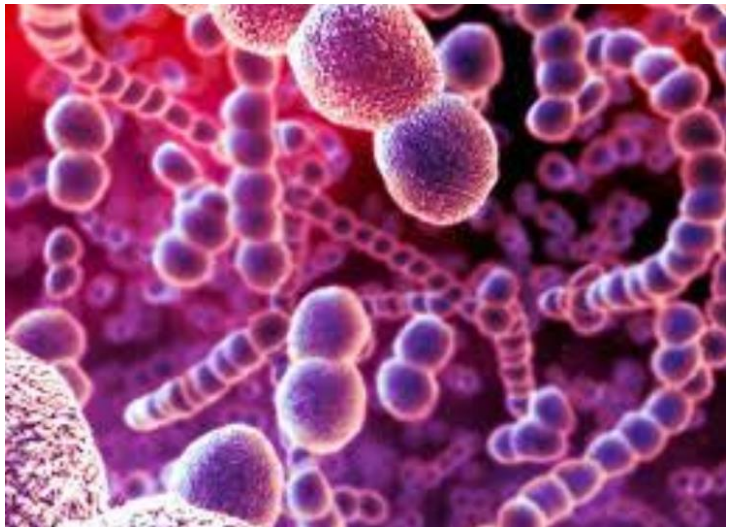
Filière science de la vie (S_3)



Module:

« Microbiologie Générale »



Chapitre II :
Structure de la cellule procaryote

1. -Comparaison cellule eucaryote-cellule procaryote
2. - Structure générale et organisation de la cellule procaryote
3. - Paroi
4. -Membrane cytoplasmique
5. - Flagelle
6. - Pili(commun et sexuel)
7. - Capsule
8. - Endospore

* La membrane cytoplasmique

- Membrane ayant un aspect trilamellaire
- Située sous la paroi, interface entre cytoplasme et structures externes

- Composition

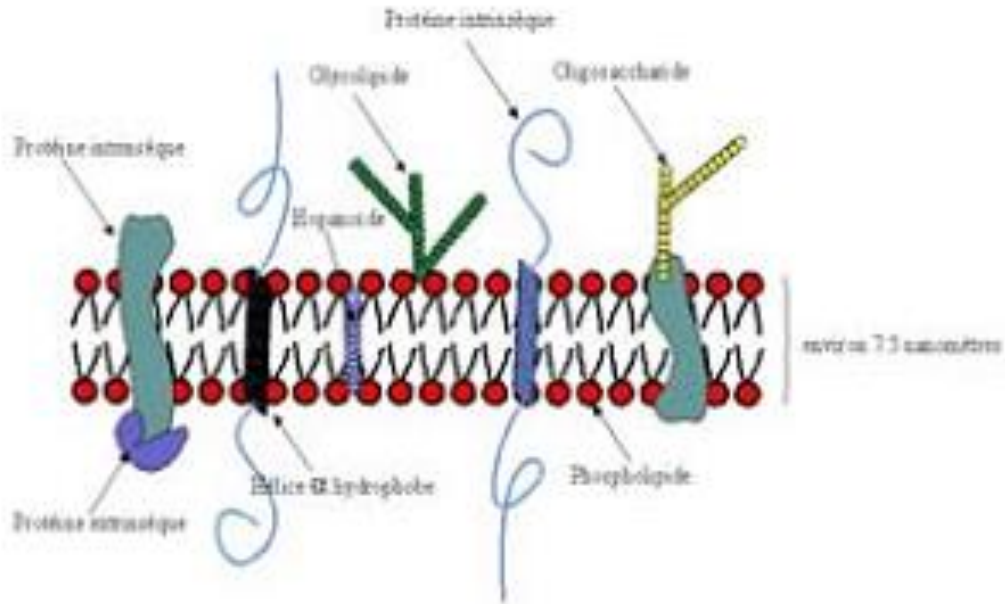
  - Lipides (30 à 40 %)

  - proteines (60 à 70 %)

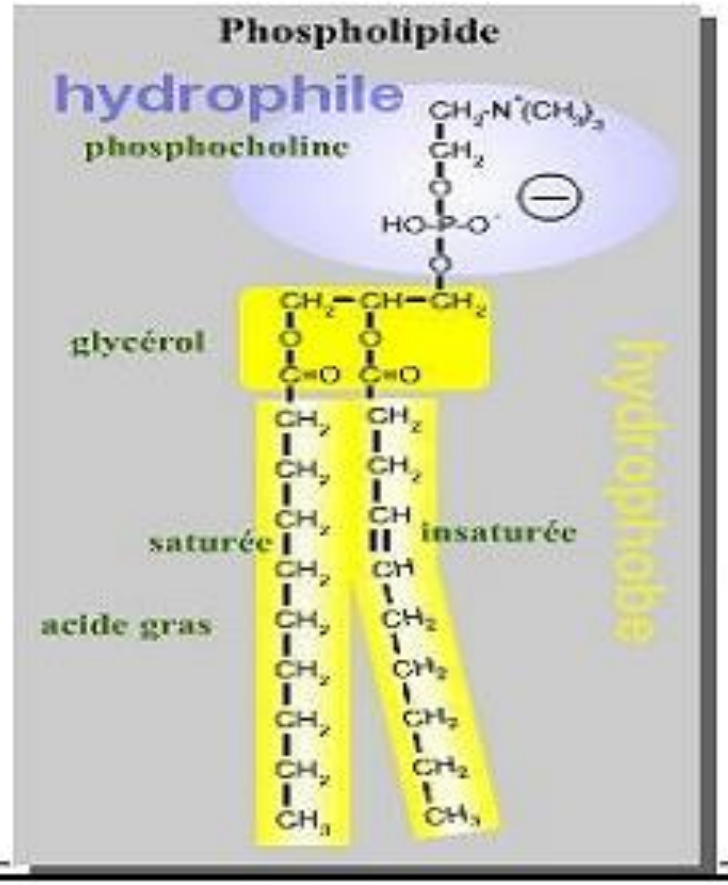
  - Glucides (constituants mineurs, glucose, glucosamine)

Absence de cholestérol = différence avec la cellule eucaryote

Structure de la membrane cytoplasmique



@ Lipides = phospholipides

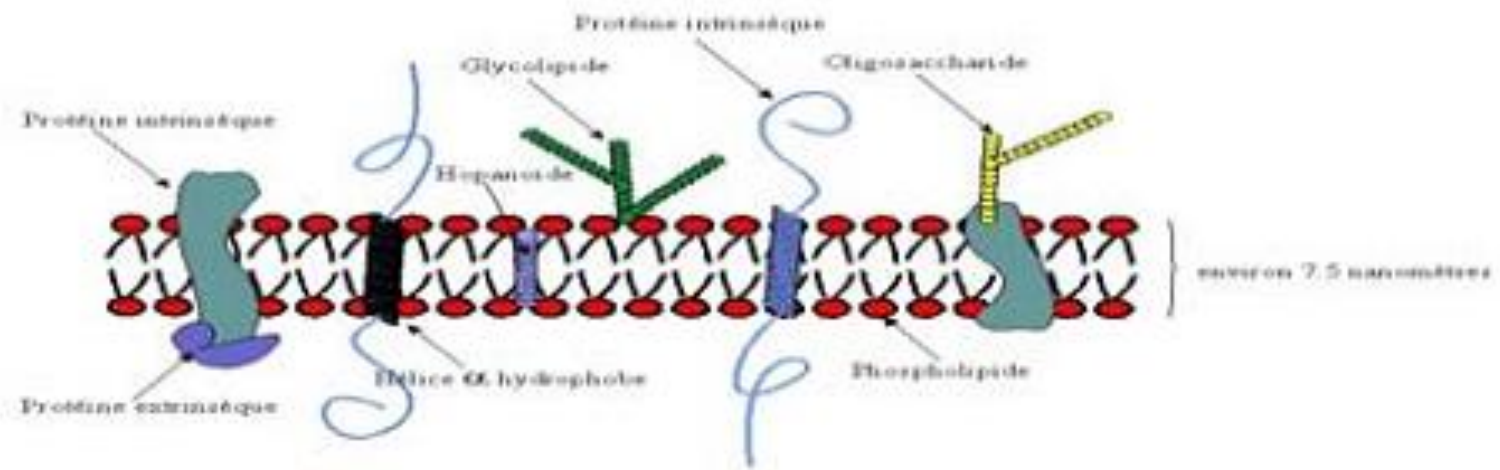


@ Proteines

- **Proteines intrinsèques ou internes**, traversent le double feuillet membranaire

- **Proteines extrinsèques ou périphériques**, apparaissent sur l'une des deux faces du double feuillet, certaines sont constitutives, d'autres ont un rôle de transport.

