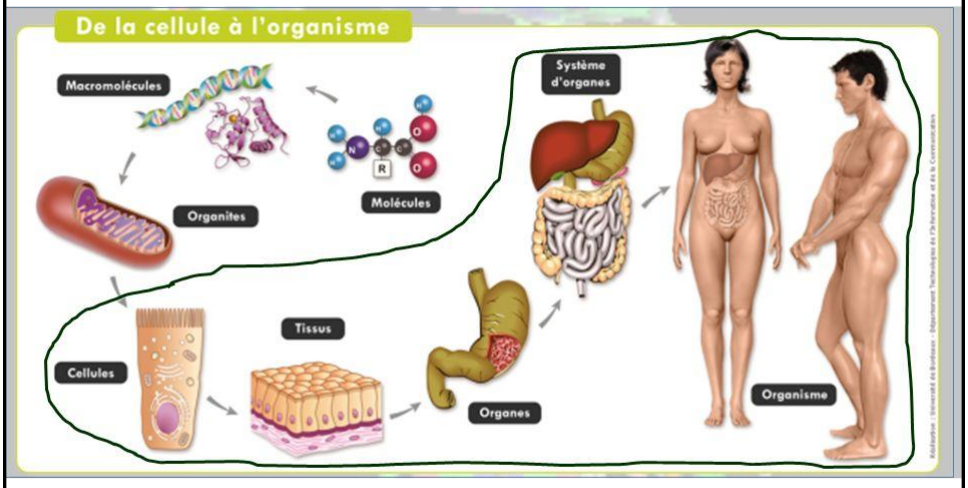


unité de base se nourrissant, rejetant ses déchets & se reproduisant

la cellule = unité de base de tout être vivant



Les cellules sont organisées en tissus & organes



Cellule ⇨ Tissus ⇨ Organe ⇨ Systèmes d'organes ⇨ Organisme

Les cellules sont organisées en tissus & organes

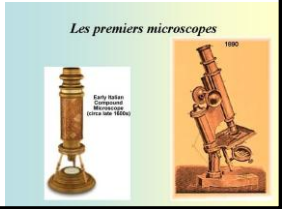
La cellule : définition

- cellule = unité de base structurale et fonctionnelle du vivant,
  capable de vivre isolée
  capable de se reproduire

- « avec la cellule, la biologie a trouvé son atome »
  (François Jacob, Inst. Pasteur, prix Nobel Médecine 1965)

- petite taille : ► nécessité d'outils d'étude : la biologie cellulaire a démarrée avec l'essor de la microscopie (inventée 17ème, essor fin 18ème) :
  - microscopie optique ► dévelop. «théorie cellulaire»
  - microscopie électronique ► découverte ultrastructure & organites intracellulaires

Les œufs de poissons ou de batraciens : des cellules «géantes» (≈1 ou 2 mm)



Pouvoir de résolution des microscopes et tailles :

- **Résolution** : **pouvoir de résolution** avec

  - **œil nu** : **0,2 mm** (200 µm)

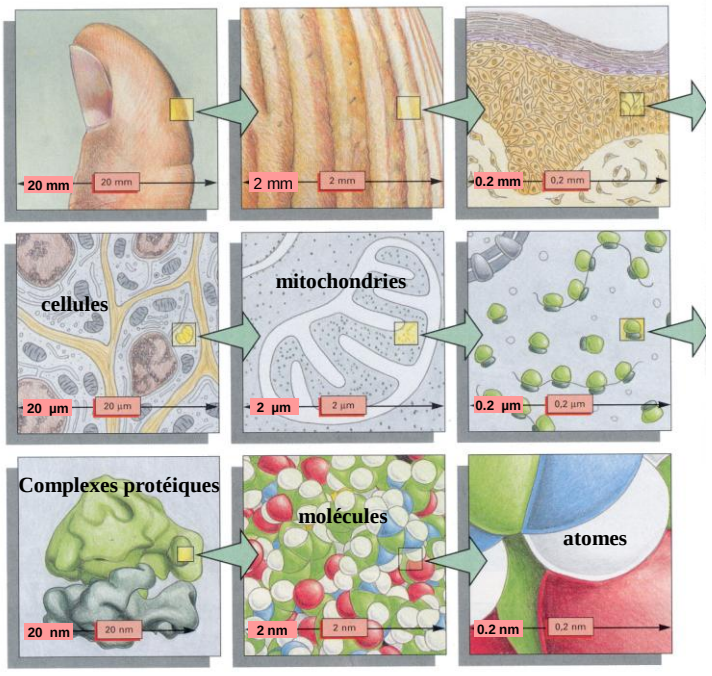
  - microscope **optique** : **0,2 µm** = 200 nanomètres (nm, 10^{-9} m)

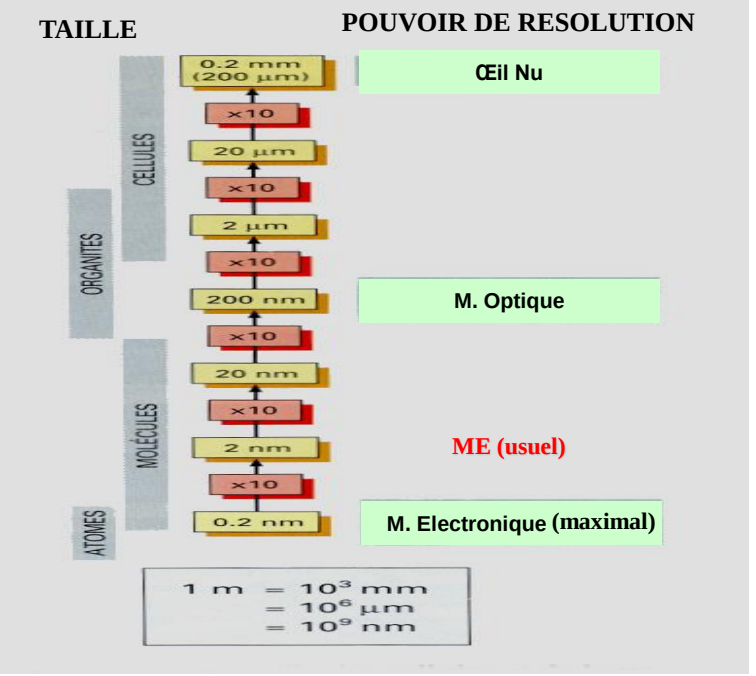
  - microscope **électronique** : 0,2 nm (conditions optimales)
    ~ 2 nm (coupes biologiques)

  - différence de résolution entre MO en ME : facteur ~ **100**

- **Tailles** (ordre de grandeur) :
  - **atome** : ~ **0,2 nm** = 2 angströms (optimum ME)
  - **virus** : ~ **100 nm**
  - **bactérie** : ~ **1 µm**
  - **mitochondrie** : ~ **1 µm** (idem bactérie)
  - **cellule eucaryote** : **5 – 30 µm**

Tailles





Théorie cellulaire ► classification des êtres vivants

- la **cellule (**= unité de base du vivant**) peut vivre :**

  soit isolée → organismes unicellulaires (bact., levures…)
  soit associée → organismes supérieurs (pluricellulaires)

- **classification, deux types de cellules :**

- procaryotes (sans noyau limité par mb nucléaire) : organismes essentiellement unicellulaires

- eucaryotes (avec noyau limité par mb nucléaire : végétaux, animaux, champignons) :

- eucaryotes unicellulaires (protistes) : proto….
animaux = protozoaires
végétaux = protophytes

- eucaryotes pluricellulaires : méta…
animaux = métazoaires (Homme)
végétaux = métaphytes

Biologie Cellulaire (1)

- science des lois régissant les phénomènes communs aux divers types de cellules de divers organismes (toutes les cellules dérivent d'une cellule ancestrale ⇨ notion d'organismes modèles)

- but : étudier les phénomènes communs et préciser les relations entre :
  structures (morphologie)
  et fonctions (biochimie)

  ► vision intégrée de la cellule (holistique)
  ► discipline « carrefour » (biochimie, génétique, biologie moléculaire, physiologie)

Biologie Cellulaire : intérêt (2)

lésions cellulaires et/ou anomalies des communications intercellulaires : à l'origine de la plupart des maladies :

