

BIOLOGIE

Chapitre 12: ORGANISATION DES CELLULES PROCARYOTES

A- STRUCTURE ET ULTRASTRUCTURE DES EUBACTERIES

1- Généralités

Les eubactéries sont les 'bactéries vraies'. Ce sont les plus connues, elles sont peu spécialisées.

Les cellules procaryotes possèdent leur information génétique sous forme d'une molécule d'ADN qui n'est pas enfermée dans une enveloppe nucléaire, on dit que cette molécule est libre dans la cellule.

Ce type de cellule peut vivre dans le sol ou en milieu aqueux. La plupart des bactéries sont inoffensives, et notamment certaines sont utiles, mais ce sont les bactéries pathogènes que l'on connaît le mieux.

Elles peuvent vivre en milieu aérobie, c'est-à-dire en présence d'Oxygène qu'elles vont utiliser pour fabriquer leur énergie, ou elles peuvent être des organismes anaérobie pour lesquelles l'Oxygène peut parfois être toxique. Ce type d'organisme se développe alors dans des atmosphères riches en méthane, en dioxyde de carbone et dihydrogène.

On distingue les bactéries selon 3 formes très générales visibles en microscopie photonique:

- Sphériques: les *coques* ou *Cocci* (1 micron de diamètre)
 - . Isolées (rare)
 - . Par deux: *diplocoques*
 - . En chaîne: *streptocoques*
 - . En grappe: *staphylocoques*
- En forme de batonnets: *Bacilles* (1 micron de long et jusqu'à 3-4 microns de long)
 - . Tout petits bacilles: *Rickettsies*
 - . Forme de fuseau: *Bacille fusiforme*
 - . Forme ovoïde (entre la coque et le bacille): *Coccobacille*
 - . En colonie: *Bacilles pseudo-ramifiés*
- En forme incurvée ou spiralée (vrillée):
 - . Les *vibrions* (sortes de virgules)
 - . Peu spiralées: les *spirilles*
 - . Un peu plus spiralées: les *tréponèmes*
 - . Spiralées et Incurvées: les *leptospires*

Les bactéries sont en priorité classées en fonction de leur forme qui permet de leur attribuer un nom. Le deuxième critère de classement est établi en fonction de leur réaction à une coloration: elles peuvent être GRAM⁺ ou GRAM⁻. Cette coloration de GRAM permet de différencier les bactéries qui la prennent (violette) et celles qui la prennent mal (plus ou moins rouges).

Globalement en microscopie électronique à transmission, les bactéries possèdent une organisation ultrastructurale toujours la même.

Chez les bactéries, on trouve des éléments *communs*, présents de manière universelle, et *facultatifs* qui ne se présente pas dans 100% des bactéries, mais tout de même assez fréquemment.

2- Le Plasmalemme (élément commun)

On l'appelle aussi membrane plasmique, mais pas cytoplasmique étant donné que la notion de cytoplasme n'a pas vraiment de valeur chez les cellules procaryotes.

Le plasmalemme possède une architecture moléculaire identique à toutes les membranes biologiques (double couche, présence de lipides, protéines, etc..)

La principale différence se fait notamment au niveau de la qualité des lipides: en effet, on trouve souvent des lipides à chaîne droite non-ramifiée dans lesquelles les alcools et les acides gras sont des molécules très linéaires.

On ne trouve jamais de cholestérol dans les membranes biologiques des cellules procaryotes.

Beaucoup de protéines sont des enzymes qui interviennent dans la synthèse d'autres constituants, comme la paroi. Il existe également des transporteurs d'électrons permettant la respiration des bactéries et donc la fabrication d'ATP. Dans les organismes procaryotes aérobies, ce type de protéines sont assimilables aux protéines de la membrane interne des mitochondries.

Une des caractéristique du plasmalemme des bactéries est qu'il ne se déforme pas. Il n'existe donc pas d'échanges cytotiques avec déformation membranaire, mais seulement des échanges de type perméatifs:

- Il existe de nombreux transporteurs de molécules
- Les phénomènes d'endocytose, pinocytose et phagocytose ne se font pas pour capturer et digérer les éléments externes. La bactérie doit donc trouver ses nutriments sous forme de très petites molécules pour pouvoir les faire traverser par les canaux transmembranaires du plasmalemme.

La seule digestion possible qu'une bactérie peut réaliser est une digestion extracellulaire qui se fait grâce à l'expulsion d'enzymes dans le milieu extracellulaire afin que les substrats soient coupés en monomères qui pourront rentrer par les systèmes perméatifs. On parle alors d'*exoenzymes*.