Structure de la membrane cytoplasmique



• Fonctions de la membrane cytoplasmique

– Respiration (fabrication d'énergie)

– Transfert de substances :

- diffusion simple « filtre » (loi de Fick)
- transport actif (perméases)

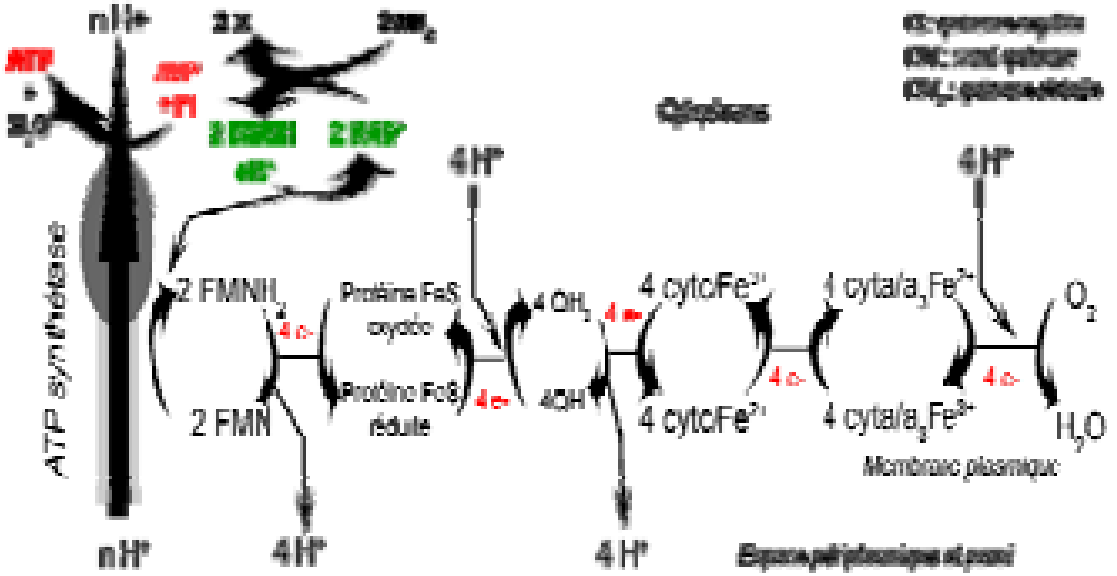
a) La respiration

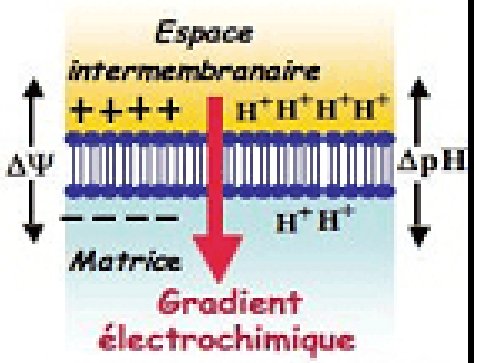
* Les chaines respiratoires des bactéries sont semblables à celles des mitochondries

* Dans la respiration aérobie, la réoxydation des coenzymes réduits est assurée par le transfert des électrons par "voie cytochromique" vers le dioxygène.

* Les cytochromes = hétéroprotéines membranaires fonctionnant comme transporteur d'électrons .

* Chez les bactéries la composition en cytochromes varie en fonction de l'espèce et même pour une espèce donnée en fonction des conditions de culture.





b) Transfert de substances

* La membrane cytoplasmique joue le rôle de barrière en empêchant :

  - la fuite des composés intra-cytoplasmiques

  - la pénétration anarchiques des constituants extra-cellualires

* Elle assure les échanges entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule en :

  - absorbant les éléments utiles pour le métabolisme

  - excrétant d'autres molécules et éliminant les déchets

* Les échanges se font de différentes façons :

  - Transport passif ou Diffusion simple passive ou facilitée

  - Transport actif

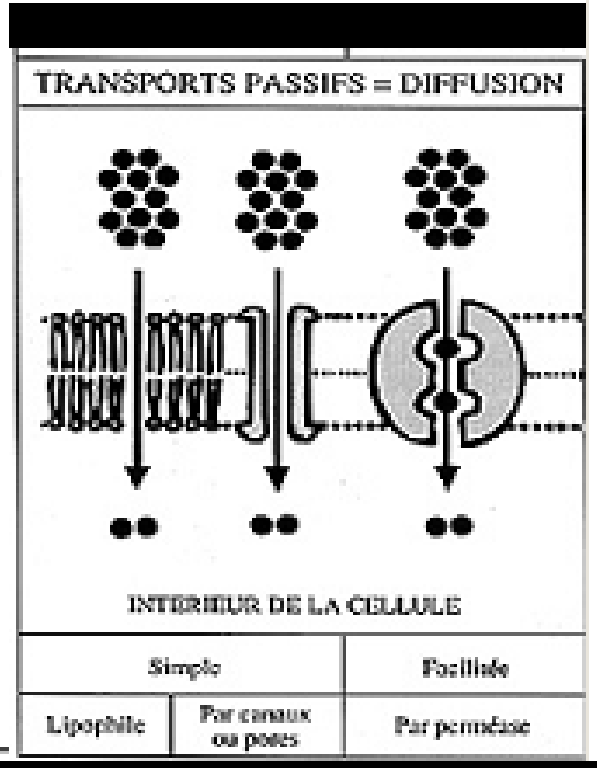
@ Transports passifs : sans apport énergétique

a) Diffusion simple passive : les petites molécules (02 ,CO2, acides gras, éthanol,…) peuvent traverser librement la membrane cytoplasmique lorsque leur concentration dans le milieu extra cellulaire est supérieure à celle du milieu intracellulaire.

b) Pour les molécules de taille plus importante et hydrophiles la diffusion se fait de deux façons

- diffusion simple par canal proteique

- diffusion facilitée par proteine porteuse



@ Transports actifs

-Se font contre le gradient de concentration

- nécessitent un apport énergétique

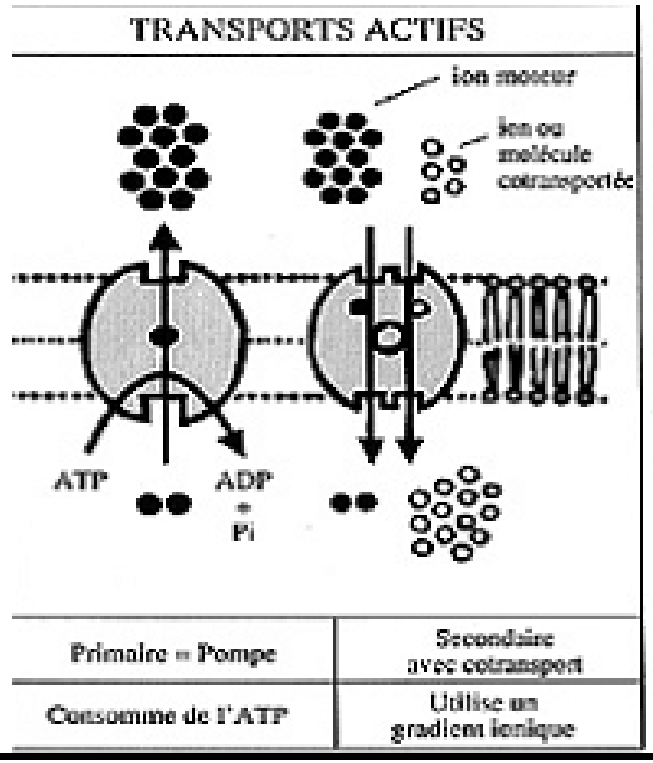
a) Transport ionique ou transport
Actif primaire ou uniport

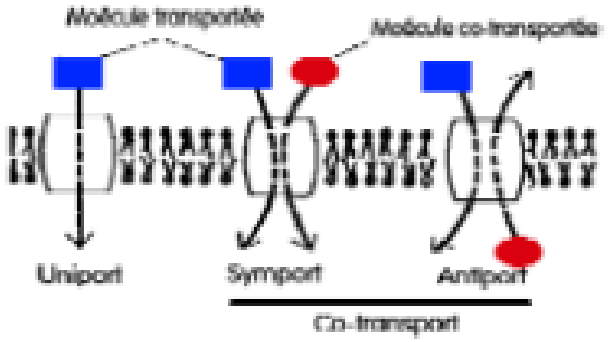
- se fait par des pompes (ex : pompe K+)

b) Transport actif secondaire dit de cotransport

- Cotransport symport : entrée dans le même sens (entrée de lactose-entrée de H+)

- Cotransport antiport : entrée dans le Sens opposé (ex : sortie de Ca++/entrée de H+)



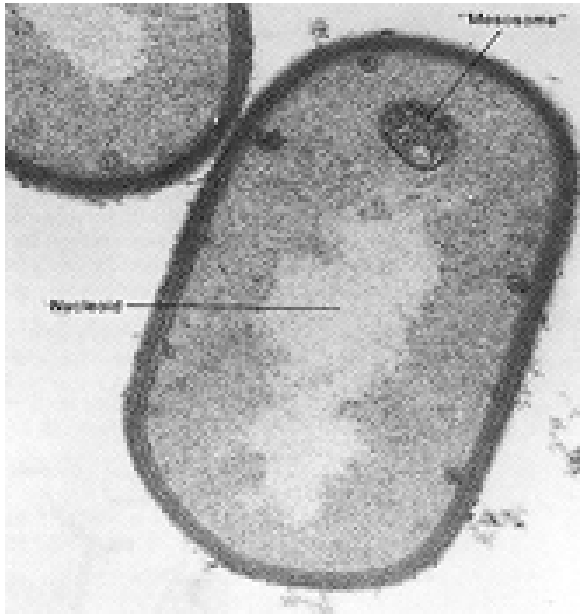


Autres fonctions de la membrane cytoplasmique

- Synthèse des lipides membranaires et lipopolysaccharides
- synthèse du peptidoglycane
- assemblage et excrétion des proteines extracytoplasmiques
- Perception des caractéristiques physiques de l'environnement (température, pH, aw…)

Mésosomes

* structures membranaire intracytoplasmiques
* une invagination de la membrane plasmique
* leur forme peut être vésiculaire, tubulaires, ou lamellaires
* Ils sont étroitement liés au matériel nucléaire
* On pense qu'ils jouent un rôle dans la division cellulaire



* Cytoplasme et structures intracytoplasmiques

* Hydrogel colloïdal comprenant :

  - une phase dispersante (sels minéraux et composés solubles de nature lipoprotéique)

  - une phase dispersée formée de nucléoprotéines et de lipides .

* Son pH est compris entre 7 et 7,2.

* Le cytoplasme contient

  - des ARN et ribosomes,

  - des substances de réserves

  - Chromatophores

  - Vacuoles à gaz

  - Chromosome,

  - quelques organites spécialisés.