► rôle fondamental dans mécanismes physiopathologiques des maladies

► pour comprendre le «pathologique» il faut d'abord comprendre le «normal»

2. Origine et évolution des cellules

2a. Origine : la cellule primordiale (1)

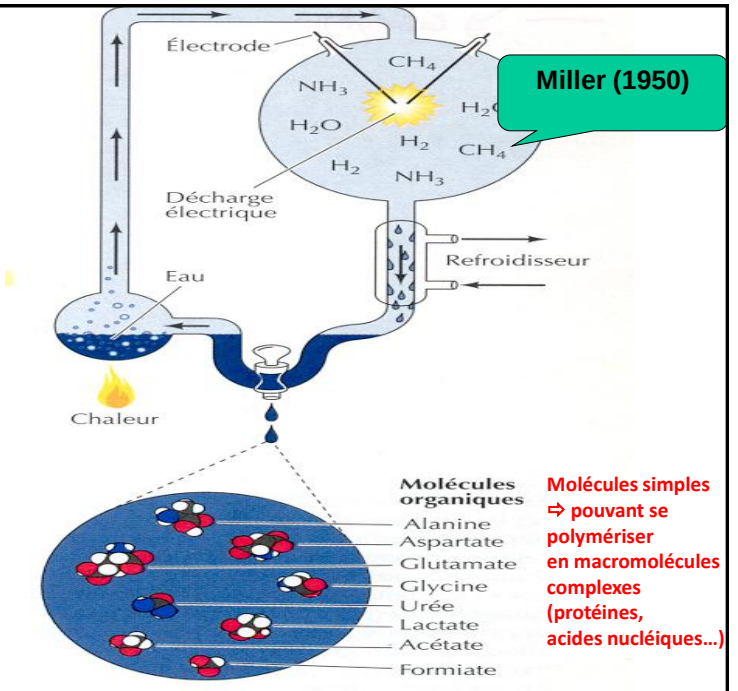
- la vie (1ères cellules) remonte à environ 3,5 milliards d'années (fossiles) (formation terre : il y a 4,6 milliards d'années)

- formation spontanée (selon des lois physico-chimiques) de molécules organiques simples dans atmosphère de la Terre primitive

- expérience de Miller («archéologie moléculaire» 1950) : reconstitution atmosphère terrestre primitive (très réductrice, beaucoup d'orages) : formation spontanée de molécules organiques (notamment acides aminés) lors passage décharges électriques dans mélange hydrogène (H_2), méthane (CH_4) et ammoniac (NH_3) en présence d'eau (H_2O) (donc atomes H, C, N et O) ⇨ apparition de molécules organiques simples telles que les acides aminés, les oses (sucres) ou les nucléotides (toutes des «briques» du vivant)

- par la suite apparition des macromolécules (protéines, polysaccharides, acides nucléiques -ADN & ARN-) par polymérisation de ces monomères modulaires simples (acides aminés, oses, nucléotides)

Formation spontanée de molécules organiques dans atmosphère de la Terre primitive



Miller (1950)

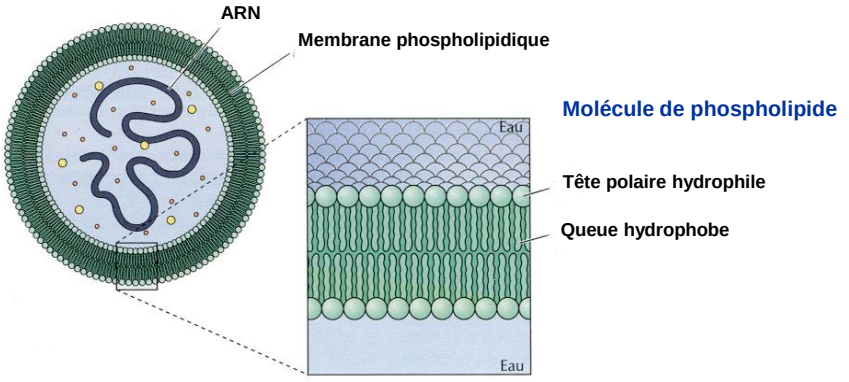
Molécules simples ⇨ pouvant se polymériser en macromolécules complexes (protéines, acides nucléiques…)

2a. Origine : la cellule primordiale le matériel génétique (2)

- l'ARN fut le matériel génétique primordial (« monde de l'ARN ») car capable de servir à la fois de :
  - matrice pour sa propre réplication (appariement des bases comme ADN)
  - possède activité enzymatique (ARN à activité enzymatique = ribozyme)
- cellule primordiale (primitive, ancestrale) probab. formée par enclavement d'ARN autoréplicatif dans membrane phospholipidique sphérique (► unité physique capable d'autoréplication)
- compartimentation ► avantage sélectif quand ARN encapsulé est capable de coder une enzyme «avantageuse» mais…

  ► séparation du milieu extérieur (transport nécess.)
- l'ADN aurait ensuite pris la place de l'ARN comme matériel génétique :
  - ribonucléotide réductase (RNR) catalyse RN ► déoxyRN
  - hydroxyurée, un inhibiteur de la RNR est utilisé comme anticancéreux

Cellule «primitive»



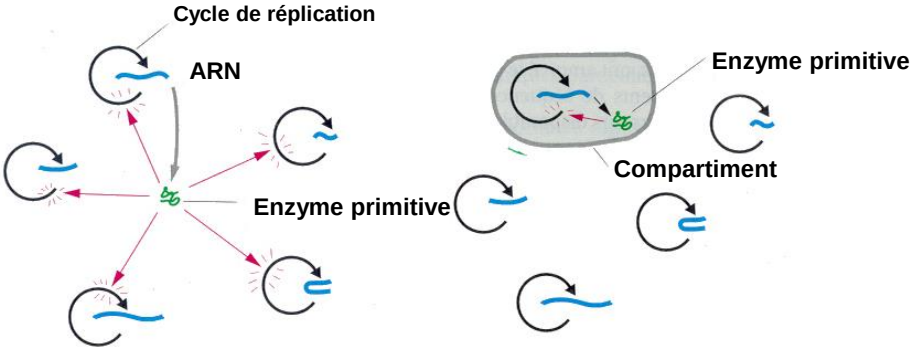
Emprisonnement d'un ARN auto-réplicatif dans une membrane phospholipidique

Compartimentation ⇨ nécessité d'un transport

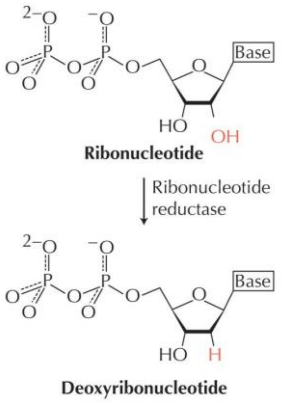
Compartimentation ► avantage sélectif, la sélection naturelle peut opérer (Darwinisme)

SANS COMPARTIMENTATION

AVEC COMPARTIMENTATION



Autre argument en faveur d'un «monde de l'ARN» initial : existence de la ribonucléotide réductase : ribonucléotide ►déoxyribonucléotide



Ribonucléotide :
constituants ARN
Acide RiboNucléique

Désoxyribonucléotide :
constituants ADN
Acide DésoxyriboNucléique

- **chez organismes « modernes », désoxyribonucléotides synthétisés à partir des ribonucléotides par action de l'enzyme ribonucléotide réductase (RNR)**

- **argument en faveur existence ARN antérieurement à ADN (ARN matériau génétique primordial, «monde de l'ARN» initial)**

2b. Evolution du métabolisme cellulaire (1)

- **une fois formées, les cellules furent forcées d'élaborer des mécanismes pour obtenir de l'énergie**

- **les cellules utilisent l'ATP comme source d'énergie**

- **chronologiquement, il y a eu apparition successive de trois types de réactions productrices d'énergie (ATP) correspondant à trois étapes du métabolisme cellulaire**

2b. Evolution du métabolisme cellulaire (2)

