

# MORPHOLOGIE ET STRUCTURE DE LA CELLULE BACTERIENNE

## METHODES D'ETUDE

Compte tenu de leur taille (de l'ordre du micron), elles seront visualisées par le microscope :

**1. Microscopie électronique** ( $G \times >10.000$  fois) ;

**2. Microscopie optique** ( $G \times 1000 - 1500$  fois) : La présence de bactéries est habituellement recherchée avec un microscope optique sans coloration (état frais) ou après coloration (cf travaux pratiques).

a. **État frais** : l'examen à l'état frais est un examen microscopique permettant d'observer la mobilité des bactéries.

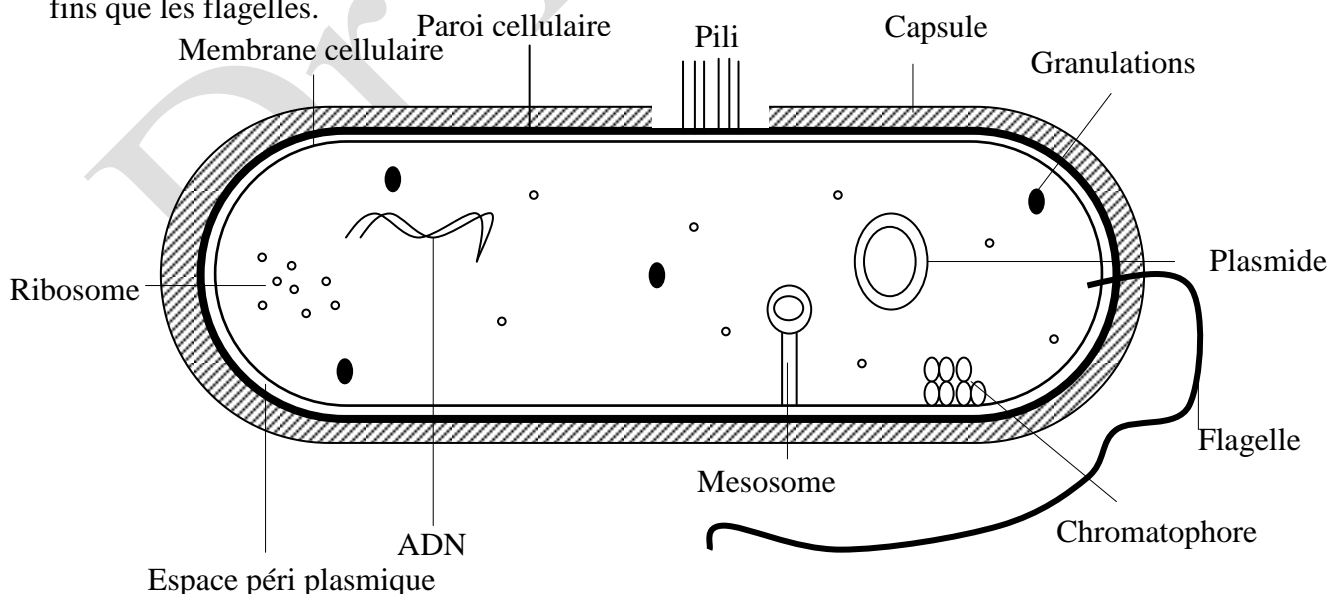
Cet examen consiste en l'observation de bactéries vivantes entre lame et lamelle ( $G \times 400$ ).

b. **Après coloration** : il existe diverses techniques de coloration, mettant en évidence des affinités tinctoriales différentes telle la coloration de Gram (coloration complexe), très utilisée en pratique courante pour distinguer les bactéries à gram positives et négatives ou encore celle de bleu de méthylène (coloration simple) pour observer la morphologie ou encore celle de l'encre de chine (coloration négative) pour mettre en évidence la capsule.

## MORPHOLOGIE GENERALE

La cellule apparaît entourée d'une enveloppe rigide **la paroi** qui lui donne sa forme, sa résistance et qui entoure une seconde enveloppe beaucoup plus mince et plus délicate, la **membrane cytoplasmique**. Le **cytoplasme** sous-jacent, en général très homogène, contient essentiellement des granulations d'acide ribonucléique, les ribosomes, parfois aussi des substances de réserve qui rendent sa structure plus grossière. Il ne renferme aucun des organites décrits dans la cellule eucaryote (réticulum endoplasmique, mitochondries,...). Dans le cytoplasme, **l'appareil nucléaire** se distingue par son aspect fibrillaire, finement réticulé. Il n'est pas entouré d'une membrane.

La paroi, la membrane, le cytoplasme et l'appareil nucléaire représentent la structure essentielle de la cellule. Elles sont toujours présentes (essentiels). D'autres peuvent éventuellement s'y adjoindre (facultatifs) : la **capsule**, les flagelles qui confèrent à la bactérie sa mobilité, en fin les **pili** ou **fimbriai** plus fins que les flagelles.



-Schéma de la cellule bactérienne-

La plupart des bactéries sont de très petite taille (de 1 à 3 micromètres). Toutefois, certains spirochètes peuvent atteindre 500 micromètres alors que les mycoplasmes ne dépassent guère 0.1 micromètre.

### Formes et aspects au microscope :

Le monde bactérien est riche en formes visibles au microscope optique. Non seulement chaque cellule bactérienne présente une forme particulière (coque, bâtonnet, vibrion, filament,...), mais aussi les cellules filles dérivées d'une cellule mère peuvent-elles s'assembler de manières particulières (amas, chaînettes,...). Certaines espèces n'ont cependant pas de forme fixe au cours de leur cycle vital et sont dites pléiomorphes (actinomycètes, mycoplasmes, ...). En fait, les formes et assemblages typiques de chaque genre ou famille de bactéries sont surtout observés chez l'animal. Lors de culture en milieu liquide, ils pourront parfois être observés, mais très rarement après culture sur milieu solide. Ces différentes formes et assemblages varient selon l'espèce et la souche bactériennes, bien sûr, mais aussi selon le milieu, l'âge et les conditions de culture pour la même espèce bactérienne.