@ Ribosomes

• Nombreux : ~ 15 000 / bactérie

• Constitution :

comportent 2 sous unités (50S et 30S)

constituées de protéines + ARN (23S et 16S)

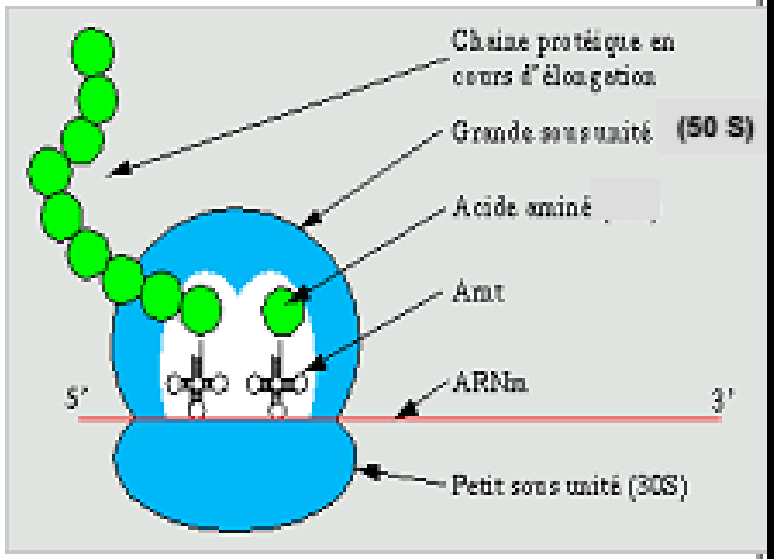
• siège de la synthèse protéique :

2 sites essentiels

- Site aminoacyl : accueille l'acyl-tARN

- Site peptidyl : accueille la chaîne d'aminoacides

en cours de constitution



@ les substances de réserves

Les substances accumulées par les bactéries peuvent être organiques Ou inorganiques :

- **amidon**

- **Glycogène le plus souvent ,**

- **l'acide hydroxybutirique (*Pseudomonas, Vibrio, Micrococcus…)***

- **des polyphosphates organiques (utilisés dans le diagnostic de certaines bactéries pathogènes comme *Corynebacterium diphterieae*)**

- **des inclusions de soufre, de fer (caractéristiques de bactéries (*Beggiatoa* et les *Thiothrix*)**

* chromatophores :

- existent chez les bactéries photosynthétiques,
- jouent le rôle des chloroplastes
- Contiennent des pigments appelés bactériochlorophylle

•Vacuoles à gaz :

- vésicules remplies de gaz présentes chez les bactéries photosynthétiques (bactéries pourpres et bactéries vertes
- permettent aux bactéries de flotter à la surface de l'eau

@ Chromosome

- Pas de membrane nucléaire

- Filament unique d'ADN
  - Bicaténaire
  - circulaire
  - surenroulé

- 1000 fois plus long que la bactérie (masse ~ 2000MDa)

-Double brin disposé en boucles

- Protéines fixées dessus:
  - ADN et ARN polymérases
  - topoisomérases

ADN 80%, ARN 10%, protéines 10%

ADN bactérien

@ Composition chimique et structure

- Un brin d'ADN est une succession de nucléotides.

- Un nucléotide est formé d'une base azotée, d'un sucre (le désoxyribose) et d'un phosphate.

- Les bases azotées sont

  * la guanine (G), l'adénine (A) = bases puriques

  * la tymine (T), la cytosine (C) = bases pyrimidiques.

l'adénine se lie toujours avec la tymine et la guanine avec la cytosine par des liaisons faibles . → A = T et C = G



- Coefficient de Chargaff

- C'est le rapport A+T / G+C (s'exprime aussi en GC%)

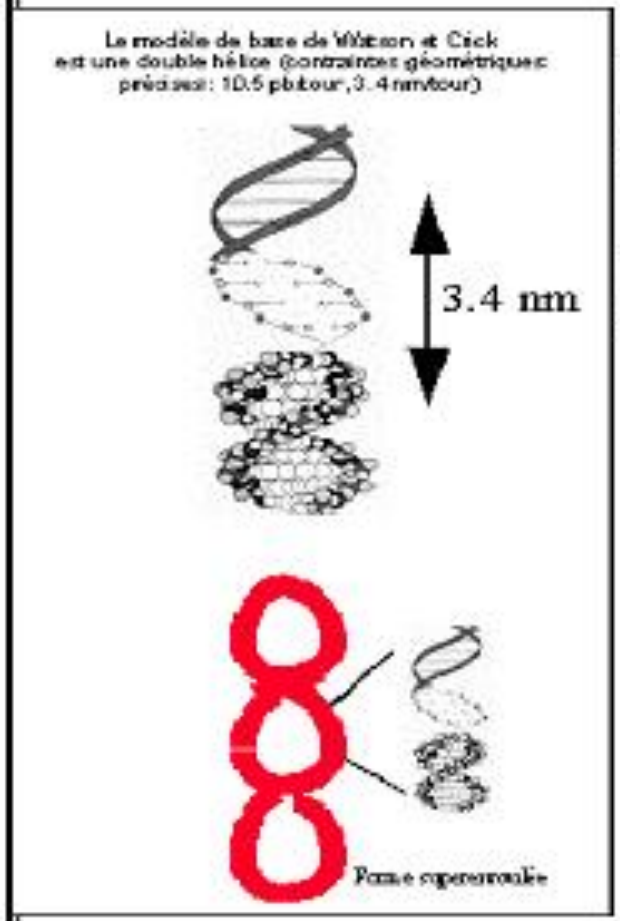
- Varie selon les espèces bactériennes

- le même dans toutes les souches d'une même espèce

- 50 % *E. coli* , 30 à 40 % *Proteus* , 60 à 70 % *Pseudomonas*

- GC% joue un rôle taxonomique

ADN bactérien



Forme superenroulée de l'ADN

* Le chromosome bactérien est constitué d'un filament unique, continu et circulaire formé d'une double chaîne d'ADN

* Cet ADN présente une structure torsadée appelé super-helice ou forme superenroulée.

* L'ADN d'une bactérie mesure 1,4 mm alors que celui d'un chromosome humain mesure 2m .



ADN
D'*E. coli*

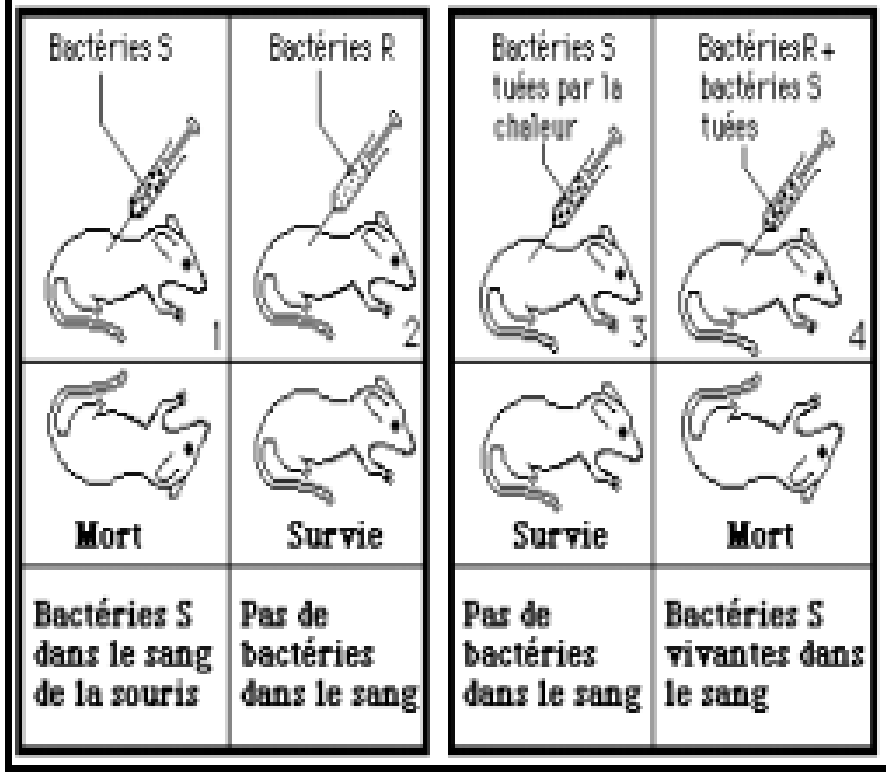
@ Rôle de l'ADN bactérien

1) support de l'information génétique

* *Pneumocoque* S (Smouth = lisse) , colonies lisses, Virulents, Capsulés

* *Pneumocoques* R (Rough = rugeux) , colonies rugeuses, non virulents, non capsulés

Expérience de Griffith(1928)