3- Paroi (élément commun)

La paroi est une structure périphérique de la cellule qui borde le plasmalemme du côté extracellulaire. Elle est assez rigide et possède une constitution essentiellement glucidique et un peu peptidique. Elle est constituée notamment de *peptidoglycane* ou *muréine* qui est encore appelé *mucocomplexe*.

Ce mucocomplexe est fait de sucres aminés (N-acethyl-glucosamine ou NAG et acide N-acethyl-muramique ou ANAM).

Ils se polymérisent alternativement en mucocomplexes associés entre eux par des peptides entre les ANAM des complexes parallèles.

On retrouve la même architecture pour toutes les bactéries. La paroi est génétiquement différente à cause des séquences peptidiques différentes, dépendante de l'information génétique de la bactérie.

Le fait qu'une bactérie soit GRAM⁺ ou GRAM⁻ vient de son organisation de sa paroi.

Les GRAM⁻ possèdent un peu comme une deuxième membrane faite d'une double couche lipidique et de protéines, mais qui n'est pas homologue exactement à une membrane biologique, notamment concernant son aspect fonctionnel. C'est la présence de cette deuxième membrane qui bloque le passage de la coloration.

Dans les deux cas, les bactéries possèdent une autre couche de glycoprotéines appelée *S Layer*.

4- Capsule ou Glycocalyx (élément facultatif)

Elle est de nature glycoprotéique. Elle est riche en polysaccharides notamment. Elle correspond à une hypertrophie de la couche S (*S Layer*) c'est-à-dire qu'il y en a plusieurs couches au lieu d'une seule.

La présence et la nature de cette capsule est génétiquement déterminée par l'ADN des bactéries étant donné qu'elle est faite avec des protéines.

Lorsque dans une même espèce bactérienne, il existe des souches inoffensives et des souches pathogènes, les pathogènes possèdent une capsule, alors que les inoffensives n'en ont pas. La virulence d'une bactérie peut provenir de la présence d'une capsule dans une population de bactéries d'une même espèce.

5- Mésosomes (élément facultatif)

Les mésosomes sont des invaginations du plasmalemme des bactéries (il semble plus fréquent chez les bactéries GRAM⁺).

Chez les bactéries aérobies, il semble que les enzymes transporteurs d'électrons se trouvent préférentiellement au niveau de ces mésosomes.

Des cytologistes pensent que ces sont des zones du plasmalemme plus fragiles qui donnent cette apparence après la fixation des échantillons pour les observations, mais que dans la matière vivante, ces structures n'existent pas.

6- Les Poils ou Pili bactériens - Fimbrine (élément facultatif)

Ce sont de très petites extensions rigides du plasmalemme à extrémité adhésive. Ils peuvent se trouver en très grand nombre.

Ils sont sous-tendus par la polymérisation d'une seule protéine, la *piline*.

Certains ont un rôle privilégié: ce sont les pili sexuels qui sont plus longs et moins nombreux: de l'ordre d'une dizaine au plus.

7- Flagelles (élément facultatifs)

Ils permettent, chez certaines bactéries leur déplacement.

Ce sont des structures plus longues que la bactérie (15 à 20 microns).

Ils n'ont aucun rapport avec les flagelles et les cils des cellules eucaryotes car ils ne présentent pas de structure microtubulaire. Leur organisation est très simple: ils sont constitués d'une seule protéine, la *flagelline*.

Ils prennent naissance au niveau d'un corps basal de type différent du cinétosome des cellules eucaryotes.

Ils s'agit d'une structure très complexes constituée de plusieurs protéines présentant un système de rotor avec un mouvement transmis au flagelle. Ce mouvement a donc une origine intracellulaire, comme il dépend du corps basal.

8- Chromatophores (élément facultatif)

Le schromatophores correspondent à peu près à des lamelles dans la substance fondamentale de certaines bactéries, les bactéries photosynthétiques.

9- Hyaloplasme (élément commun)

La substance fondamentale des cellules procaryotes est assez classique. On y trouve en revanche aucun organite limité par une membrane biologique, sauf les chromatophores, encore qu'ils ne soient pas exactement des organites.

Dans le hyaloplasme se trouvent des ribosomes (70S) qui sont assez fréquemment associés en *polysomes*. Cet structure traduit un état fonctionnel: ils sont tous accrochés à une molécule d'ARN effectuant sa traduction.

On peut encore distinguer des enzymes, dont certaines sont des exoenzymes permettant la digestion extracellulaire pour fabriquer des nutriments.