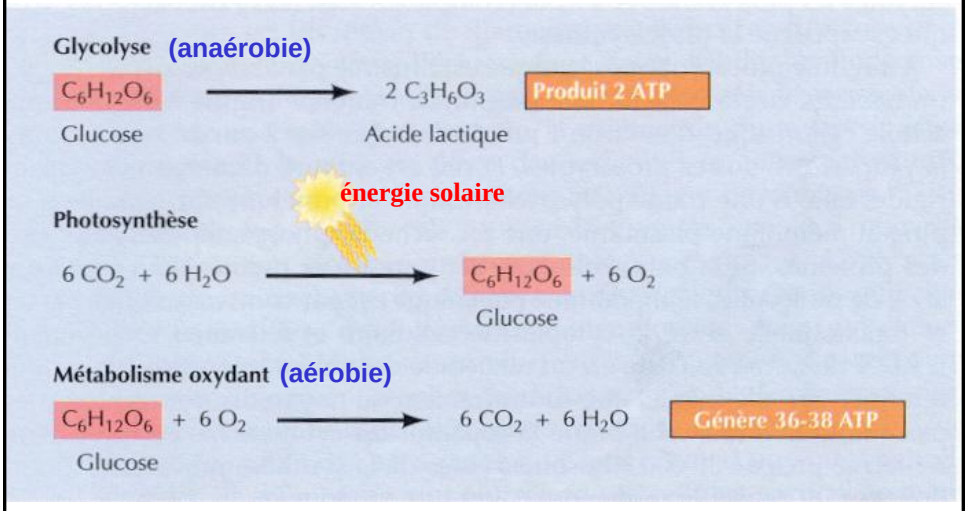
- étape 1 : période anaérobie originelle
  glycolyse (dégradation du glucose en anaérobie)
  faible rendement de production d'ATP mais réaction rapide

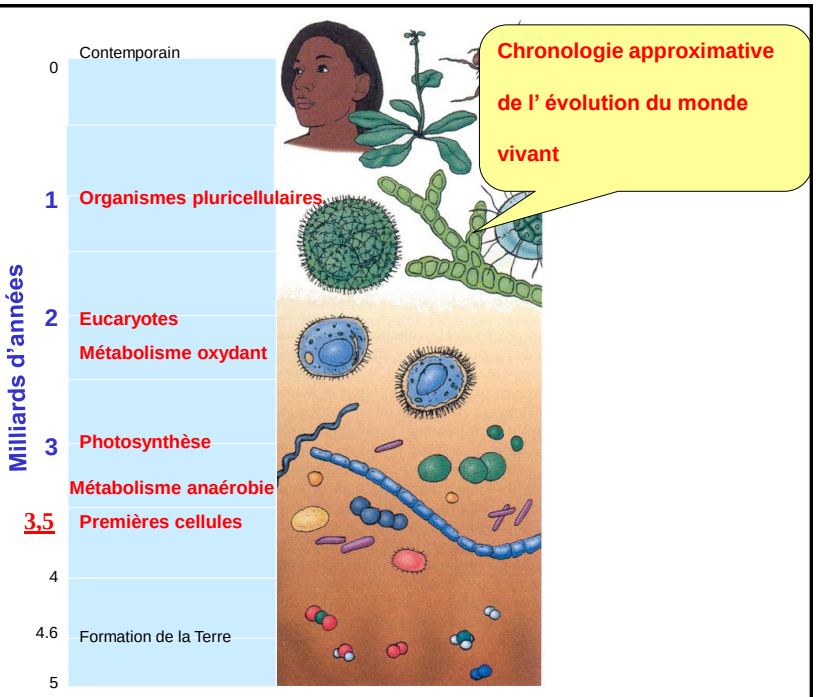
- étape 2 : apparition de la photosynthèse
  captation de l'énergie solaire
  utilisation d'eau pour convertir le CO_2 en
  molécules organiques + oxygène : métabol. aérobie possible

- étape 3 : métabolisme oxydatif (utilisation oxygène)
  très efficace pour production d'ATP
  phosphorylation oxydative (dans mitochondrie)
  bon rendement & réaction lente car beaucoup d'étapes

Evolution métabolique : trois étapes

vie anaréobie ► photosynthèse ► vie aérobie





3. Généralités sur l'architecture et les fonctions cellulaires

3a. Les cellules procaryotes

- définies par absence de noyau (génome non délimité par mb nucléaire)

- prototype : les bactéries (type : *Escherichia coli*)

- taille de l'ordre du micron (1 µm = 10^{-6} mètre)

- cytoplasme limité par membrane plasmique (éventuellement doublée par paroi riche en lipopolysaccharides et comportant des perméases appelées porines)

- ni système endomembranaire, ni mitochondrie, ni peroxysome mais ribosomes donnant au cytoplasme un aspect granuleux

- génome : - une seule molécule d'ADN (circulaire double brin) = nucléoïde
  - liée à invagination de la membrane plasmique chez *E. coli* et eubactéries aérobies = mésosome
  - taille : ~ quelques millions de pb (*E. coli* : ~ 4,6 millions pb)

- souvent, présence de plasmides (petits ADN circulaires de quelques milliers de paires de bases portant qq gènes ex. : de résistance)

- division très rapide (20 minutes) par scissiparité/fissiparité en conditions de croissance favorables (► 2^n n=nombre de générations) (en 200 min = 3h20 ► 2^{10} = 1024 ~ 10^3) ⇨rapidité des infections bact.

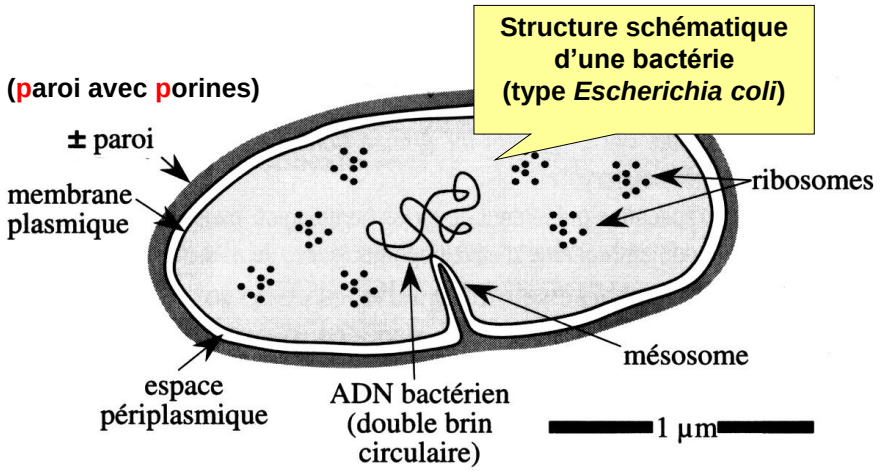
- capables de vivre dans des habitats très variés

- métabolisme aérobie ou anaérobie

- anciennement, subdivision en eubactéries et archaebactéries « extrémophiles » (températures et pressions élevées…)

- mais des études moléculaires ont montré que les Archae forment un troisième domaine du vivant (distinct bactéries et eucaryotes)

- beaucoup d'espèces bactériennes sont pathogènes mais d'autres sont essentielles à la vie des êtres pluricellulaires (bact. du tube dig.)