Par exemple, l'ensemble des genres et espèces formant la famille *Enterobacteriaceae* se présentent sous forme de courts bâtonnets (coccobacilles) à tel point qu'il est extrêmement difficile de les différencier les uns des autres au microscope après coloration de Gram. Cependant, des variations sont observées selon l'espèce et, à l'intérieur d'une même espèce, selon la souche (longueur des bâtonnets). De plus, selon que l'on examine une culture en bouillon, sur gélose au sang ou sur gélose sélective, la longueur des bâtonnets varie aussi. Enfin, une culture jeune est surtout composée de courts bâtonnets tandis que leur taille est plus grande dans une culture âgée. Certains bactériologistes ont tenté de définir des critères de taxonomie à partir des formes et dimensions des bactéries. Ces critères sont valables dans des conditions bien standardisées et reproductibles, mais sans plus.

### 1. Coques

Les coques sont des bactéries de type sphérique (coccus = grain, baie). Il s'agit d'un nom générique qui n'a aucune valeur de nomenclature, mais aide à l'enseignement et à la classification en général. Toutes les bactéries cocciformes n'ont pas une forme sphérique parfaite : certaines sont allongées, d'autres présentent une face aplatie, etc. Les coques se multiplient selon un, deux ou trois plans de division. Les formes qui en résultent sont respectivement des chaînettes, des tétrades ou des amas. La taille moyenne des coques est de 0,8 à 1  $\mu\text{m}$  avec des extrêmes de 0,5 à 2  $\mu\text{m}$ .

#### 1.1. Diplocoques (*Diplo* = deux)

Les diplocoques sont formés de deux coques assemblés : *Streptococcus pneumoniae*, *Neisseria* spp.

#### 1.2. Streptocoques (*Streptus* = pliable, flexible)

Les streptocoques sont formés de chaînettes de coques. Ces chaînettes sont plus ou moins longues : *Streptococcus* spp., *Enterococcus* spp.

#### 1.3. Tétrades

Les tétrades sont des amas de quatre bactéries formés suite à l'existence de deux plans de division

cellulaire.

#### 1.4. Sarcines (*Sarcina* = un paquet)

Les sarcines sont des amas réguliers en trois dimensions de huit cellules bactériennes suite à l'existence de trois plans de division cellulaire se succédant de manière ordonnée : *Sarcina* spp.

#### 1.5. Staphylocoques (*Staphylo* = grappe de raisin)

Les staphylocoques sont des amas irréguliers de bactéries formés suite à l'existence de trois plans de division cellulaire se succédant de manière anarchique : *Staphylococcus* spp., *Micrococcus* spp.

### 2. Bacilles ou bâtonnets

Les bacilles sont des bactéries allongées dont un axe est de toute évidence plus grand que l'autre. Il n'y a pas toujours une limite bien nette et franche entre les bâtonnets et les coques : certains coques sont allongés ; certains bâtonnets sont très courts et à extrémités arrondies (coccobacilles). La longueur du bâtonnet peut varier dans certaines limites selon les conditions et l'âge de la culture pour une souche donnée, comme il a déjà été dit.

Les bâtonnets ne présentent qu'un seul plan de division cellulaire : médian. Dans une culture en multiplication, les bâtonnets sont isolés, en paires (diplobacilles), en chaînettes plus ou moins longues (streptobacilles), en amas plus ou moins irréguliers (en lettres chinoises) selon les espèces, les souches et les conditions de culture.

#### 2.1. Coccobacilles

Il s'agit de la forme typique d'un grand nombre de bactéries pathogènes telles les pasteurelles et apparentées (famille *Pasteurellaceae*) et les entérobactéries (famille *Enterobacteriaceae*). Ces bactéries ne sont pas beaucoup plus longues que larges et les extrémités sont arrondies.

#### 2.2. Bacilles corynéformes (*coryne* = une massue)

Il s'agit de courts bâtonnets de forme irrégulière présentant une extrémité épaissie sous forme de massue ou de baguette de tambour. En général, cette extrémité apparaît colorée plus intensément. Il s'agit de la forme typique du bacille de la diphtérie (*Corynebacterium diphtheriae*). Par analogie, les bactéries avec cette morphologie ont été appelées bâtonnets corynéformes ou diphtéroïdes, bien que toutes ne soient par rattachées à l'espèce *C. diphtheriae* taxonomiquement.

#### 2.3. « Vrais » bacilles

Les « vrais bacilles » ont des tailles variables. Leur forme est régulière, leur longueur est bien plus grande que leur largeur. Un très grand nombre de bactéries peuvent être reprises dans ce groupe : *Clostridium* spp., *Bacillus* spp., *Listeria* spp., *Bacteroides* spp., *Pseudomonas* spp. Leur taille varie de 0,5 µm sur 0,2 µm (*Erysipelothrix* spp.) à 15 µm sur 1 µm (*Clostridium septicum*). Les extrémités sont, en général, moins arrondies que chez les coccobacilles.

#### 2.4. Bacilles filamenteux

Les bacilles filamenteux sont de très longs bâtonnets. Certaines espèces de bacilles peuvent être

qualifiées de bâtonnets filamenteux dans certaines conditions de croissance (*Clostridium septicum*). Ce caractère filamenteux peut d'ailleurs être rapidement perdu en culture.

### 2.5. *Bacilles fusiformes* (*fusus* = un fuseau)

Les bacilles fusiformes sont des bâtonnets plus ou moins longs qui ont des extrémités effilées (*Fusiformis* spp.) En subculture, ces formes typiques disparaissent et des formes bacillaires classiques apparaissent.

### 2.6. *Bacilles ramifiés*

Certaines bactéries peuvent former des ramifications à un moment au moins de leur cycle. Cette forme les fait ressembler à des mycéliums, d'où leur nom d'actinomycètes (*aktinos* = rayon ; *mykes* = champignon) qui comprennent les genres *Mycobacterium* spp., *Actinomyces* spp., *Nocardia* spp., *Rhodococcus* spp. et *Dermatophilus* spp. D'autres genres comme *Bifidobacterium* spp. Montrent aussi des formes ramifiées typiques, mais plus courtes. Selon les espèces, les conditions et l'âge de la culture, les formes ramifiées sont plus ou moins abondantes par rapport aux bâtonnets simples.