Enfin, on trouve des inclusions organiques, surtout de glycogène, et des inclusions minérales, surtout du Soufre qui peuvent sembler entourées d'une membrane, mais de type biologique beaucoup plus petit que les membranes biologiques traditionnelles (20-40 Å) et qui ne comportent qu'une seule couche lipidique plus quelques protéines. On ne les considère donc pas comme des organites.

10- Matériel Génétique (élément commun)

Il se trouve dans un territoire hyaloplasmique avec une structure fibreuse appelé *nucléoïde* qui est l'emplacement du grand chromosome (molécule d'ADN bicaténaire circulaire).

Il n'y a qu'un seul grand chromosomes par bactérie, mais il peut atteindre jusqu'à 1mm de long. Son épaisseur est moindre que la fibre chromatinnienne des cellules eucaryotes (20nm).

Une région de cette molécule est rattachée au plasmalemme au niveau des mésosomes.

L'ADN est dit *nu* car il n'y a pas dans sa structure de nucléosomes. En revanche, il comporte des protéines associées. Parmi ces protéines il y en a des basiques mais qui sont différentes des histomes: chez les cholibacilles, il en existe au moins 5 majeures différentes qui peuvent être des protéines équivalentes aux histomes, mais qui sont différentes:

- H₄ équivalente de la H₂B des eucaryotes,
- H équivalente à H₂A,
- H₁ équivalente de H₁ (mais toujours différente),
- HLP₁

- P équivalente de la protamine chez l'ADN des spermatozoïdes chez les mammifères notamment.

Le matériel génétique est également constitué de mini chromosomes. Ce sont des molécules d'ADN bicaténaire circulaires que l'on appelle aussi des *Plasmides*. Ces plasmides ne sont pas des petits morceaux du grand chromosome mais bien des chromosomes à part. Il peut y en avoir jusqu'à une dizaine dont plusieurs exemplaires de chaque. Leur duplication est indépendante de celle du grand chromosome.

Certains sont capables de s'intégrer dans le grand chromosome et d'en sortir selon un processus d'*intégration* et d'*excision*.

Ces plasmides particuliers sont appelés *épisomes* dont un en particulier qui confère le sexe aux bactéries: l'*épisode F*.

B- LA DUPLICATION DES BACTERIES

La division des bactéries est réglée par la présence ou non de nutriments ainsi que de la température.

Elle commence par la duplication du grand chromosome ainsi que des plasmides.

Le grand chromosome ne peut commencer sa duplication qu'en un seul point appelé *point d'initiation* qui est un point de contact avec le plasmalemme. En ce point se trouve un complexe multienzymatique avec des enzymes de duplication qui permettent une duplication bidirectionnelle.

Ce processus est très compliqué à réaliser étant donné que les deux hélices sont enroulées l'une autour de l'autre. Pour éviter les noeuds, il est impératif qu'il se fasse des coupures et des soudures régulièrement.

La duplication du grand chromosome est très rapide: de l'ordre de 2000 nucléotides à la seconde. Ainsi pour une molécule d'1mm, il faut entre 20 et 30 minutes.

Ensuite, le cytoplasme doit se couper pour donner les deux cellules filles.

Ce processus consiste en un étranglement au centre de la bactérie qui ne fait pas intervenir d'éléments cytosquelettiques, mais qui se fait grâce à une croissance membranaire de la partie équatoriale suivie d'une invagination. Ces langues internes de plasmalemme se soudent entre elles par diamètres pour former les deux membranes cellulaires des deux nouvelles cellules.

Chez les bactéries, on observe une particularité physiologique: il y a toujours fabrication des $ARN_{(t,r,m)}$: mais les ARN_m qui sont codés par des gènes sont traduits immédiatement pendant sa fabrication. Les ribosomes viennent s'accrocher pendant sa transcription. On parle de *transcription et de traduction simultanée*.

C- MYCOPLASMES

Les mycoplasmes sont de minuscules bactéries que l'on estime être la plus petite organisation cellulaire qui puisse exister étant donné que le volume minimum nécessaire à un organisme pour réaliser le minimum de réactions métaboliques et se diviser est environ le volume de ces organismes, les mycoplasmes.

Ils ont la forme de petites sphères limitées par une membrane biologique de 0.10 à 0.25 microns de diamètre.

Dans la substance fondamentale on trouve une molécule d'ADN.

On dit de ces organismes que ce sont les plus petites particules vivantes qui existent et qui ont existé. La vie aurait donc trouvé son origine dans ce type de cellules.