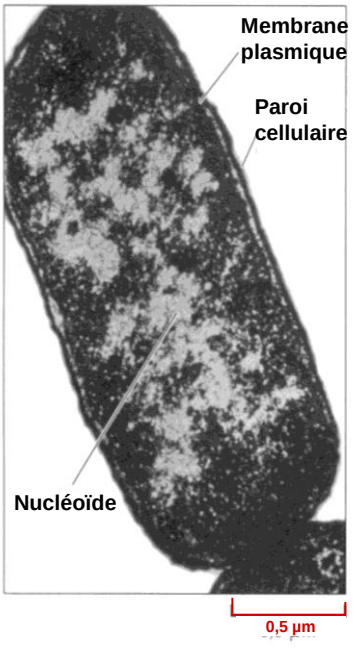


Cellules procaryotes : bactéries

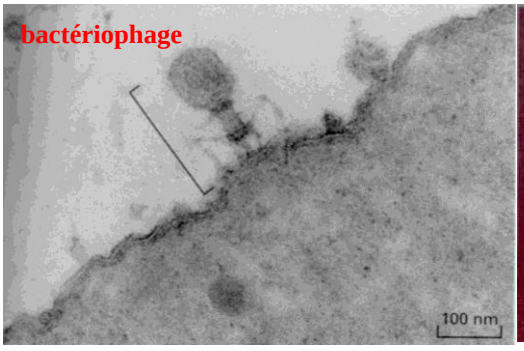
bactérie type :
Escherichia Coli (*E. coli*)

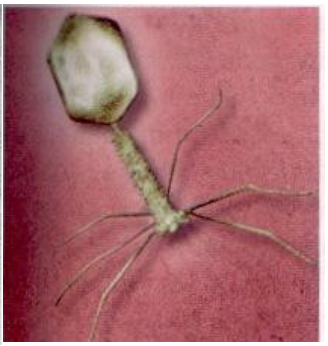
(micrographie électronique)

Nucléoïde = ADN



Aux frontières de la vie : les virus (~100 nm)





Parasitisme d'une cellule-hôte obligatoire (bactérie ou cell. eucaryote) :

- **pas de reproduction à l'état isolé** (dépend cellule hôte)
- **pas de métabolisme propre** (dépend de celui de la cellule hôte)
- **contiennent un seul type d'acide nucléique (ADN ou ARN)**
- **exemple de virus à ARN : les rétrovirus (ex: le VIH) ou encore les coronavirus…**
- **transfert du génome viral d'une cellule à une autre**
  (virus « désactivés » ► vecteurs pour transfert de gènes : thérapie génique)
- **responsables de nombreuses maladies : grippes, hépatites, SIDA, COVID-19…**
- **existence de virus de virus** (« virophages » comme Sputnik 1 & 2, Didier Raoult)**…**

3b. Généralités sur l'architecture et les fonctions de la cellule eucaryote animale

3b1. Cellule eucaryote : organisation générale

- entité séparée du milieu extracellulaire par membrane plasmique (bicouche lip.)

- comportant deux compartiments : noyau et cytoplasme

- noyau : délimité par enveloppe nucléaire (= double bicouche lipidique)
  renferme l'ADN où est stockée l'information génétique
  communique avec le cytoplasme par les pores nucléaires

- cytoplasme comporte le système endomembranaire (SEM) : ensemble de compartiments limités par membrane d'enveloppe et communiquant entre eux par des flux membranaires (vésicules émises et qui fusionnent)

- SEM comporte :
  - réticulum endoplasmique RE
  - appareil de Golgi
  - lysosomes, endosomes
  - enveloppe nucléaire (en continuité avec le RE)

- à noter : l'intérieur du SEM est topologiquement identique à l'extérieur de la cellule

- cytoplasme contient aussi des organites n'appartenant pas au SEM :
  - mitochondries
  - peroxysomes

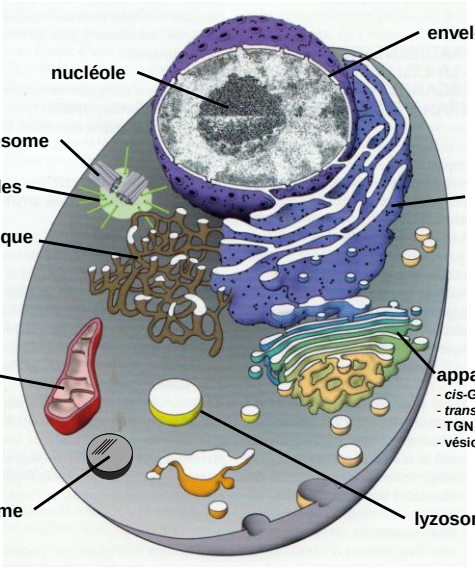
- les éléments du cytoplasme baignent dans le cytosol (gel aqueux)

- la cellule comporte un squelette interne = le cytosquelette :
  - microfilaments d'actine
  - microtubules et centrioles
  - filaments intermédiaires

- la cellule peut posséder des éléments externes mobiles (cils, flagelles)

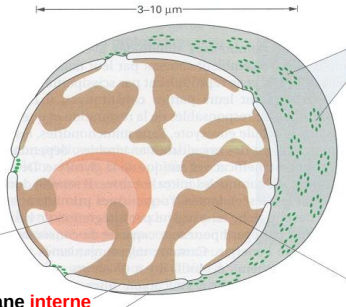
- structure et fonction sont étroitement liées : toute anomalie de l'une compromet l'autre

Organisation générale de la cellule eucaryote



NB : intérieur du SEM = équivalent topologique de l'extérieur de la cellule…

3b2. Généralités sur le noyau



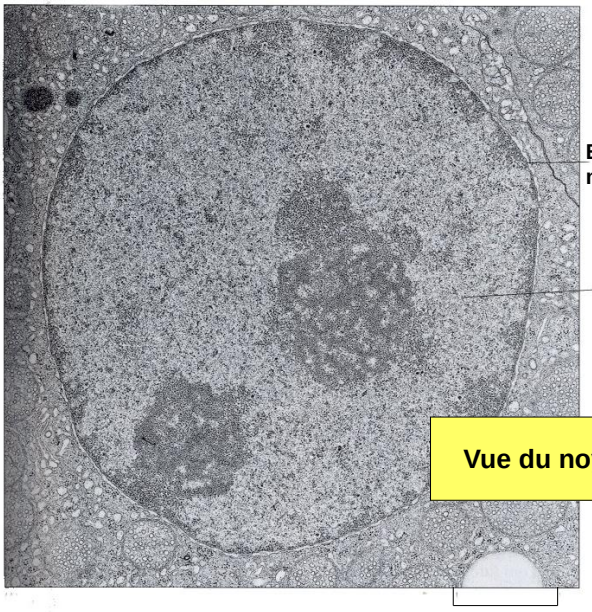
Pores nucléaires

Nucléole : une «usine» à l'intérieur du noyau où sont assemblés les ribosomes de la cellule (synthèse ARN ribosomique

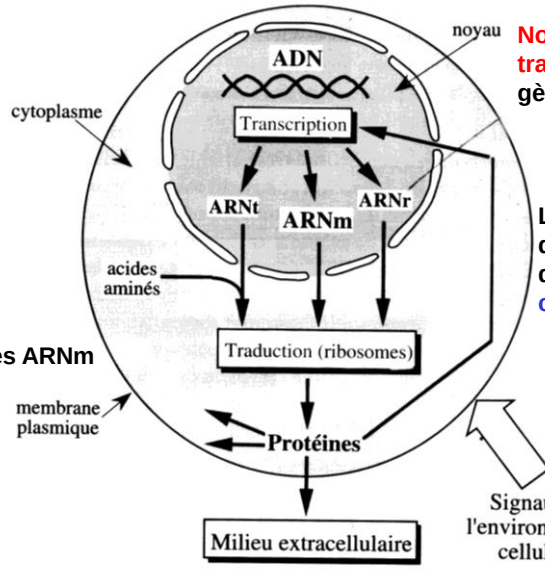
Chromatine

Enveloppe nucléaire (double bicouche lipid.) { **Membrane interne**, **Membrane externe**

- **noyau limité par enveloppe nucléaire double (qui est en continuité avec RE)**
- **Homme : ADN fragmenté en 46 chromosomes (22 paires autosomes + 2 sexuels XX ou XY)**
- **taille du génome humain : ~ 3 milliards de pb (20.000 à 30.000 gènes)**
- **chromatine (noyau interphasique) : hétérochromatine (dense en ME, inactive, périph.)**
  euchromatine (claire en ME, active transcriptionnel.)
- **nucléole : gènes des ARNr et assemblage des ribosomes**
- **pores nucléaires : permettent échanges nucléo-cytoplasmiques**
- **noyau disparaît durant mitose où chromosomes deviennent visibles (ils se condensent)**