## 3. Courbées

Ces bactéries sont, en fait, des bâtonnets qui ne sont pas droits, mais courbés et qui forment des tours de spires. Deux groupes sont distingués selon leur longueur.

### 3.1. *Vibrions* (*vibrio* = qui bouge rapidement)

Les vibrions sont des bâtonnets recourbés en virgule ou en vis. Ces bâtonnets sont courts (< 5 µm) et ne présentent qu'un à deux tours de spire. Dans une culture, des formes droites peuvent aussi être observées. Les genres de vibrions d'intérêt médical sont : *Vibrio* spp., *Campylobacter* spp., *Helicobacter* spp.

### 3.2. *Spirilles* (*spirillum* = petite spirale)

Les spirilles sont des bâtonnets recourbés en longues spirales (jusqu'à 20 µm et plus, car certains spirochètes atteignent 0,5 mm de longueur !) présentant de nombreux tours de spire. Ils sont fins tels les spirochètes (*spira* = un tour ; *chaeta* = un cheveu) avec les genres *Treponema* spp., *Brachyspira* spp. et *Serpulina* spp. à spires étroites et régulières, *Borrelia* spp. à spires larges et régulières et *Leptospira* spp. à spires étroites et irrégulières, ou très épais tel le genre *Anaerobiospirillum* spp.

## COMPOSITION BACTERIENNE :

Le principal composant d'une bactérie est l'eau, qui représente environ 80% du poids de ce procaryote.

Après expérimentation, l'analyse sur un poids sec donne les résultats suivants :

- Carbone : 50%
- Oxygène : 20%
- Azote : 15%
- Hydrogène : 10%
- Phosphore : 3%

- Soufre
- $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ , Cr,  $Na^+$ ,  $K^+$ , ...

### STRUCTURE BACTERIENNE :

La structure fine des bactéries a été mise en évidence grâce à la microscopie électronique sur coupes ultrafines. Il est classique de distinguer des structures obligatoires, présentes chez toutes les bactéries et des structures dont la présence est facultative et caractérise des groupes bactériens.

Les composants obligatoires sont constitués par le cytoplasme qui a généralement une structure homogène et renferme essentiellement des ribosomes et parfois des éléments supplémentaires comme les substances de réserve ou les magnétosomes. Dans le cytoplasme, l'appareil nucléaire ("chromosome") a un aspect fibrillaire, il occupe une place importante et n'est pas entouré par une membrane. La membrane cytoplasmique entoure le cytoplasme et possède la structure classique avec deux feuilletts phospholipidiques contenant des protéines. À l'extérieur de la membrane cytoplasmique on trouve très généralement la paroi dont la structure est variable selon les groupes de bactéries et qui forme une enveloppe rigide.

Les composants facultatifs sont des polymères de surface comme la capsule, des structures protéiques externes comme la couche S, des appendices comme les flagelles et les pili ou des structures génétiques comme les molécules d'ADN extrachromosomiques appelées plasmides et les éléments génétiques transposables (en fait de très nombreuses bactéries possèdent des plasmides et des éléments génétiques transposables). On peut également considérer comme une structure facultative les endospores qui caractérisent quelques genres bactériens et qui ne sont élaborées que lorsque les conditions de vie sont défavorables.

#### 1) LA PAROI

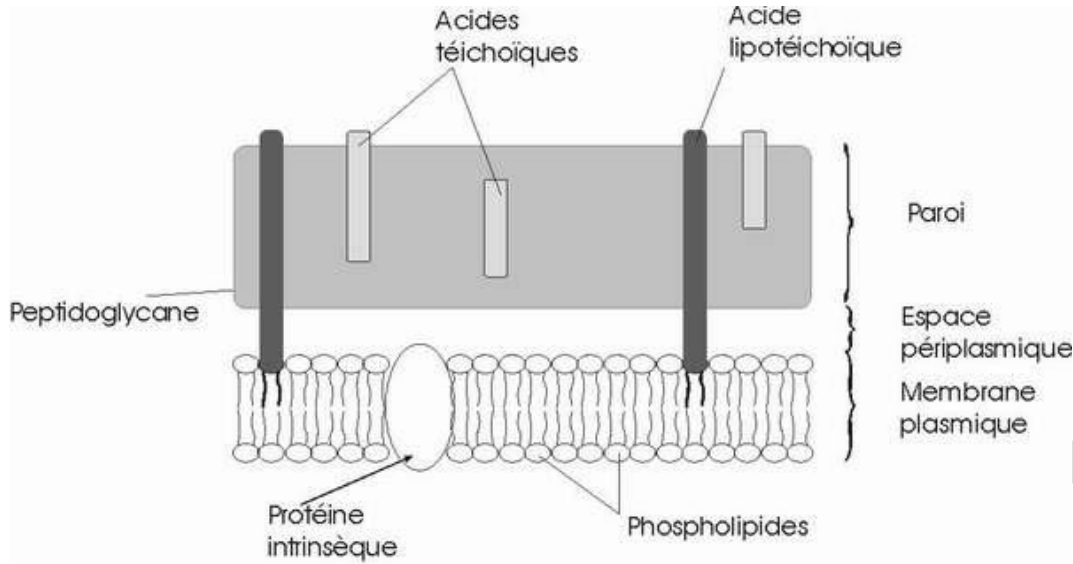
Elle est présente chez toutes les espèces bactériennes à l'exception des mycoplasmes. Elle entoure la bactérie et constitue la structure constante la plus externe.