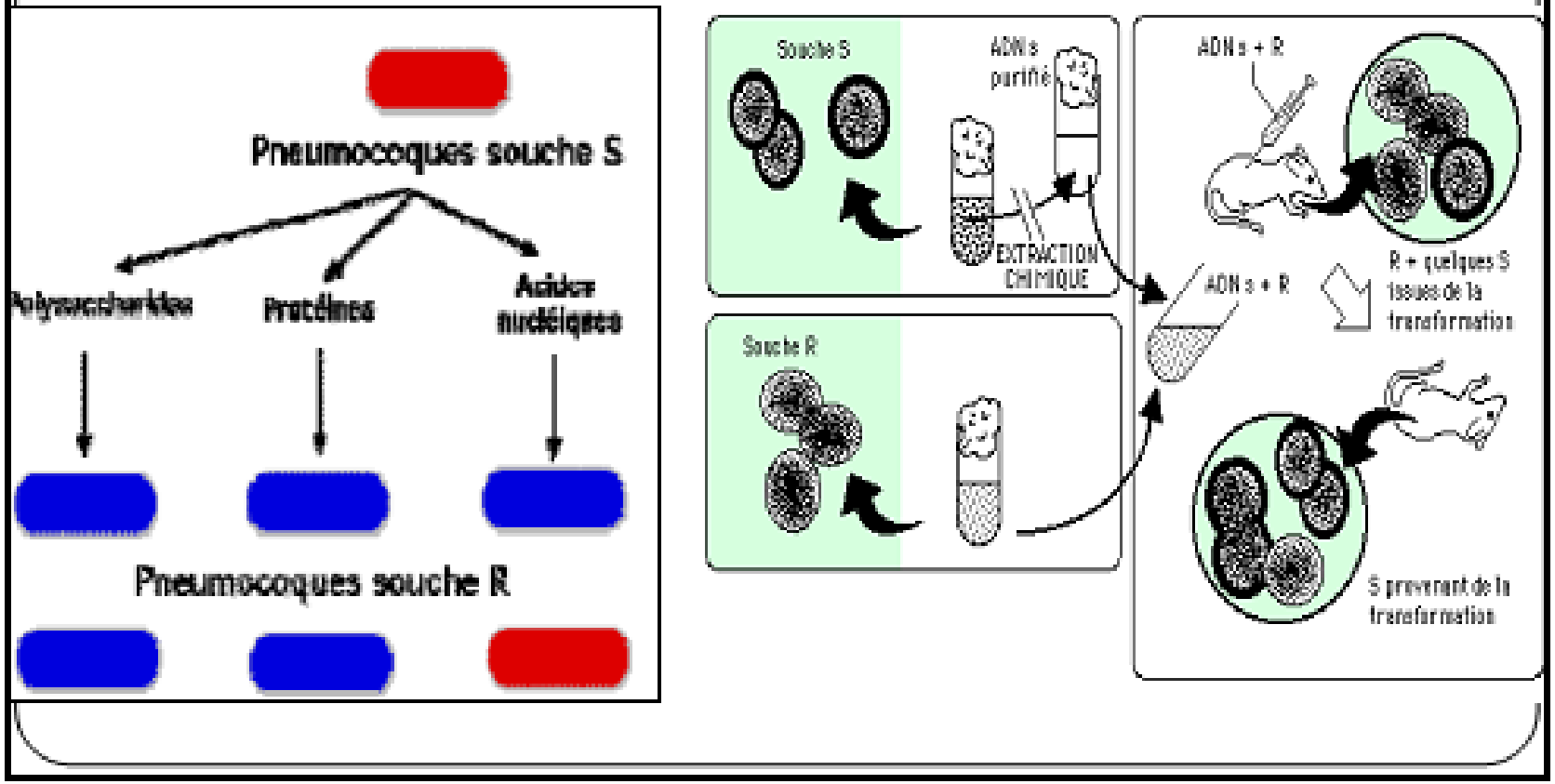
Lots 1 et 2 :la présence de la capsule détermine la virulence.

Lot 3 :la chaleur détruit la capsule et supprime la virulence, sans dénaturer le contenu de la bactérie.

Lot 4 :l'apparition de bactéries S ne peut s"expliquer que par une transformation des bactéries R par une substance issue du contenu des bactéries S tuées, qui ont libéré un "principe transformant."

En 1944, Avery, Mac Leod et Mac Carthy découvrent le perincipe transformant de Griffith

Expérience d'Avery, Mac Leod et Mac Carthy (1944)



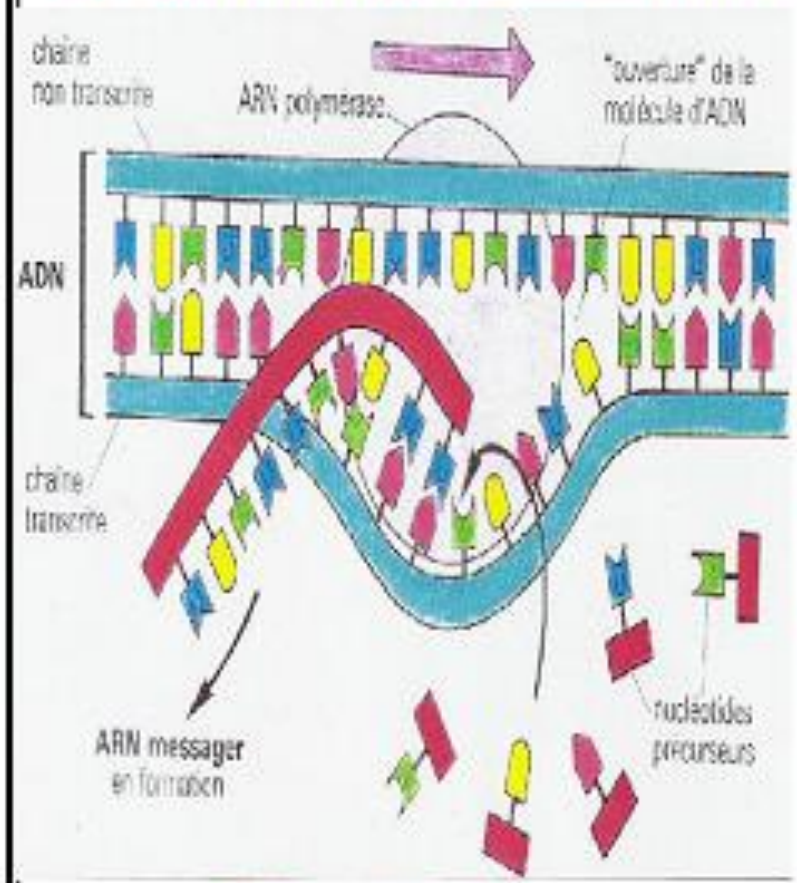
* Ces expériences démontrent que le pouvoir transformant est détenu par l'ADN des bactéries: c'est la substance du contenu des bactéries S qui n'a pas été détruit par la chaleur dans l'expérience de Griffith.

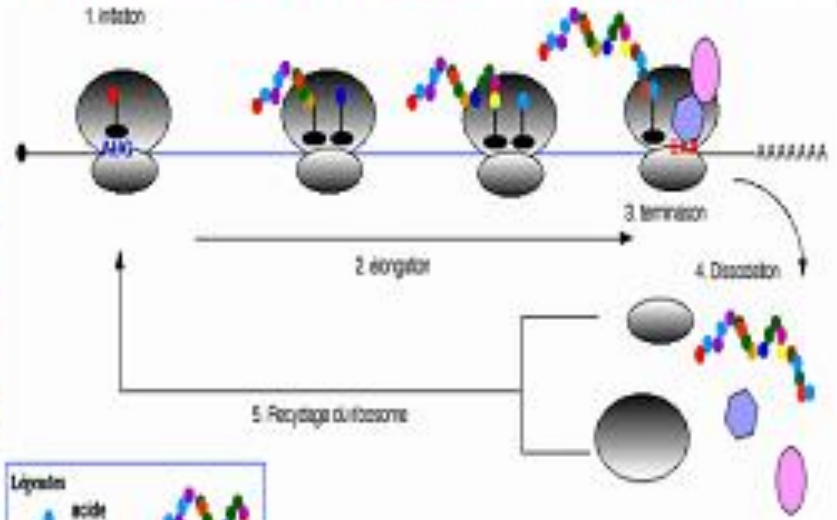
* Il programme la synthèse des polysaccharides de la capsule.

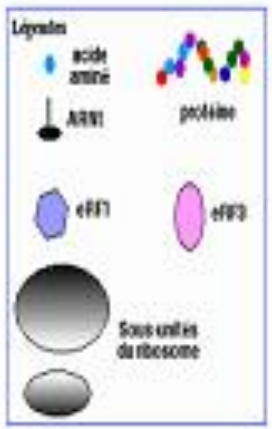
* Les descendantes des cellules R transformées en S sont de type S
donc l'ADN contrôle la multiplication à l'identique.

* une bactérie peut acquérir de nouveaux caractères phénotypiques, de nouvelles fonctions métaboliques (sécrétion de polysaccharides, virulence) par l'intermédiaire d'ADN provenant d'une autre bactérie.

2) L'ADN intervient également dans le processus de synthèse des protéines .







Transcription **Traduction**

Chez les bactéries les deux phénomènes se produisent au niveau du cytoplasme.

@ Éléments facultatifs

* Les plasmides

*** en microbiologie un plasmide = molécule d'ADN circulaire en double brin, indépendante de l'ADN chromosomique, capable de réplication autonome.**

*** Le terme plasmide fut introduit par le biologiste moléculaire américain Joshua Lederberg en 1952.**

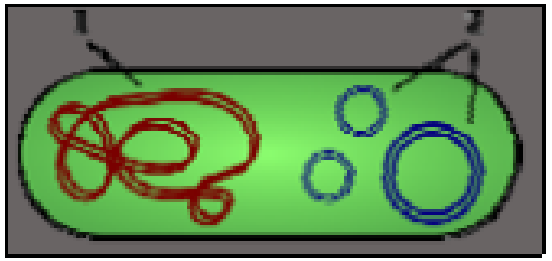
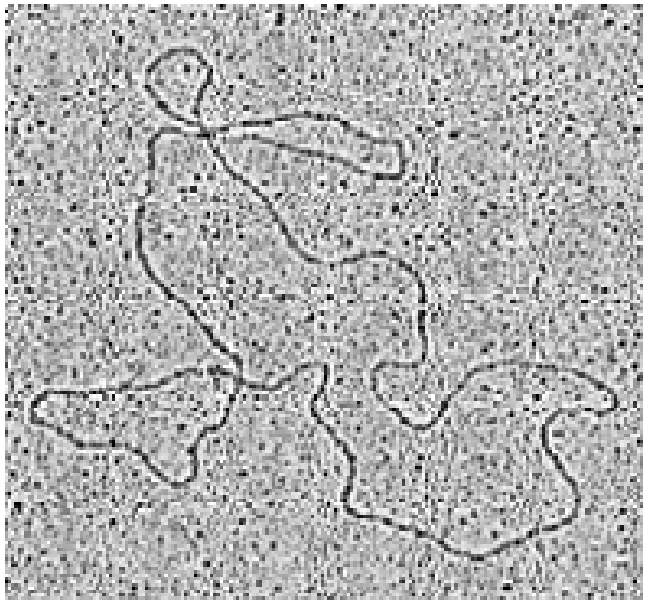
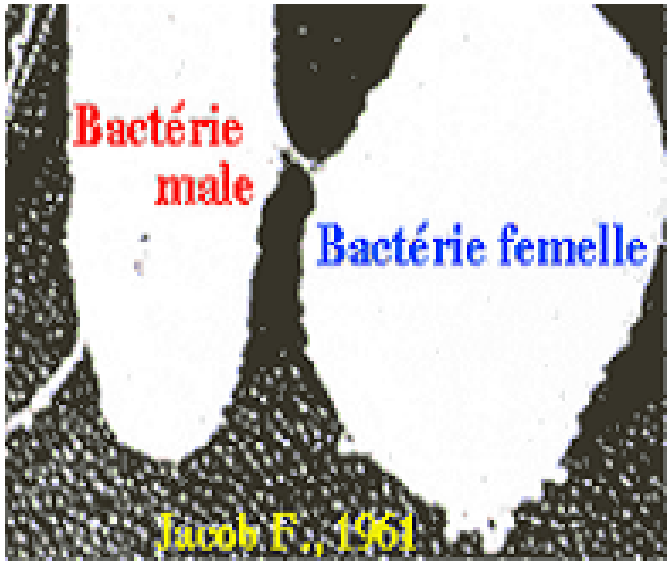