Courant informationnel entre noyau et cytoplasme

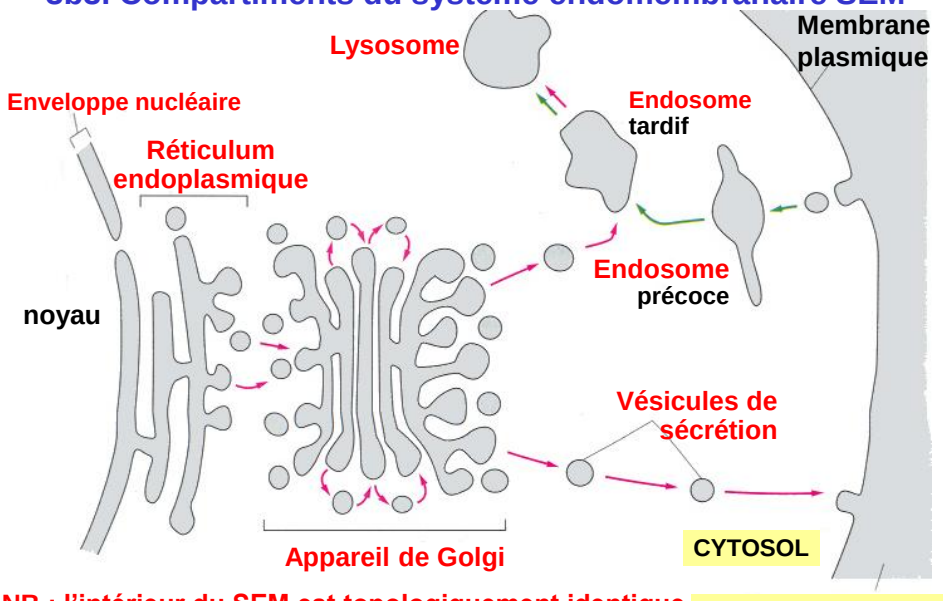


Noyau : transcription des gènes

Les ARN (m, t & r) doivent être exportés du noyau vers le cytoplasme

Cytoplasme : traduction des ARNm en protéines

3b3. Compartiments du système endomembranaire SEM



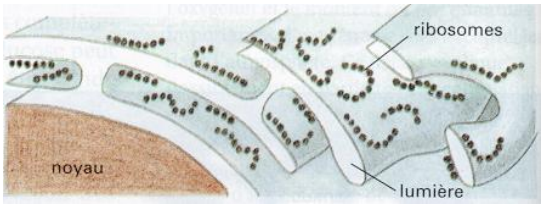
NB : l'intérieur du SEM est topologiquement identique à l'extérieur de la cellule

ESPACE EXTRA-CELLULAIRE

Le RE : notions générales

Réticulum endoplasmique rugueux/granulaire

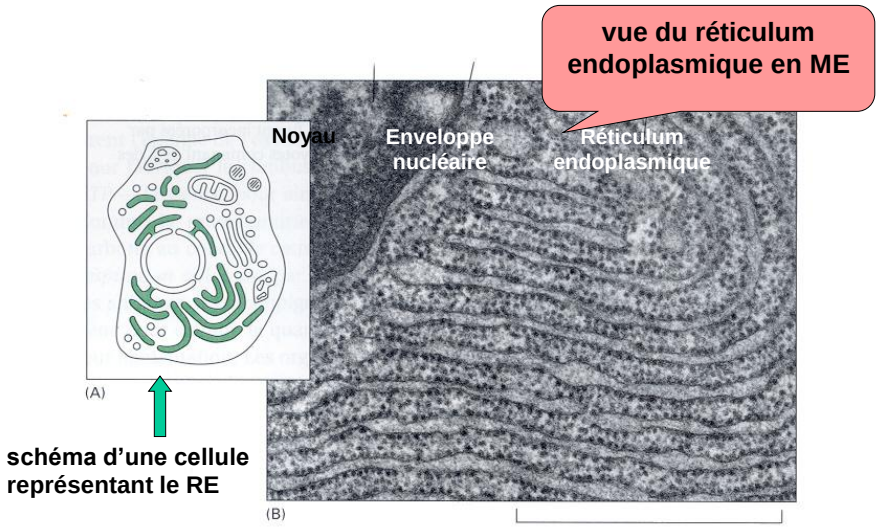
(granulaire = REG)



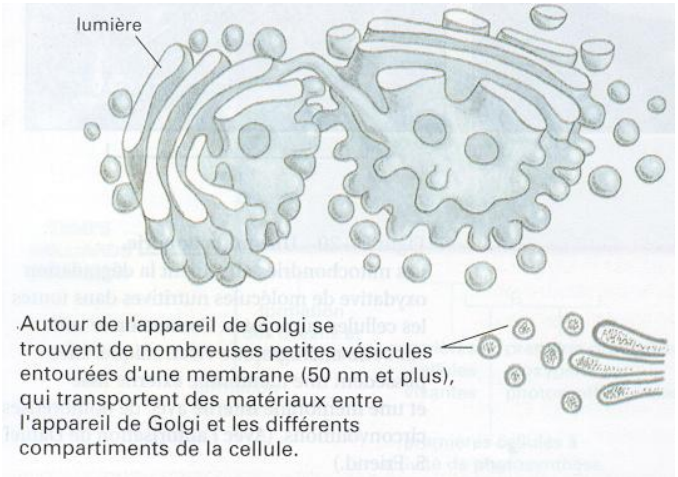
Réticulum endoplasmique lisse

(lisse = REL)

- le RE est en continuité avec enveloppe nucléaire
- face cytosolique de la mb du REG recouverte de ribosomes>aspect rug.
- le REG « collecte » les protéines destinées à mb plasmique ou ext.
- le REL = site privilégié des synthèses Lipidiques (PhosphoLip, Chol)

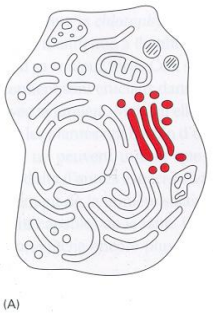


GOLGI : schéma général

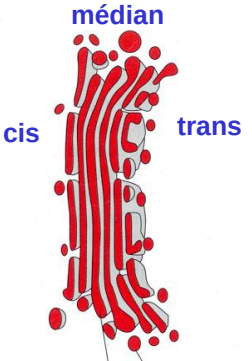


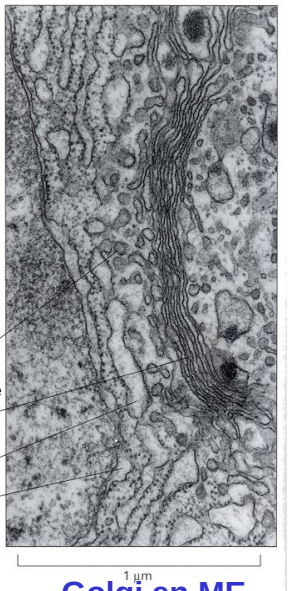
- ensemble de saccules en pile d'assiettes = dictyosome (1 ou plusieurs / cellule)
- un dictyosome comporte 3 régions : *cis*, médiane et *trans*
- *cis*-Golgi du côté du noyau, *trans*-Golgi vers périphérie de la cellule
- site de maturation des protéines (glycoprotéines)

Appareil de Golgi dictyosome



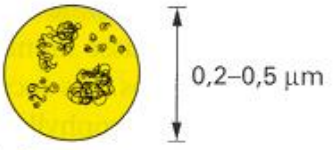
localisation





Golgi en ME

LES LYSOSOMES

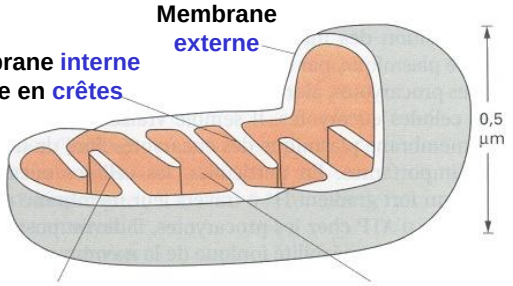


vésicules entourées d'une membrane contenant des enzymes hydrolytiques impliquées dans les digestions intracellulaires

- ensemble polymorphe de vacuoles (intérieur acide pH~5)
- contenant des enzymes lytiques fonctionnant à pH acide (~5)
- formant un véritable « système digestif cellulaire » + recyclage