##### A-Structure :

Selon la composition et la structure on peut distinguer deux types de paroi :

##### les parois épaisses et denses (Gram positif)

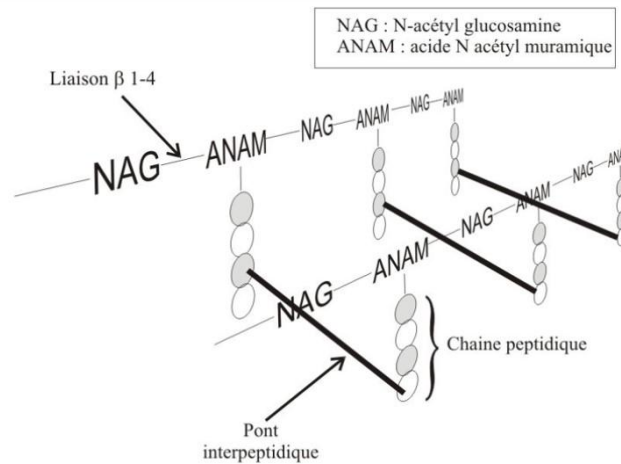
Elles sont faites presque uniquement de **peptidoglycane** ou **muréine** ou **mucopeptide** (l'élément structural de base). Cette substance à structure lamellaire est faite de chaînes glucidiques reliées entre elles par des peptides ; lui sont associés des **acides téichoïques**.



## Paroi d'une bactérie Gram positif.

R. Moreda Lycée Lacroix Nabonne

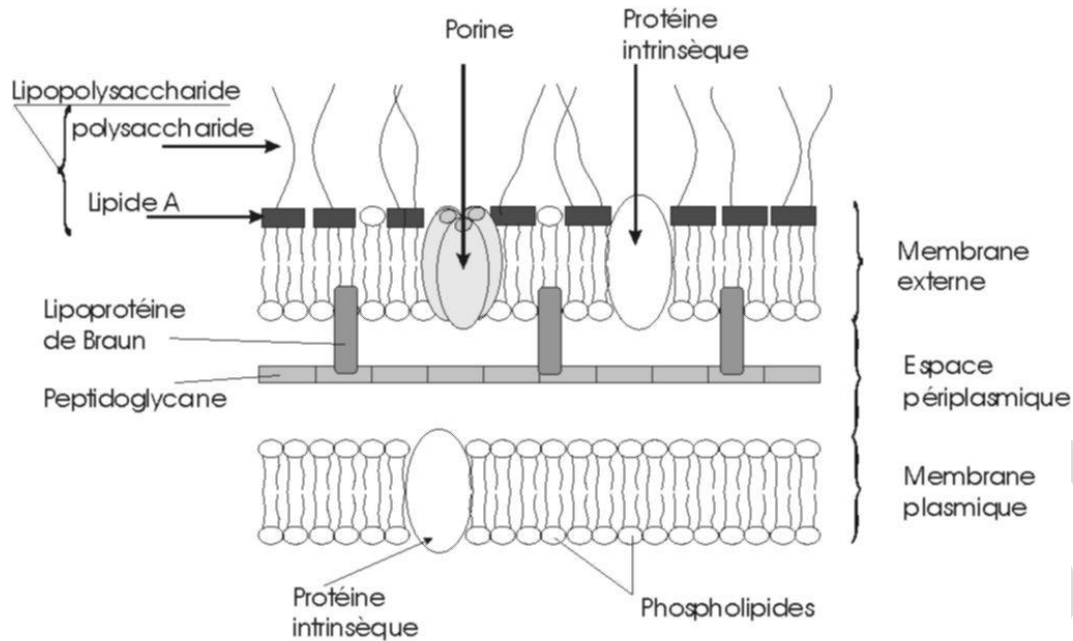
**Le peptidoglycane :** Il s'agit d'un glucosaminopeptide comportant une molécule de N-acétylglucosamine et une molécule d'acide N-acétylmuramique, reliées entre elles par une liaison  $\beta$ -glycosidique, l'acide muramique est en outre associé à une courte chaîne peptidique de 4 acides aminés appelée térapeptide : 2 alanine, 1 acide glutamique et 1 lysine.



**Les acides téichoïques :** représentent le deuxième composant essentiel de la paroi des bactéries Gram positif. Ils sont unis, par liaison covalente, aux glycolipides membranaires. Les acides teichoïques sont des antigènes importants des espèces bactériennes Gram positif.

### Les parois fines et lâches (Gram négatif)

La paroi est, ici beaucoup plus mince (10 à 15 nm) et présente une structure stratifiée plus complexe. Outre le peptidoglycane de base, elle comprend trois autres structures polymériques externes ou reliées à ce peptidoglycane.



### Paroi d'une bactérie Gram négatif.

R.Moreda Lycée Laarok Nabenne

On distingue en effet :

- **une couche phospholipidique** : dite « membrane externe » par la différencier de la membrane cytoplasmique et contient des protéines ;

- **un lipopolysaccharide (LPS)** : est structuré en trois parties :

\* **le lipide A** : c'est un glycophospholipide, et la partie la plus stable de LPS ;

\* **La partie centrale ou core** : elle est commune à toutes les bactéries Gram négatif ;

\* **la partie périphérique** : appelée antigène O., elle est très variables, par sa composition et sa conséquence, et elle est responsable du pouvoir immunogène des bactéries Gram négatif.

LPS (lipopolysaccharide)		
Chaînes latérales	Core	Lipide A
- Obtenues par hydrolyse acide du LPS ou des bactéries entières (souche S) - Nature polyosidique: spécificité antigénique O  <b><u>Chaînes latérales = antigènes O</u></b>  Exemples de glucides: glucose, galactose, mannose, glucosamine, abéquose, tyvélose (=didesoxyhexose)	- Polysaccharide de base - Caractérisé par la présence de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• N-acétylglucosamine</li> <li>• glucose, galactose</li> <li>• heptose</li> <li>• KDO (2-céto-3-désoxyoctonate)</li> </ul> <b><u>Core = polysaccharide de base, variable d'une espèce à l'autre</u></b>	- Glycophospholipide  <b><u>Lipide A = support de la toxicité de la molécule</u></b>

- **une lipoprotéine** : assurant la liaison entre la membrane externe et le peptidoglycane et conférant une certaine solidité à l'ensemble.

**B-Coloration de Gram :**

La coloration de Gram a été mise au point par un médecin danois (Christian Gram) en 1884. Depuis, elle est à la base de toute étude bactériologique. La coloration de Gram présente un double intérêt : Elle permet d'observer la morphologie bactérienne (forme, taille, groupement...) ; elle Permet d'observer une propriété à qui permet la classification des bactéries : l'alcool-résistance (ou Gram).