Ces cellules sont immobiles car elles ne possèdent pas d'organe locomoteur, mais elles sont très déformable car leur paroi est très mince. Parfois même, ces cellules ne présentent pas de paroi.

Les mycoplasmes vivent en milieu anaérobie, mais la présence d'oxygène ne leur est pas fatale. On peut les trouver dans le sol, dans l'eau, elles parasitent d'autres cellules.

La plupart sont donc dites pathogènes, ce qui leur vaut leur appellation PPLO (pathogène à l'égard des bovins chez qui elles ont été découvertes provoquant les pleuropneumonies). Les mycoplasmes ressemblent à ce type de cellules pathogènes découvertes chez les bovins.

L'espèce humaine peut également être parasitée par ces bactéries par les voies respiratoires et urogénitales.

Ces cellules contiennent des ribosomes, ainsi qu'une molécule d'ADN avec une particularité: elles ont une constante G.C.

D- LES CYANOBACTERIES

C'est le groupe le plus important des bactéries photosynthétiques (plusieurs milliers d'espèces). On les appelle également *algues bleues* ou *cyanophycées*. En réalité le terme d'algue correspond à un type de cellules eucaryotes. Elles vivent le plus souvent en colonies, dans les milieux aquatiques naturels et mesurent environ 3-4 micron de diamètre.

Les cellules isolées sont limitées par un plasmalemme, une paroi (complexe glycoprotéique et une enveloppe supplémentaire fibreuse).

Lorsqu'elles vivent en colonie, si chacune reste limitée par son propre plasmalemme, la paroi et l'enveloppe fibreuse entoure la totalité de la colonie bactérienne.

Dans le hyaloplasme, des invaginations du plasmalemme pouvant s'en séparer donnent naissance à des thylakoïdes sous forme d'un système lamellaire interne assez compliqué.

Ces structures possèdent une membrane limitante originale de par la présence de pigments de chlorophylle A ainsi que d'autres pigments dans leur proche environnement.

Ces pigments sont de la famille des *phytobilines* constituant des particules, les *phytobilosomes*, et parmi laquelle on connaît un pigment bleu, la *phytochrome*.

L'information génétique se trouve dans une zone plus ou moins centrale de la cellule; c'est une zone fibreuse appelée *centroplasma*. La molécule d'ADN est une molécule bicaténaire circulaire unique de très grande taille et sans histones mais avec des protéines associées selon le schéma normal des cellules procaryotes.

Ce groupe de bactéries présente la particularité de présenter des inclusions:

- granules (accumulation) de glycoprotéines,
- granules de cyanophicine, qui sont les réserves azotées de la bactérie (accumulation de glycoprotéines riches en Arginine en plus grosse quantité),
- réserves de lipides, de petite taille et en assez grand nombre,
- réserves de phosphate en granules de polyphosphate, de taille équivalente à celle des granules de cyanophicine,
- vésicules gazeuses qui se forment sous la membrane plasmique en structure plus ou moins cylindrique avec une paroi uniquement protéique, et qui peuvent fusionner entre elles pour former des vacuoles gazeuses. Elles permettent à la cellule de flotter dans le milieu liquide où elles vivent.

Les cyanobactéries sont des microorganismes photosynthétiques. Ce processus se réalise dans les thylakoïdes un peu comme chez les cellules eucaryotes photosynthétiques (plantes supérieures).

Un certain nombre de ces bactéries sont toxiques: elles produisent une toxine dangereuse pour de nombreuses espèces y compris l'espèce humaine: le développement de ce type de bactéries dans des endroits où il y a présence d'eau, on parle de problème de santé publique.

E- ARCHAEBACTERIES

Ces bactéries sont très anciennes, et peut être même les premières bactéries.

Elle se distinguent des autres par une constitution chimique de leur paroi différente, et des lipides membranaires également différents.

Leurs ribosomes sont aussi chimiquement différents: ils se rapprochent plus de ceux des eucaryotes. De même pour leur enzymes qui possèdent une composition chimique différente de celles des autres bactéries.

On les classe également dans une catégorie à part à cause de leur mode de vie: elles se développent dans une très grande variété de biotopes, et particulièrement dans les *milieux extrêmes*.

- Bactéries *Méthanogènes*
- Bactéries *Sulfatoréductrices* (dans les sources thermales) qualifiées de thermophyles
- Bactéries *Thermophyles* extrêmes (sources volcaniques au fond des océans)
- Bactéries *Halophiles* qui vivent dans des milieux où la concentration en Sel (NaCl) est proche de la saturation (Marais salants, Mer Morte)