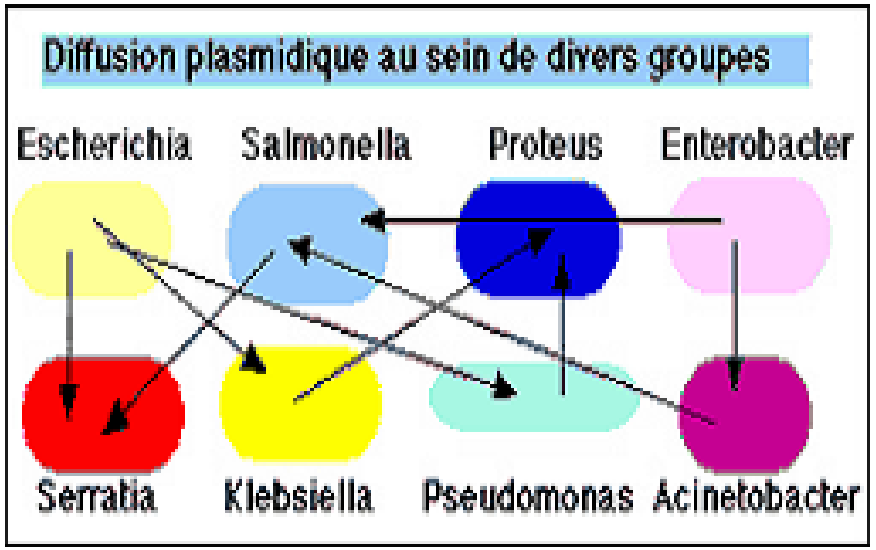
Schéma représentant une bactérie contenant des plasmides.
1) ADN chromosomique (bactérien)
2) Plasmides .



Plasmide vu au microscope électronique

* Leur transmission d'une cellule à l'autre s'effectue habituellement par conjugaison (codent pour des pilis sexuels), ou encore transduction ou transformation, mais souvent sans spécificité d'hôte.





* Ils sont médiateurs de nombreuses propriétés permettant une meilleure adaptation des bactéries (exemple : résistance aux antibiotiques, antiseptiques, métaux toxiques, irradiation)

* La capsule

- Elle est formée par des substances organiques visqueuses élaborées par la bactérie

- couche plus ou moins compacte qui entoure la paroi.

- Toutes les bactéries ne produisent pas de capsule.

- Au sein d'une espèce, certaines souches en produisent, d'autres pas.

- L'élaboration de la capsule est influencée par certaines conditions du milieu. Les glucides jouent un rôle important dans la présence ou non de la capsule .



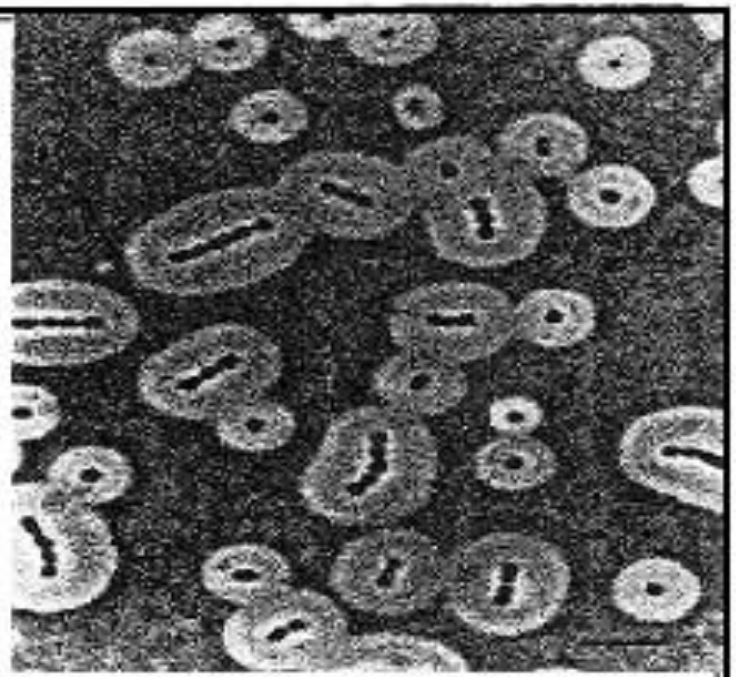
Une bactérie encapsulée



La même espèce mutante, sans capsule

Aspect des cellules d'*Acinetobacter* sp.

La coloration à l'encre de chine révèle la capsule très épaisse qui entoure ces bactéries, ici sous forme de cocci isolés ou en chaine .



*** Composition chimique de la capsule**

- Les constituants capsulaires sont fréquemment des polyholosides, parfois des polypeptides

- Rôles de la capsule

- rôle important dans la **défense** des bactéries contre :

  * la dessiccation,

  * les prédateurs (protozoaires)

  * les parasites (les bactériophages sont incapables de se fixer sur une bactérie capsulée).

- **Support de pouvoir infectueux** : empêche la phagocytose des bactéries dans l'organisme,

- **Support de propriétés physiopathologiques et immunologiques**. Ainsi, les pneumocoques capsulés se révèlent pathogènes, alors que les pneumocoques non capsulés ne le sont pas .



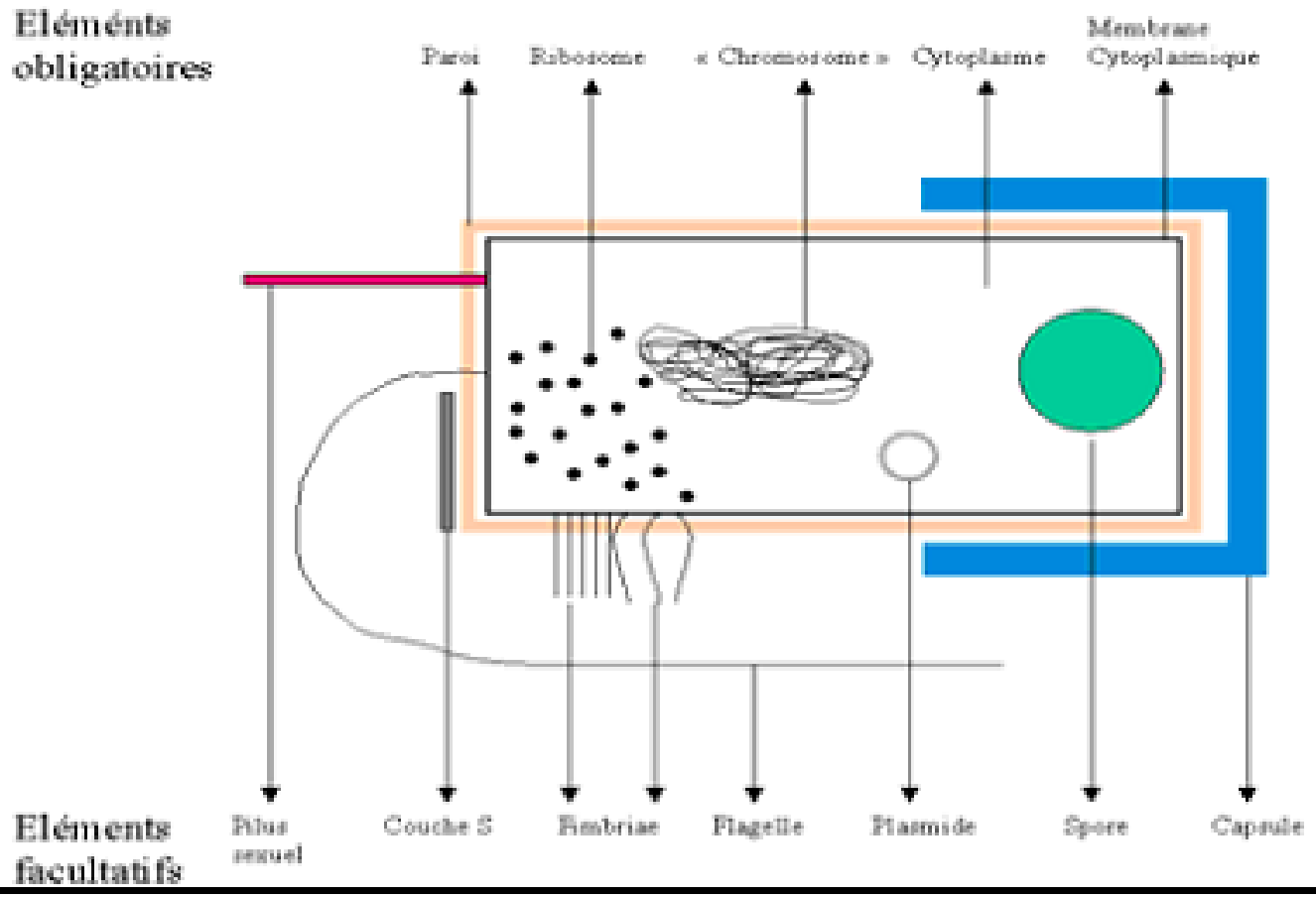
Pneumocoque ou

Streptococcus pneumoniae

Les bactéries sont formées par des éléments

- obligatoires (présents chez toutes les bactéries)