**Technique**

Il existe de nombreuses variantes, tant par la concentration ou le temps d'action. Chacun adaptera ce dernier à l'épaisseur du produit.

On choisi de vous présenter une seul technique : "**technique des minutes**"

Après fixation des bactéries sur une lame microscopique, on traite la préparation :

Etapes	mode opératoire	Qu'est ce qui ce passe ?	Etat des bactéries à cette étape
Coloration au violet de Gentiane	Recouvrir la lame de violet de gentiane	Le violet de gentiane colore les bactéries qu'elles soient Gram + ou Gram -	Toutes les bactéries sont colorées en violet
Laisser agir 1 minute			
Mordancage au lugol	Recouvrir la lame de lugol	Le lugol et le violet de gentiane forment un complexe qui renforce la coloration	Toutes les bactéries sont colorées en violet
Laisser agir 20 secondes puis renouveler le mordancage 2 fois			
Essai de décoloration par l'éthanol	Incliner la lame puis laisser couler de l'éthanol (95 °GL) durant 4 secondes. Attention : cette étape est délicate !	La paroi des bactéries à Gram + ne laisse pas passer l'éthanol qui ne peut dissoudre le violet de gentiane. La paroi des bactéries à Gram - laisse passer l'alcool qui dissout le violet de gentiane.	Les bactéries à Gram + restent colorées en violet. Les bactéries à Gram - ne sont plus colorées.
Rincer à l'eau distillé			
Recoloration à la fuchsine	Recouvrir la lame de d'eau et ajouter quelques gouttes de fuchsine de Zeihl	La fuchsine colore alors les bactéries non colorées	Les bactéries à Gram + restent colorées en violet. Les bactéries à Gram - sont colorées en rose.
Laisser agir 30 secondes à 1 minute puis rincer à l'eau distillée.			

Après coloration de Gram, les bactéries à paroi épaisses sont colorées en violet : elles sont dites "à Gram positif", les bactéries à paroi fine sont colorées en rose : ce sont les bactéries "à Gram négatif".

**C-Fonction :**



La paroi est responsable de l'intégrité structurale et de la forme des bactéries qui est élément essentiel de leur identification.

Sa rigidité et sa résistance remarquables sont dues à la présence du peptidoglycane et au maillage régulier de sa structure en réseau.

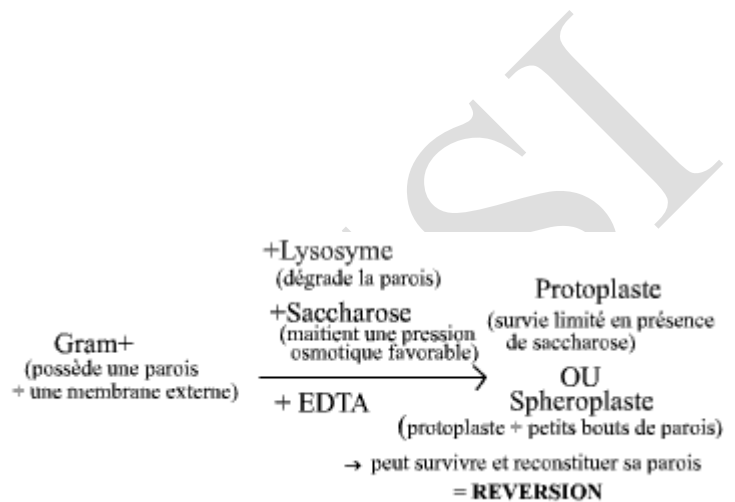
La paroi est également à l'origine de la formation du septum de vision cellulaire des bactéries et aurait donc, de ce fait, probablement un rôle significatif dans la répartition du matériel génétique aux deux cellules filles, de part et d'autre du septum.

**D:-Action du lysozyme:**

**Spheroplastes**

protoplasme isolé des cellules bactériennes

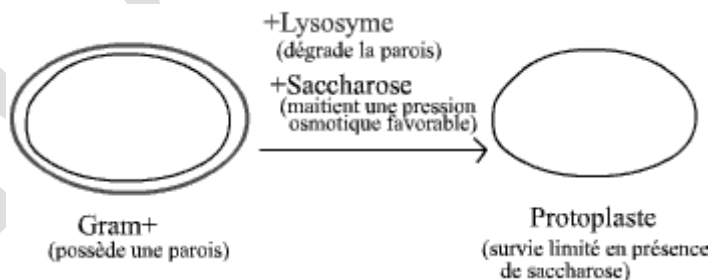
Gram-.



**Protoplastes**

-Cellule bactérienne libérée de sa paroi mucopolysaccharidique

-Cellule végétale ayant perdu sa paroi pecto-cellulosique.



- **Espace périplasmique**

Il renferme de nombreuses **protéines (enzymes)** qui peuvent être libérées par choc osmotique ou transformation des cellules en sphéroplast.

De plus, il contient des "binding proteins" servant de transport au galactose et au maltose.

**2) LA MEMBRANE CYTOPLASMIQUE**

La membrane cytoplasmique entoure le cytoplasme, elle a la structure lipidoprotidique de toutes les

membranes cellulaires.

Les molécules qui la constituent sont mobiles et "flottent" dans son épaisseur lui donnant une grande plasticité. Parmi les diverses protéines, certaines sont constitutives, d'autres ont un rôle de transport permettant le passage de diverses molécules ou ions (Na, K, Cl, sucres, aminoacides ou oligopeptides). Elle contrôle donc les entrées et sorties de la cellule.

La membrane cytoplasmique des bactéries contient en outre de nombreux enzymes assurant les synthèses et fournissant l'énergie nécessaire au métabolisme. La membrane assure les fonctions des mitochondries, qui n'existent pas chez les bactéries.

Outre la membrane cytoplasmique qui limite le contenu cytoplasmique, l'existence de structures membranaires intracytoplasmiques, appelées **mésosomes** apparaissent comme des expansions ou des invaginations de la membrane cytoplasmique.