3b4. LA MITOCHONDRIE : généralités

double-membrane (comme enveloppe nucléaire) **:**

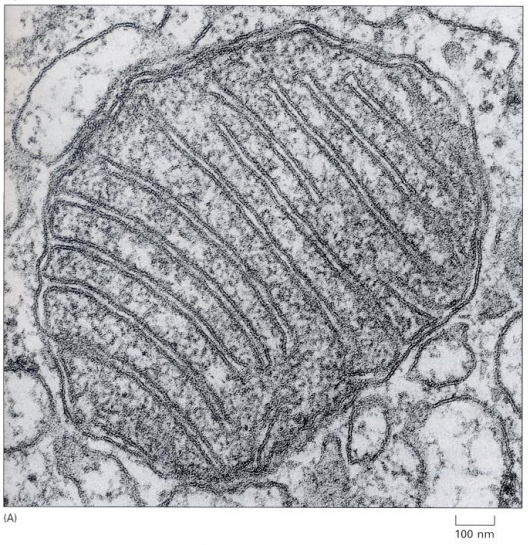


Taille: ~ 1 µ

Les complexes de la chaîne respiratoire sont insérés dans la membrane interne

La matrice mitochondriale contient de très nombreux systèmes enzymatiques

- **chondriome = ensemble des mitochondries d'une cellule**
- **ne fait pas partie du SEM (tout comme les peroxysomes)**
- **site de la phosphorylation oxydative ►production d'ATP (source/réserve d'énergie)**
- **véritable « centrale énergétique » de la cellule**
- **génome propre et reproduction propre à partir de mitochondries préexistantes**
- **aussi rôle majeur dans apoptose (mort cellulaire programmée)**



mitochondrie vue en ME

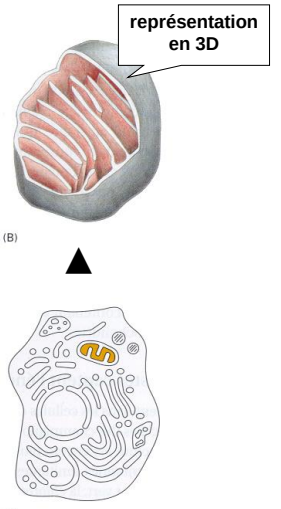
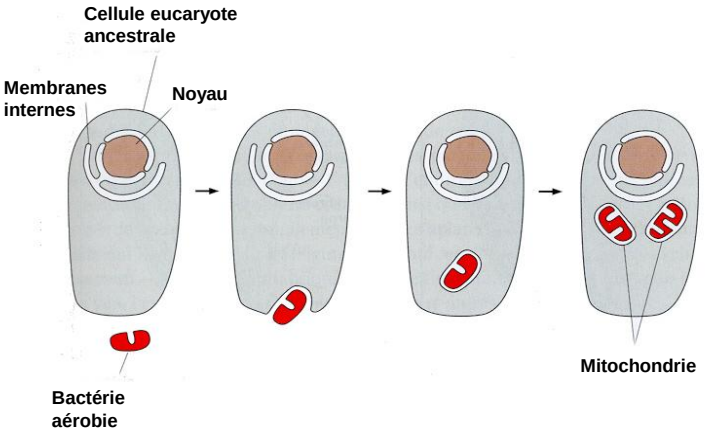


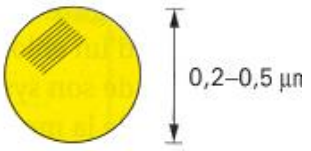
Schéma d'une cellule avec mitochondrie colorée

Origine des mitochondries : théorie endosymbiotique



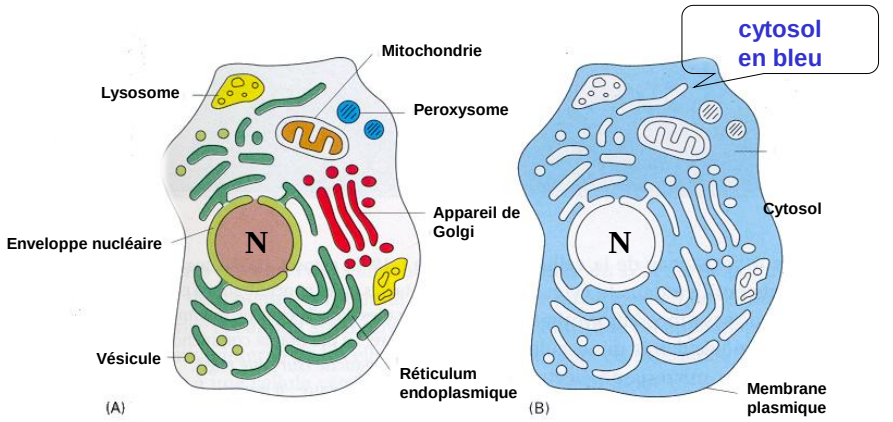
- mt ont ressemblance avec bactéries (ADN propre, circulaire)
- ► origine : bactérie aérobie incorporée dans cellule ancestrale et qui y a survécu en association endosymbiotique avec transfert progressif de ses gènes dans le génome de la cellule hôte

3b5. Les peroxysomes



- organites ovoïde ou sphériques délimités par une seule membrane d'enveloppe (0.2-0.5 µm)
- contiennent des inclusions pseudo-cristallines (qui contiennent des enzymes oxydatives)
- ne font pas partie du SEM (tout comme les mitochondries)
- siège de réactions d'oxydoréduction et de détoxification des métabolites cellulaires :
  - les oxydases dégradent les métabolites avec production d'eau oxygénée H_2O_2 (β-oxydation des acides gras à longues chaînes → courtes chaînes → mitochondrie où fin de dégradation),
  - la catalase (enzyme caractéristique) utilise peroxyde d'hydrogène H_2O_2 pour oxyder d'autres molécules, notamment à des fins de détoxification (au niveau foie, rein)
    (ex: transformation de l'éthanol en acétaldéhyde -intermédiaire toxique- par hépatocytes du foie : $CH_3CH_2OH + H_2O_2 \rightarrow CH_3CHO + 2\ H_2O$)
    accumulation acetaldéhyde > »gueule de bois», métabolisé ensuite en acétate (non toxique)

3b6. le cytosol



- gel aqueux (pH ~7, viscosité variable, équivalente à celle du blanc d'œuf cru)
- dans lequel baignent organites, ribosomes, mitochondries, cytosquelette…
- siège de très nombreuses réactions biochimiques
- en particulier, lieu de début de toutes les synthèses protéiques
  (sauf pour les quelques protéines mitochondriales codées par génome mitochondrial)
- carrefour métabolique (anabolisme = synthèse, catabolisme = dégradation)

3b7. Le cytosquelette CSq

- ensemble d'édifices macromoléculaires

- structures à la fois stables et dynamiques («musculature cellulaire»)

- constitué de trois familles de protéines organisées en polymères fibreux :
  - actine ► microfilaments MF
  - tubuline ► microtubules MT (tubes creux)
  - protéines diverses (lamines…) ► filaments intermédiaires FI

- le centrosome comprend 2 centrioles formés par une association stable de microtubules MT

- le centrosome intervient lors de la mitose (formation du fuseau, déplacement des chromosomes)

- cils et flagelles de certains types cellulaires sont aussi des structures stables de microtubules MT

- microfilaments MF forment le cytoquelette des microvillosités

Cytosquelette : 3 types de fibres

diamètres :

1.- Microtubules MT (tubuline)

25 nm

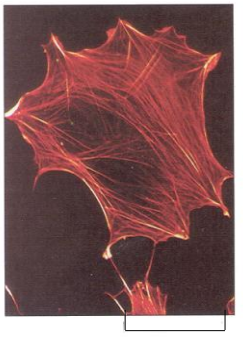
2.- Microfilaments MF (actine)

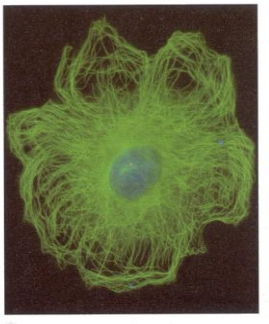
5 - 8 nm

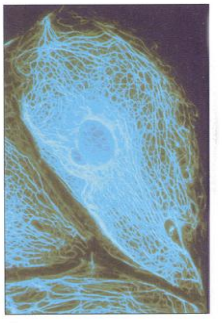
3.- Filaments intermédiaires FI

8 - 10 nm

Divers types de filaments du cytosquelette révélés avec des colorants fluorescents différents