- facultatifs (présents uniquement chez quelques espèces)



* Cils et flagelles

• Les bactéries mobiles se déplacent soit par

- glissement (cyanobactéries),

- rotation autour d'un axe central (spirochètes),

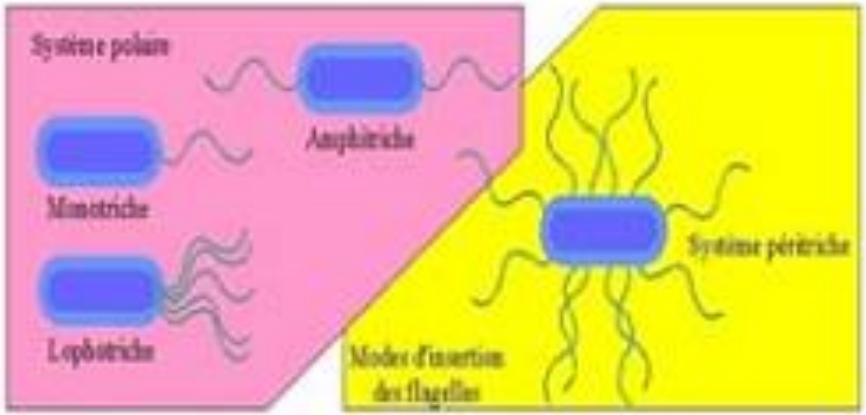
- au moyen de cils ou de flagelles .

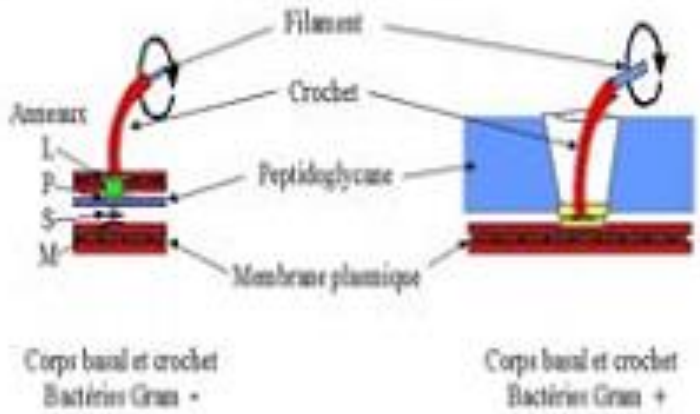
* Les cils et les flagelles sont des filaments extrêmement ténus, invisibles au microscope optique sur les bactéries vivantes et plus longs que la bactérie elle-même.

* Le point d'insertion des cils et des flagelles se situe dans le cytoplasme, au contact de la membrane plasmique.

* Cette insertion diffère selon que les bactéries sont Gram positif ou Gram négatif .

Chez les bactéries mobiles, il existe différents types flagellaires induisant des déplacements variables qu'on appellera ciliature :





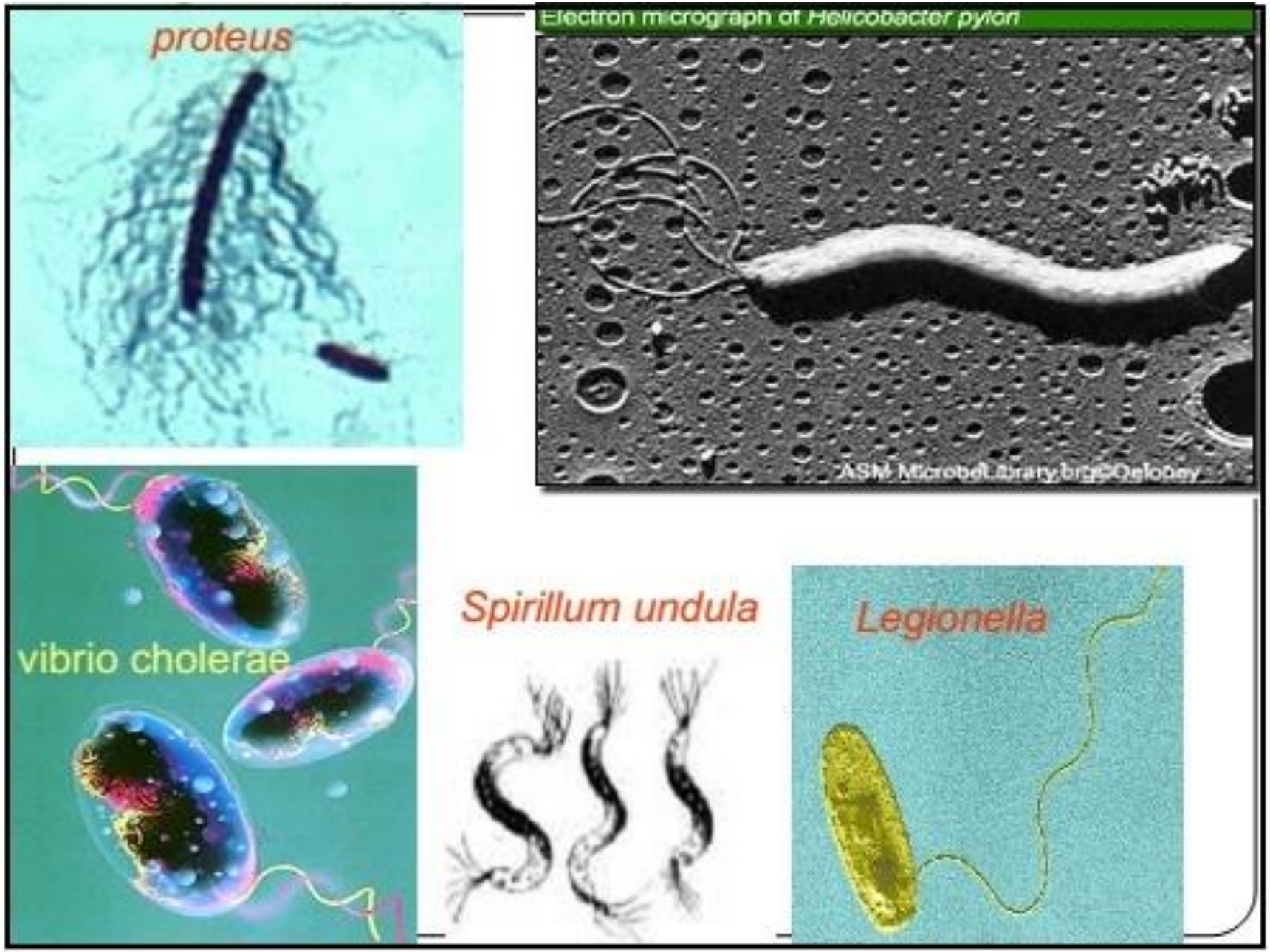
* un seul flagelle polaire = ciliature monotriche

* plusieurs flagelles polaires = ciliature lophotriche

* un flagelle à chaque pôle = ciliature amphitriche

* des flagelles entourant la bactérie = ciliature péritriche

Le type de ciliature peut être utilisé dans un but taxonomique


proteus
Electron micrograph of Helicobacter pylori
ASM MicrobeLibrary.org©Oelobey
vibrio cholerae
Spirillum undula
Legionella

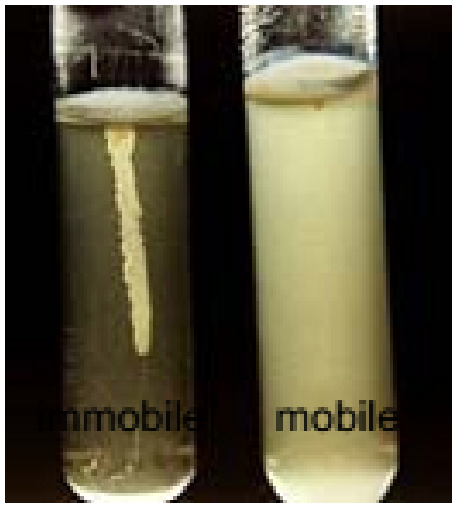
* Rôle des cils et flagelles

1- Mobilité

* Les cils et les flagelles confèrent une certaine mobilité aux bactéries qui peuvent se déplacer dans les milieux liquides ou à la surface des géloses.

* Certaines espèces peuvent même envahir les milieux de culture, masquant les autres colonies. C'est le cas des *Proteus* ou des *Pseudomonas* .

Milieu semi-solide



2- Chimiotactisme

* Certaines bactéries capables de se mouvoir, sont attirées par les nutriments (sucres, acides aminés) et repoussées par des substances toxiques ou nuisibles.

3- propriétés antigéniques

* Les flagelles confèrent à la bactérie de nouvelles propriétés antigéniques

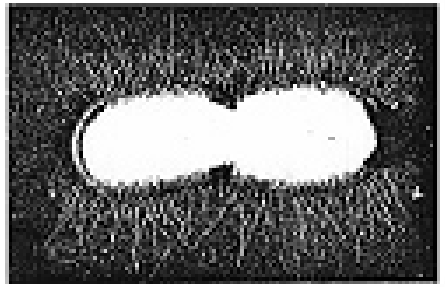
Pili ou fimbriae

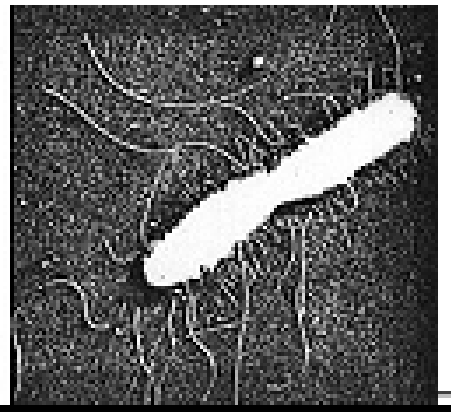
Les pili (poils) sont des formations qu'on ne peut observer qu'au microscope électronique. Surtout présent chez les Gram-

* **pili communs** ou fimbriae sont courts et cassants. Ils sont utiles pour l'adhésion des bactéries aux interfaces et aux muqueuses et sont donc des facteurs de virulence . Ils ont une structure protéique : la piline

* **pili sexuels** ,plus longs, relient deux bactéries et sont voies d'échanges de matériel génétique entre les bactéries. Les bactéries capables de produire des pili sexuels sont dénommées bactéries "mâles" à l'opposé des autres qui sont dites "femelles."