### 3) LE CYTOPLASME

Le cytoplasme bactérien se présente comme un hydrogel colloïdal, dépourvu de structures intracellulaires

Il contient en suspension le matériel génétique bactérien (chromosome et plasmide) , de très nombreux ribosomes et quelques inclusions facultatives.

Le cytoplasme a un pH moyen de 7 à 7,2 et sa composition est hétérogène. Il est le siège de la plupart des réactions métaboliques cellulaires et notamment de la glycolyse et de des métabolismes de synthèse des macromolécules.

#### **A-Ribosomes :**

Les ribosomes sont de petites granulations sphériques, assurent les synthèses protéiques en traduisant le m-RNA. Ils sont en étroit contact avec le matériel nucléaire. Les ribosomes des bactéries sont différents des ribosomes des eucaryotes. Ils sont la cible de nombreux antibiotiques.

#### **B-Chromatophores :**

Chez les bactéries photosynthétiques les organelles qui réalise la photosynthèse sont appelé **chromatophores** en raison, d'une part, de leur ultra structure différente de celle de chloroplastes, d'autre part, de la nature de pigments photosynthétiques.

#### **C-Granulations et Substances de réserves :**

Les bactéries peuvent accumuler des matériaux organiques ou inorganiques consistant généralement des réserves d'énergie. Lorsque ces substances atteignent une taille suffisante, elles forment des granulations.

#### **D-Vacuole à gaz :**

Ces vésicules remplies de gaz sont rencontrées chez les membres des trois principaux groupes procaryotes photosynthétiques : les cyanophycées, bactéries pourpres et les bactéries vertes. Elles permettent à ces micro-organismes d'habitat aquatique, de flotter et d'ascensionner à la surface de l'eau.

#### 4) L'APPAREIL NUCLEAIRE

##### A- Le nucléoïde.

C'est le génome bactérien (ou chromosome bactérien). Il peut exister sous plusieurs copies en même temps. On assiste au phénomène d'amatose : il n'y a pas de synchronisation entre la division de l'ADN et celle de la cellule.

##### a) Organisation.

Ce nucléoïde n'est pas isolé du cytoplasme par une membrane. Il est constitué par un double brin circulaire (refermé) d'ADN : c'est un assemblage en double hélice de deux chaînes antiparallèles et complémentaires de nucléotides. (A et G sont puriques alors que C et T sont pyrimidiques).

**N.B:** Les nucléotides vont donner les codons qui eux-mêmes vont donner les gènes.

L'ADN bactérien est sans histones et est super-enroulé. Très souvent, ce dernier est ancré en un ou plusieurs points de la membrane plasmique. Par exemple, chez *Escherichia coli*, on trouve 5 millions de paires de base où 4300 gènes sont identifiés (60% du total). Cet ADN mesure 1mm quand il est déroulé et représente 10% du volume cellulaire.

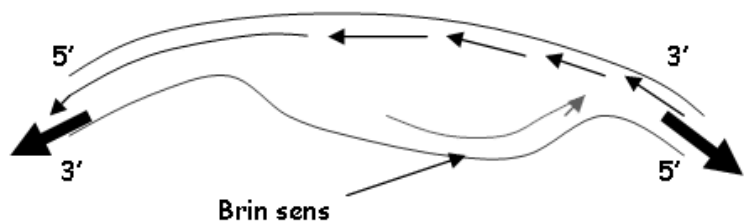
##### b) Rôle.

C'est le support de l'hérédité. Ce nucléoïde permet de lire le génome, de le transcrire en ARN (afin de synthétiser des protéines). Il subit aussi la réplication pour assurer la descendance.

##### c) Biosynthèse de nucléoïdes.

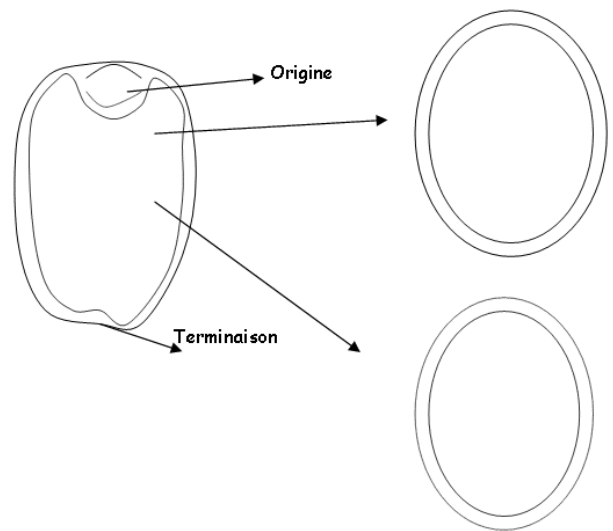
La réplication est la synthèse d'un nouveau génome : c'est un mécanisme semi-conservateur et bidirectionnel.

Il apparaît une fourche de réplication grâce à une DNA-polymérase. Il y a phosphodiesterification entre l'amorce d'ADN et ce qui est lu dans le sens 3' → 5'.



On parle de brin sens quand il y a réplication dans le même sens que celui de l'ouverture de la fourche de réplication.

Les fragments synthétisés sur le brin anti-sens sont reliés par une ADN-ligase. Les deux brins sont synthétisés en même temps dans les deux sens.



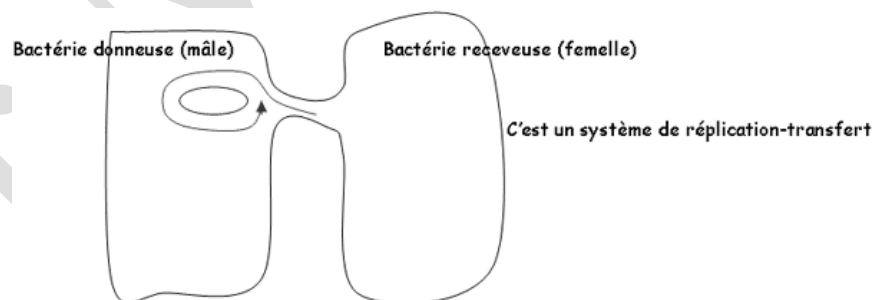
L'ADN-gyrase permet de dénouer au point d'origine et suit le mouvement des fourches. Cette enzyme est inhibée la norobiocine (antibiotique).