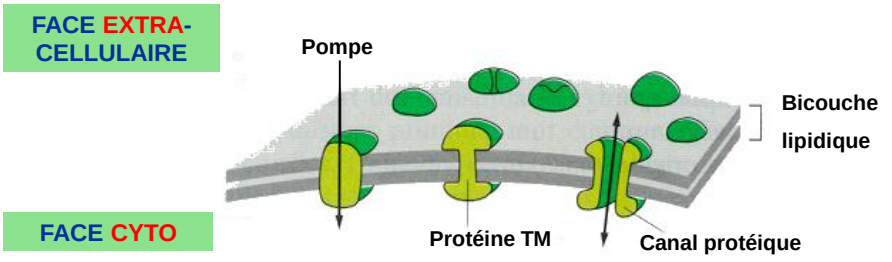




Microfilaments MF | **Microtubules MT** | **Filaments intermédiaires FI**

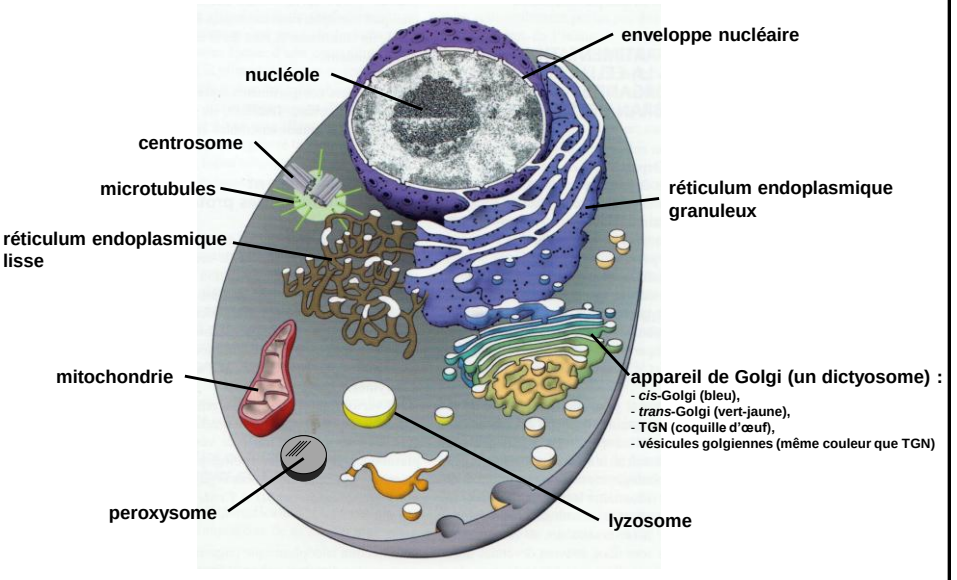
Cytosquelette = « musculature » des cellules

3b8. La Membrane Plasmique



- bicouche lipidique + protéines + glycocalyx (couche de polysaccharides liée de façon covalente aux lipides et aux protéines de la face externe)
- frontière séparant les milieux extra et intracellulaires (différents)
- aussi lieu d'interaction :
  - adhérence (aux cellules voisines, à MEC)
  - transduction de signaux
  - phénomènes de transport de matériel

Organisation générale de la cellule eucaryote



NB : intérieur du SEM = équivalent topologique de l'extérieur de la cellule…

4. Vie et mort des cellules eucaryotes

4a. Notions sur le cycle cellulaire

- la vie de la plupart des cellules se déroule selon un mode cyclique : le cycle cellulaire qui permet la genèse de nouvelles cellules et donc le développement & la propagation de la vie

- le cycle cellulaire comporte 4 phases : G1, S, G2 et M

- la durée du cycle varie suivant les types de cellules

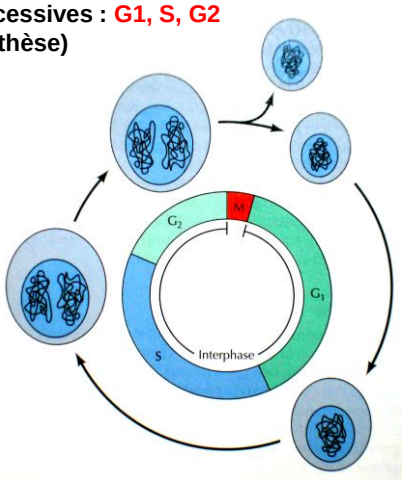
- la progression du cycle est étroitement contrôlée

4a1. Cycle cellulaire : les diverses phases

- alternance de mitoses et de phases intermitotiques « interphases »

- mitose : phase M où division en 2 cellules-filles

- interphase subdivisée en 3 phases successives : G1, S, G2
  (G = Gap = intervalle ; S = Synthèse)



- caractéristiques de la phase G1 :
  - pas de synthèse d'ADN nucléaire
  - transcription et traduction très actives
  - phase de croissance et de différenciation cellulaires

- caractéristiques de la phase S :
  - réplication (doublement) de l'ADN nucléaire
  - transcription et traduction actives (transcription ailleurs que zones en cours de réplication)

- caractéristiques de la phase G2 :
  - quantité d'ADN nucléaire constante (double de celle de G1)
  - transcription et traduction actives

- caractéristiques de la phase M :
  - division cellulaire aboutissant à 2 cellules-filles
  - condensation et séparation des chromosomes
  - division du noyau suivie par division cytoplasme (cytodiérèse/cytokinèse)
  - pas de transcription
  - traduction très peu active

4b. Mort cellulaire : modalités

deux modalités de mort cellulaire différentes :

- **mort cellulaire programmée (MCP) = apoptose (**pas d'inflammation**)**

- **mort cellulaire accidentelle = nécrose (**inflammation**)**

5. Systèmes cellulaires expérimentaux modèles

5a. Unité et diversité des cellules

- toutes les cellules actuelles proviennent apparemment d'un ancêtre commun

- les cellules ont donc toutes une (bio)chimie de base semblable

- les propriétés fondamentales de la cellule sont conservées durant l'évolution

- il est donc permis d'extrapoler chez l'Homme (dans une certaine mesure) les observations faites avec un type cellulaire donné

- mais les cellules contemporaines sont aussi très différentes les unes des autres dans leur aspect et leurs fonctions

- il est donc souhaitable d'expérimenter avec le type cellulaire le plus facile à utiliser et qui est adéquat pour la question posée

5b. Exemples de systèmes cellulaires modèles

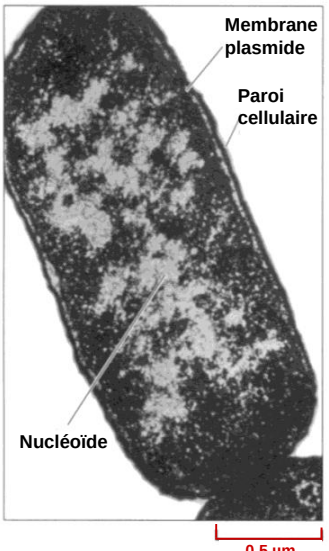
- la bactérie *Escherichia coli* (*E. coli*) est très étudiée par les biologistes moléculaires

- la levure de bière *Saccharomyces cerevisiae* est une cellule eucaryote simple également très étudiée

- le monde animal est représenté par :
  - le nématode *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*)
  - la mouche *Drosophila melanogaster* (drosophile)
  - la grenouille *Xenopus laevis* (xénope)
  - la souris *Mus musculus*
  - et l' Homme *Homo sapiens*
    (recherche clinique, ~ 10^{13} cellules, génome ~ $3.\ 10^{9}$ pb)

Escherichia coli

- bactérie Gram négative (car possède paroi)
- procaryote
- petite cellule « simple »
- poids sec : 3.10^{-13} g
- hôte normal intestins Homme
  (chez Homme : 1 à 3 kg, ~ 10^{16}
  ~ mille fois plus que cellules humaines!)
- reproduction très rapide (20 min)
  par scissiparité/fissiparité
- taille génome : ~ 4,6 millions pb
  (4.639.221 pb)
- nombreux mutants
- modèle pour études moléculaires
  des mécanismes de base de la vie
  (métabolisme, réplication de l'ADN…)



(MET)

Saccharomyces cerevisiae

- levure de bière / boulanger
- champignon unicellulaire
- eucaryote simple et robuste
- reproduction rapide (~ 2 h) par bourgeonnement
- taille génome : ~ 13 millions pb
  (13.117.000 pb)
  ~ 3 fois le génome d' *E. Coli*
- nombreux mutants
- modèle pour mécanismes de base des cell. euc.