Shigella





Salmonella

Flagelles plus longs
Que les pili

Moyens d'étude de la structure bactérienne



Bactérie = être vivant, unicellulaire, de petite taille (1 à 10 µm)





• microscopie optique (x 1000 à 1500)
- examen à l'état frais à forme, mobilité éventuelle
- coloration à morphologie, groupement
(bleu de méthylène, Gram,)

• microscopie électronique (x > 10 000)
à structure fine des bactéries

• fractionnement des bactéries
Constituants libérés, séparés, analysés





cours de Microbiologie TS1 BC
P Renvoisé et B Leonetti

38

* Les spores bactériennes

* Certaines bactéries ont la propriété de former des spores

* Une spore = petite unité sphérique douée d'une extraordinaire résistance.

* les spores bactériennes sont des endospores, car elles se forment à l'intérieur de la cellule bactérienne .

* Les spores se forment au sein de trois genres bactériens principaux :

* *Bacillus,*

* *Clostridium*

* *Sporosarcina .*

* Conditions de formation des spores :

- Milieu pauvre en éléments nutritifs
- Conditions physico-chimiques défavorables

* Les spores se caractérisent par :

- leur faible teneur en eau (15 %) contre 80 % chez les cellules bactériennes végétatives.

- leur thermorésistance (les spores de *Plectridium caloritolerans* résistent plus de 8 heures à 100° C et 5 minutes à 120°C .

- leur résistance aux attaques des acides, des bases, des antiseptiques, des rayons UV ou X, des antibiotiques, etc .

* Les actinomycètes produisent aussi des spores, à partir de conidies ou sporanges. A ne pas confondre avec les spores de résistance des eubactéries .

@ Morphologie et structure des spores

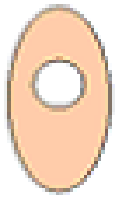
- Chez la bactérie vivante, la spore apparaît comme un espace clair, réfringent, ovoïde, limité par un contour régulier

- La spore peut déformer ou non le corps microbien

- Sa position joue un rôle taxonomique



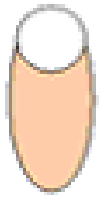
Bacillus subtilis en phase de sporulation. La structure ovale, au centre, correspond à la spore, forme résistante de la bactérie .



Spore centrale ou subterminale non déformante.
Exemple : *Bacillus sp.*



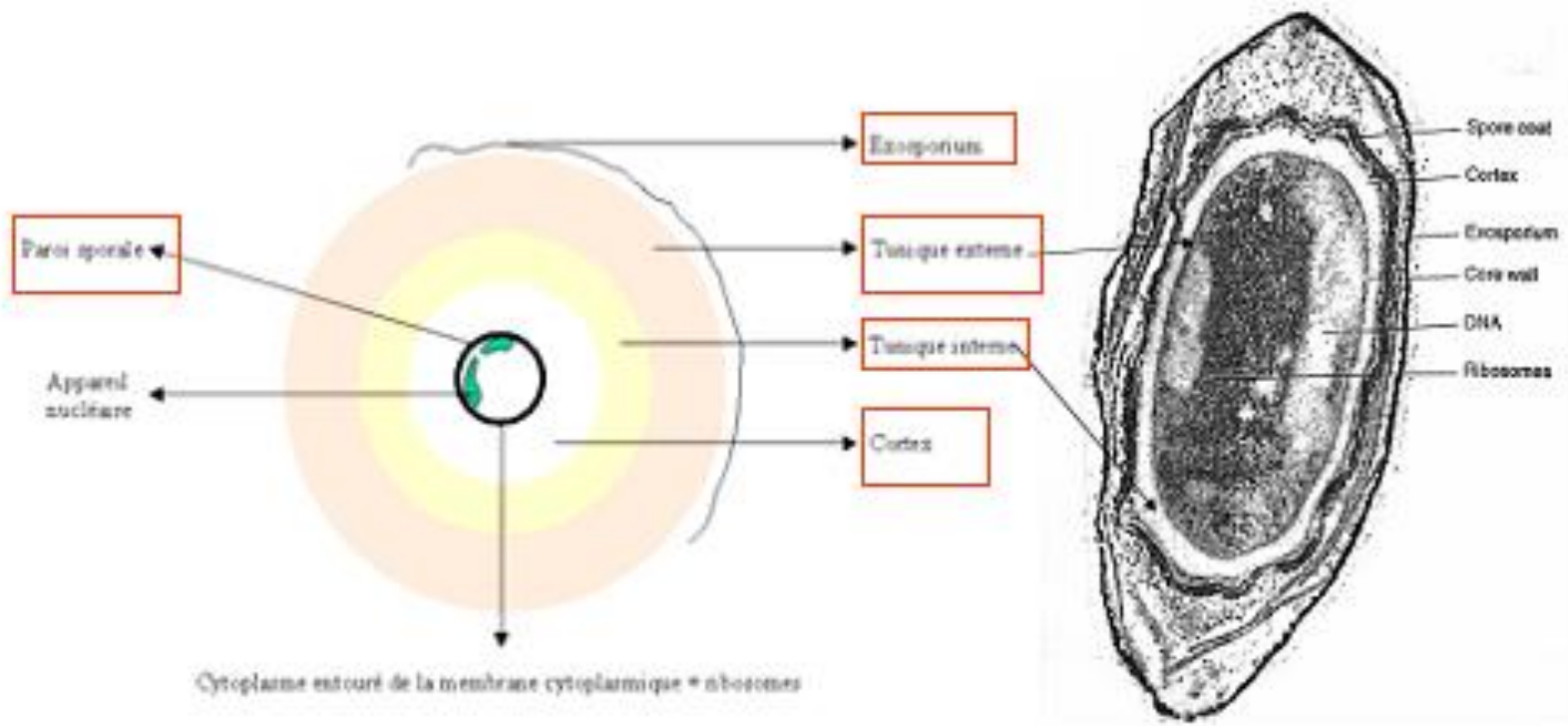
Spore sub-terminale déformante.
Exemple : *Clostridium sp.*



Spore terminale déformante.
Exemple : *Clostridium tetani*

- La spore bactérienne présente une **structure complexe**

- **La paroi sporale** (peptidoglycane) donnera la paroi de la cellule végétative
- **Le cortex** : couche épaisse (peptidoglycane), sensible Au lysozyme
- **Tuniques** (interne et externe) : composées de proteine (kératine), impérmeables, résistantes aux agents chimiques
- **Exosporium** : couche plus externe (lipoproteique), non essentiel à la survie de la spore



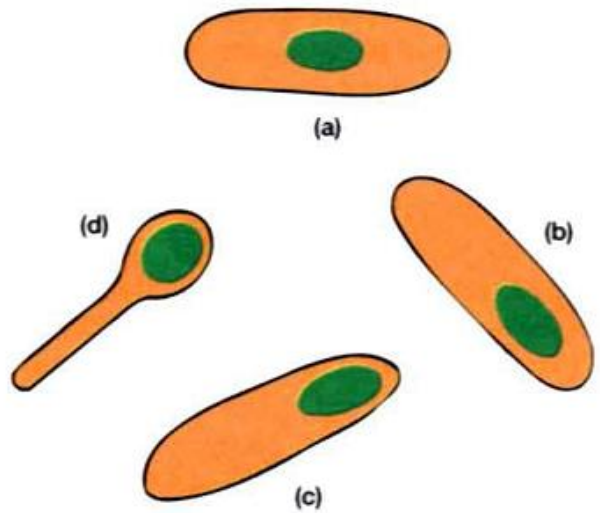
L’endospore bactérienne :

Cette structure a été trouvée dans les échantillons des momies, elle a été conservée dans la nature et permet de récupérer des informations importantes.

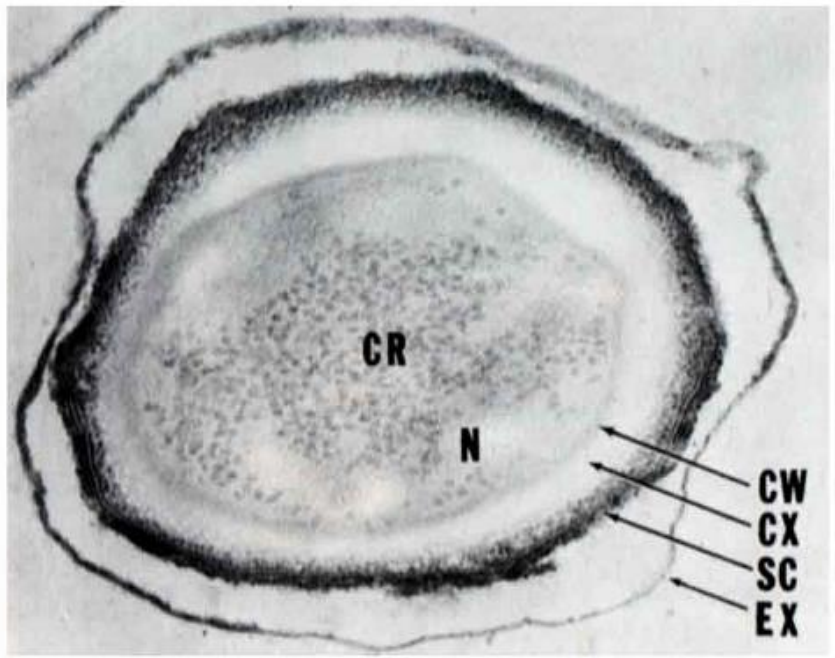
Elle est importante pour la médecine et les domaines agro-alimentaire car possède unegrande résistance : tolérante à des températures très élevées, tolérante aux radiations des UV, à l’action des désinfectants, tolérante à une pénurie d’eau.