### B- ADN plasmidique (Le nucléoïde)

**\*Définition :** ce sont des molécules d'ADN double brin, circulaire, qui, extrachromosomique, ne constituent pas le génome bactérien. Ils ont une réplication autonome (un pouvoir infectieux), une petite taille et codent pour une information génétique non-indispensable. Ils peuvent infecter des bactéries ou être échangés entre elles.

Ces plasmides ont été découverts en 1952 sur *Shigella dysenteriae*.

**\*Réplication et transfert :** elle se fait de façon autonome selon le même processus que celui du nucléoïde. Ils ont la même vitesse de réplication : on peut donc avoir plusieurs plasmides en même temps dans une même cellule. Le transfert des plasmides se fait par conjugaison :



**\*Propriétés :** les plasmides sont des unités codantes. Ils donnent à la bactérie :

- la possibilité de synthèses spéciales
- une résistance à des antibiotiques : comme des enzymes qui dégradent les antibiotiques (par exemple : la  $\beta$ -lactamase qui résiste aux pénicillines.
- Une pathogénicité. Chez *E. coli*, il y a synthèse d'entérotoxines qui provoquent des maladies. *E. coli* peut aussi gagner l'aptitude à se fixer sur une membrane.
- Un pouvoir infectieux

- Le plasmide F donne la possibilité de recombinaison génétique : il code pour la synthèse de pili sexuels pendant la conjugaison.

### 5) LA CAPSULE

De nombreuses bactéries élaborent des substances organiques gélatino-visqueuses qui entourent leur paroi d'une couche plus ou moins compacte. Sa constitution est le plus souvent polysaccharidique à l'exemple des dextranes des *Leuconostoc* ou des Levanes des *Pseudomonas*.

Les capsules contenant des polyosides sont désignées par le terme de **glycocalyx**.

Dans de rares cas, principalement dans le genre *Bacillus*, la capsule est de nature polypeptidique.

Elle n'est pas colorable par les techniques bactériologiques. Pour la mettre en évidence au microscope, on réalise une suspension des bactéries dans de l'encre de chine et on observe la capsule sous forme d'un halo clair et réfringent.

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.

La capsule n'a pas de fonction vitale pour les bactéries, mais sa présence détermine diverses propriétés spécifiques :

\*Adhésion : c'est une fixation (adsorption) plus ou moins spécifique à toute sortes de supports, inerte ou vivants, assuré en particulier par les polyosides du glycocalyx.

\*Protection : la capsule constitue un élément significatif de protection des bactéries vis à vis de leur environnement et spécifiquement à l'égard de certains facteurs physico-chimique du milieu comme la dessiccation.

\*la capsule empêche aussi la fixation des bactériophages et protège les bactéries de la prédation des protozoaires de leur milieu.

\*Pathogénicité : la capsule est le support de nombreux antigènes, ainsi, les pneumocoques capsulés se révèlent pathogènes, alors que les pneumocoques non capsulés ne le sont pas.

### 6) LES FLAGELLES ou Cils

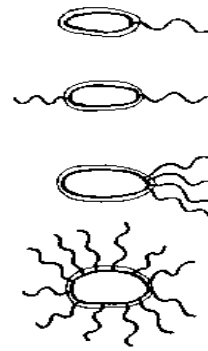
Les bactéries mobiles se déplacent soit par **glissement** sur un support (cyanobactéries), soit par **rotation** autour d'un axe central (spirochètes), soit au moyen de **cils** ou de **flagelles**.

Les cils et les flagelles sont des filaments extrêmement ténus, invisibles au microscope optique sur les bactéries vivantes, Ils sont constitués d'une protéine appelée **flagelline**.

Les bactéries peuvent posséder un nombre variable de flagelles : de 1 à 50, dont la disposition diffère d'une bactérie à l'autre. On distingue en effet deux systèmes de distribution et plusieurs types de répartition des flagelles à la surface cellulaire :

\* **Système polaire :**

- un seul flagelle polaire = ciliature **monotriche**,
- un flagelle à chaque pôle = ciliature **amphitriche**,
- une touffe de flagelles polaires = ciliature **lophotriche**.

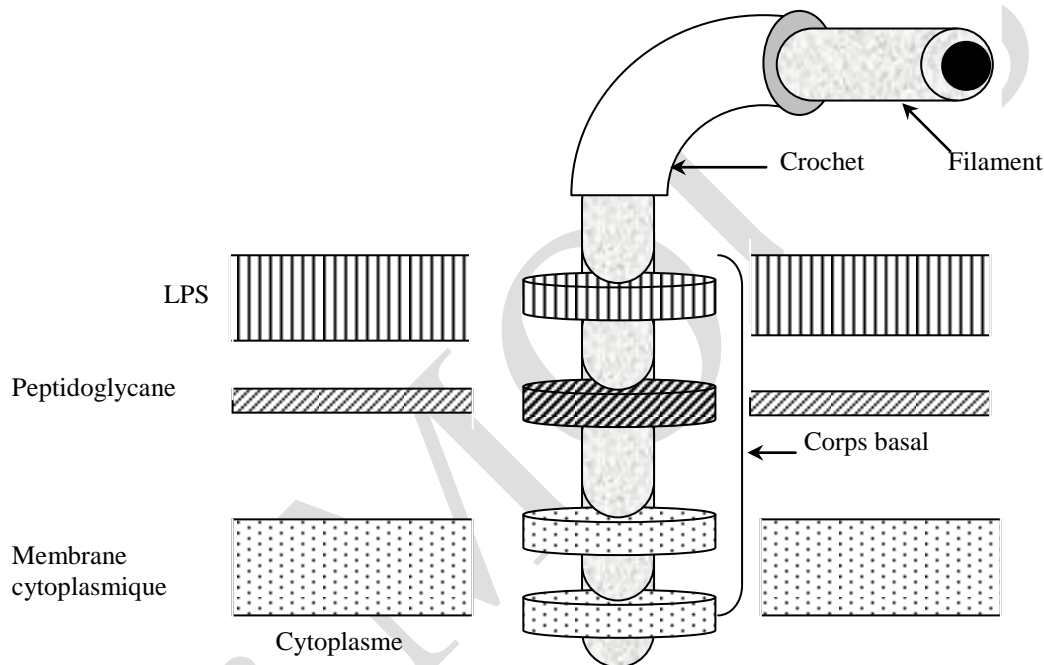


\* **Système péritriche :**

- des flagelles entourant la bactérie = ciliature **péritriche**.