<u>cycle cellulaire, cancer… :</u>

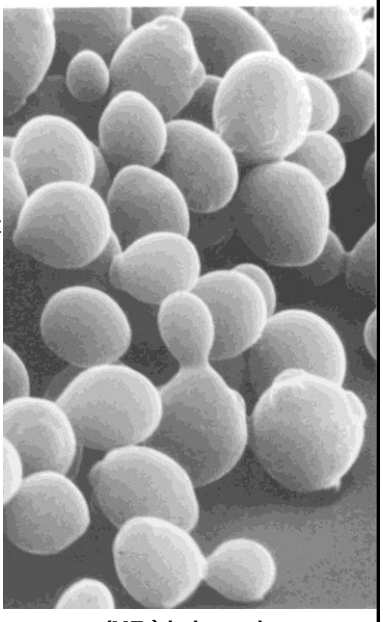
Lee Hartwell & Paul Nurse, Nobel Med 2001

<u>trafic vésiculaire :</u>

Randy Schekman, Nobel Med 2013

<u>autophagie :</u>

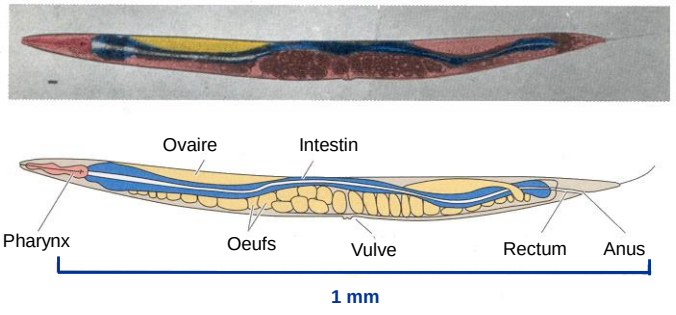
Yoshinori Ohsumi, Nobel Med 2016



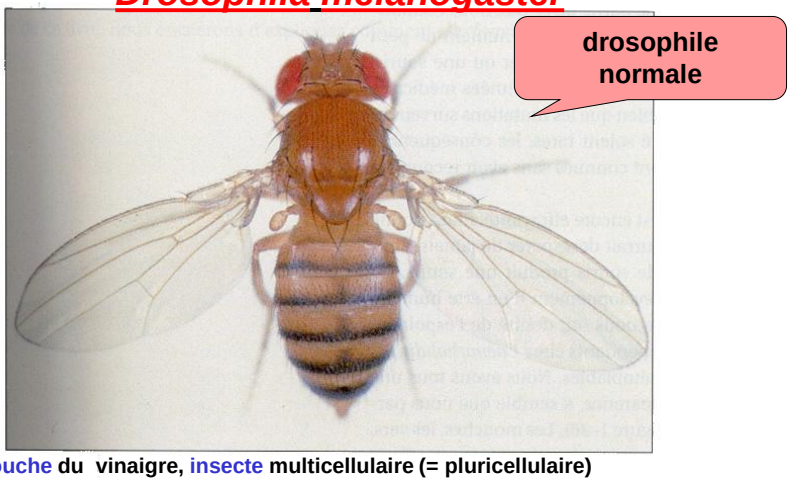
(ME à balayage)

Caenorhabditis elegans

- nématode (petit ver de terre transparent donc observation aisée)
- origine connue pour chacune des 959 cellules somatiques de l'adulte
- taille génome : ~ 100 millions pb
- modèle pour différenciation cellulaire et développement embryonnaire
- le programme de développement comporte la mort programmée de cellules (apoptose) qui a été découverte chez cet organisme

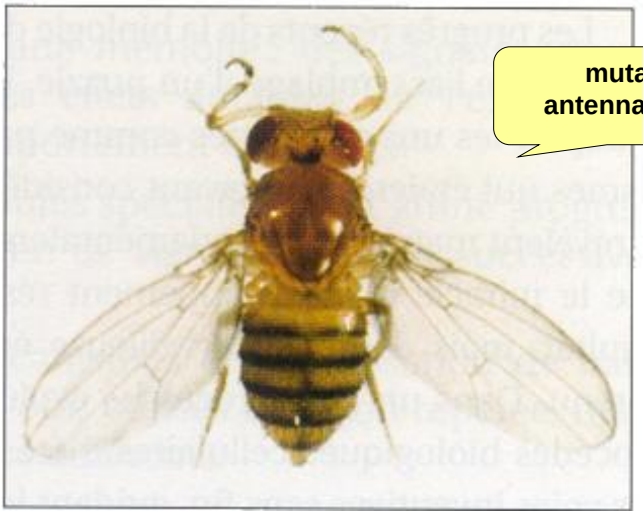


Drosophila melanogaster



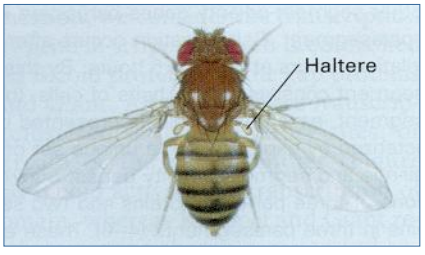
- mouche du vinaigre, insecte multicellulaire (= pluricellulaire)
- reproduction en 2 semaines
- taille génome : ~ 170 millions de pb (~ 1/20 du génome humain)
- modèle pour la génétique moléculaire du développement
- étude gènes de l'organisation des parties du corps (gènes du développement) et découverte de l'immunité innée (J. Hoffmann, Nobel Med 2011)

Drosophila melanogaster

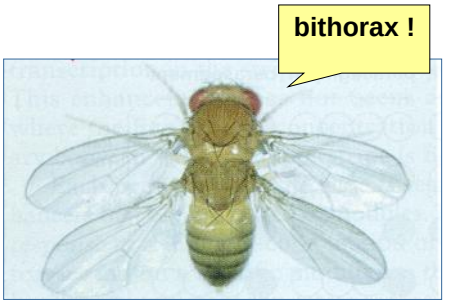


mutant du gène homéotique (Hox) *Antennapedia*
(pattes à la place des antennes)

Drosophila melanogaster



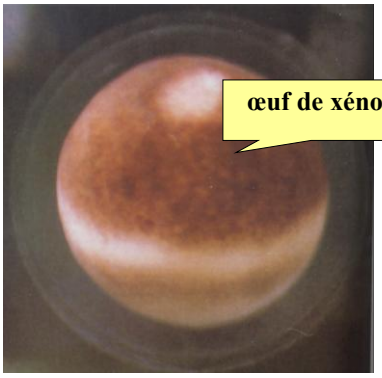
Normal



***Ubx* mutant**

Mutant du gène Hox *Ultrabithorax*

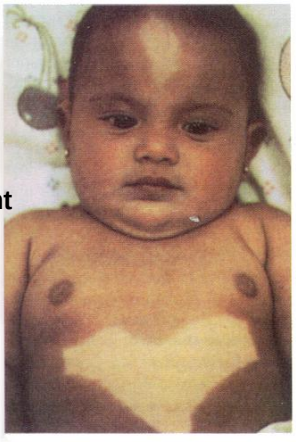
Xenopus laevis



- grenouille (vertébré) : nombreux oeufs très volumineux (près de 1 mm)
- étude de l'embryogenèse très précoce des vertébrés
- mécanismes moléculaires de la différenciation et division des cellules embryonnaires (cycle cellulaire)

Mus musculus

albinisme partiel
(mutation du gène *kit* du développement des mélanocytes)



- souris = mammifère très étudié en génétique moléculaire
- modèle pour développement (SNC, système immunitaire, cancer)
- souris transgéniques « KI » (gène en plus), souris « KO » (gène invalidé)
- nombreux modèles de maladies humaines utilisés pour mise au point de thérapies innovantes (thérapie cellulaire, thérapie génique)