Cette tolérance est permise par la synthèse de l'acide dipicolinique.
Leur structure est très particulière. Il existe des exospores qui se forment à l’extérieur de la cellule, les endospores se forment à l’intérieur de la cellule. C’est une structure dormante, un moyen de protection contre les conditions extrêmes comme le manque de nutriments, où il y a un phénomène de sporulation (chez les Gram+ principalement).

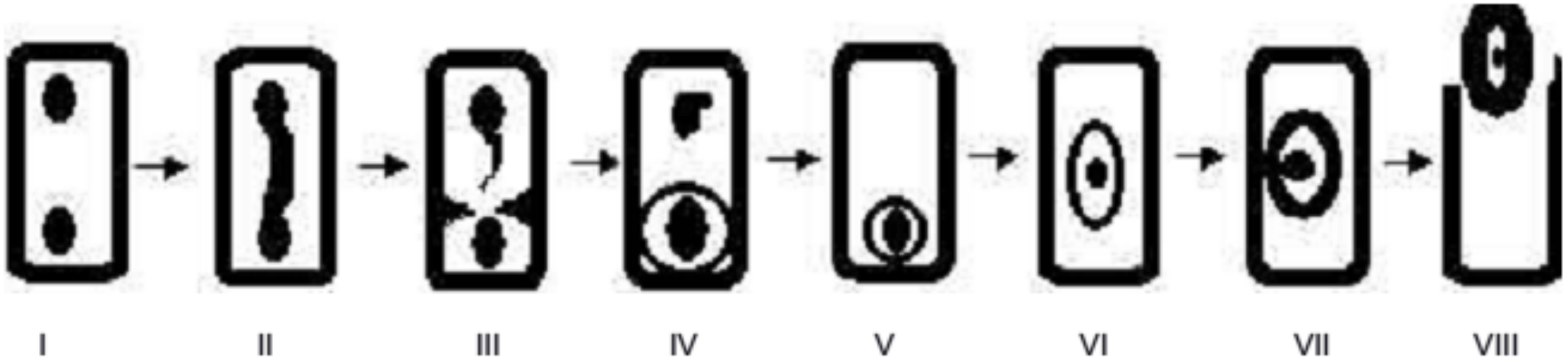
a) Definition : Un certain nombre de bactéries Gram + (genre *Bacillus*, *Clostridium* et *Plectridium*) acquièrent une structure spéciale, résistante, dormante, à l'intérieur de la cellule végétative, appelée endospore. C'est une forme de vie au ralentie, sans multiplication, ni métabolisme (état de cryptobiose), qui se forme lorsque le milieu est appauvri en nutriments ou dans des conditions physiques défavorables.



Exemples de localisation et de taille des endospores. (*a*) Spore centrale. (*b*) Spore subterminale. (*c*) Spore terminale. (*d*) Spore terminale avec sporange gonflé.



La structure d'une endospore. Endospore de *Bacillus anthracis* (x 151.000). Notez les structures suivantes : exosporium, *EX;* tunique *SC*; cortex, *CX*; paroi de la spore *CW*; le protoplaste avec son nucléoïde, *N*, et les ribosomes *CR*.



b) Etapes de la sporulation :

Sporulation : 7 étapes d'environ une heure :

étape 1 : formation d'un filament axial par assemblage des deux nucléoïdes de la cellule végétative. La cellule produit des antibiotiques (bacitracine, bacilysine) et des enzymes (ribonucléase, amylase, protéase).

étape 2 : formation du septum transversal par invagination de la membrane. Apparition d'alanine deshydrogénase qui pourrait jouer un rôle dans la germination.

étape 3 : individualisation de la spore : formation de la préspore. Certaines enzymes acquièrent de nouvelles propriétés (exemple : la catalase devient résistante à la chaleur).

étape 4 : formation du cortex par accumulation d'acide picolinique et de calcium ; la spore devient très réfringente.

étape 5 : synthèse de protéines à l'origine des tuniques

étape 6 : étape de maturation avec acquisition de toutes les propriétés de thermorésistance.

étape 7 : destruction du sporange par des enzymes lytiques et libération de la spore

c) Propriétés de la spore :

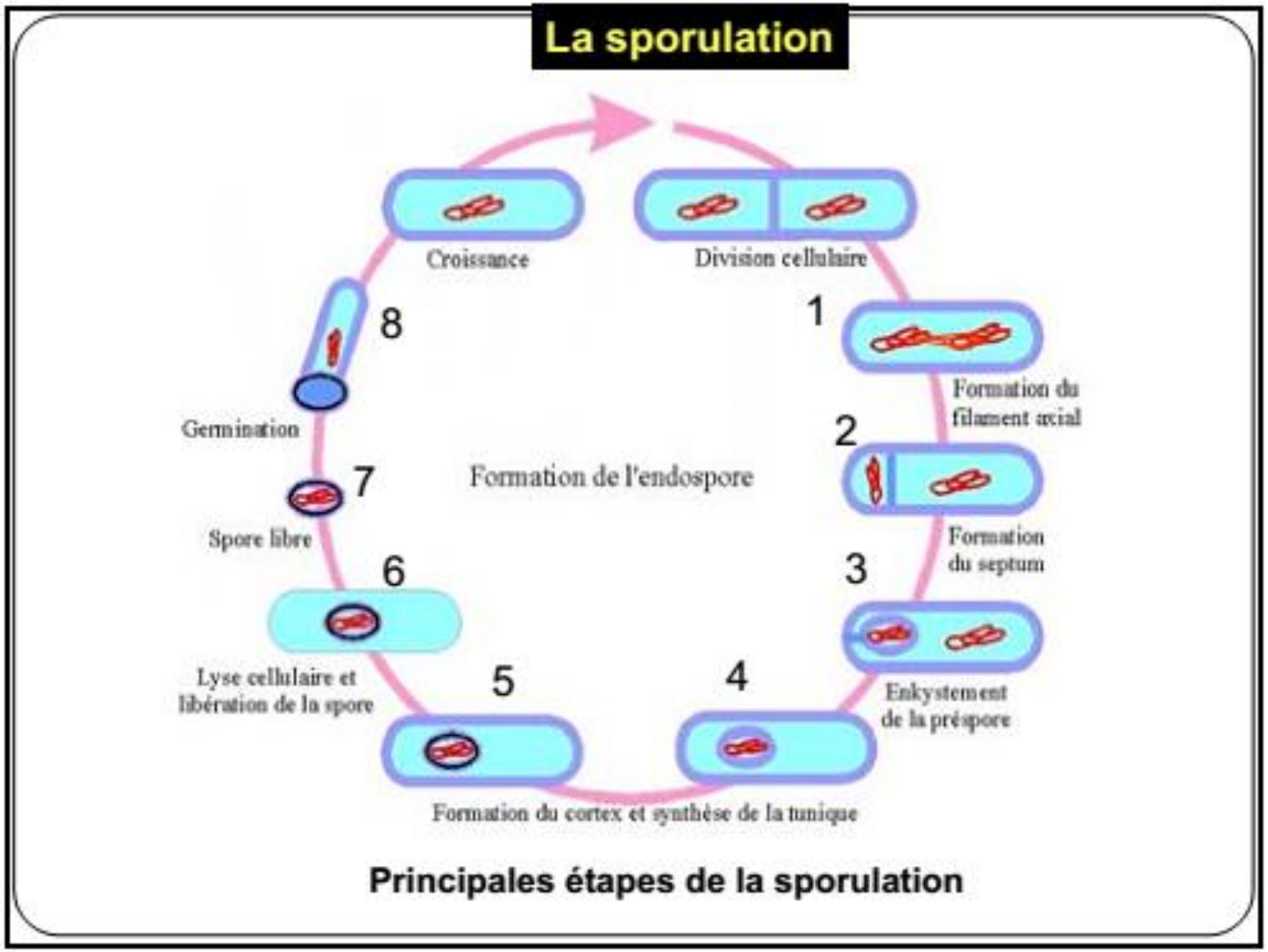
Thermorésistance : les spores résistent plusieurs dizaines de minutes à 80 °C, parfois 8 heures à 100 °C et même 5 minutes à 120°C (problème de stérilisation : nécessité de chauffer à 120°C pendant 20 min, en chaleur humide). Le dipicolinate (associé au Ca^{++}) joue un rôle essentiel : il rend la spore imperméable et conserve l'état déshydraté favorable à la résistance des protéines et des acides nucléiques à la dénaturation. (*B. subtilis* : 30 min à 120°C). Elles résistent très bien au froid (-70°c), à la lyophilisation)

Résistance aux agents physico-chimiques : résistance aux U.V., R.X, hautes pressions, antiseptiques, antibiotiques, à la dessiccation etc.

d) La germination *:*

dans des conditions favorables (humidité, chaleur…), la spore peut être activée et donner naissance à une cellule végétative. La spore doit être activée par un agent capable de léser la tunique sporale : choc, chaleur, acidité. Le moyen le plus utilisé est le chauffage entre 65 et 95°C (ex : tyndallisation). La germination ne commence qu'en présence de conditions favorables d'hydratation et de métabolites effecteurs (alanine, adénosine) qui déclenche un phénomène autolytique.

On observe une destruction du cortex, une perte de la réfringence, une sensibilité à la chaleur, une excrétion de calcium, de dipicolinate et de peptidoglycane du cortex puis une reprise métabolique. La spore se libère des tuniques après rupture de celles-ci et donne une nouvelle cellule végétative.


La sporulation
Croissance
Division cellulaire
1
Formation du filament axial
2
Formation du septum
3
Enkystement de la prépore
4
Formation du cortex et synthèse de la tunique
5
Lyse cellulaire et libération de la spore
6
Spore libre
7
Germination
8
Formation de l'endospore
Principales étapes de la sporulation