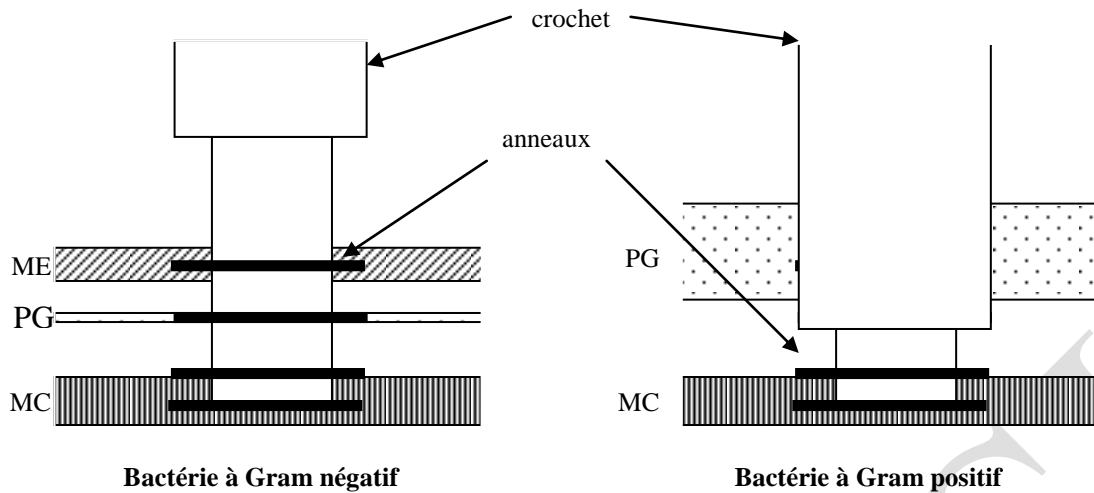
Le flagelle se compose de trois parties distinctes : un filament hélicoïdal externe, un crochet coudé qui fixe le filament à la cellule, un corps basal entièrement logé dans la cellule et terminé par un système complexe d'anneaux qui sont responsables de son ancrage intracellulaire.

Les flagelles de certaines bactéries sont porteurs de propriétés antigéniques.



**Structure du corps basal du flagelle**

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.



## 7) LES PILI

Les **pili** (poils) sont des structures externes de nature protéique, plus courtes, plus minces et plus rigides que les flagelles et n'ont aucune fonction locomotrice.

Il existe de nombreux types, aux fonctions spécifiques et pour la plus part mal connues.

Les deux principaux types de pili sont les **pili communs** et les **pili sexuels**, sont présents chez la plupart des bactéries à Gram négatif et principalement chez les Entérobactéries.

Ils sont formés d'un polymère d'une même protéine structurale spécifique : la **piline**.

### A- Les pili communs :

Leur nombre par bactérie varie de quelque unité principale est de permettre l'adhésion des bactéries à divers supports et particulièrement à la surface des cellules eucaryotes qu'elles colonisent.

Les pili communs sont également responsables de la tendance des bactéries, qu'en sont pourvues, de se développer à la surface des milieux liquides en formant une pellicule visqueuse ou **film bactérien**.

### B- Les 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".

## 8) LES SPORES OU LES ENDOSPORES

L'endospore ou spore est un organite facultatif qui se forme au sein du cytoplasme de certaines bactéries et qui diffère de la cellule végétative par sa forme, sa structure, son équipement enzymatique et par sa résistance aux agents physiques et chimiques ce qui lui permet de survivre dans des conditions très défavorables.

La sporulation est le phénomène de différenciation qui conduit de la forme végétative à la spore. La transformation inverse est appelée la germination.

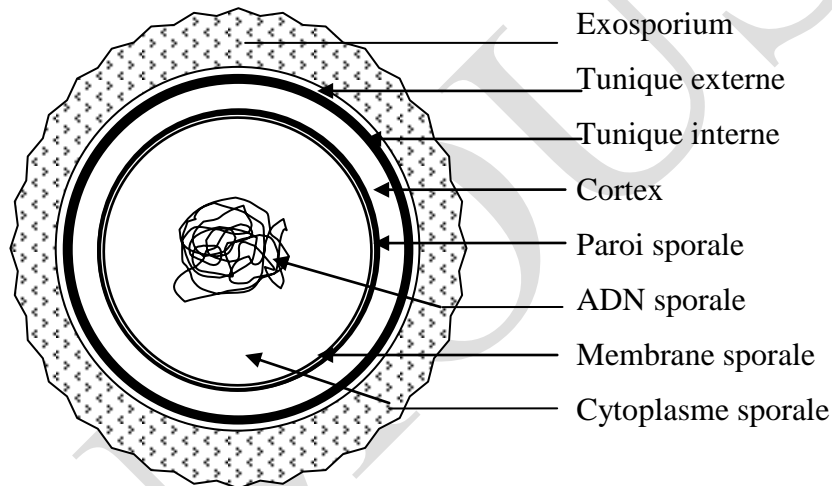
Les principales espèces capables de sporuler appartiennent aux genres *Bacillus*, *Clostridium* et

*Sporosarcina.*

**Mise en évidence :** Au microscope en contraste de phase, la spore apparaît comme un espace clair très réfringent et limité par un contour net et régulier. Elles sont rondes ou ovales, d'un diamètre variant de 0,2 à 2 µm.

**Situation :** Si le diamètre est supérieur à celui de la cellule végétative la spore est qualifiée de déformante, dans le cas contraire elle est non déformante. Sa situation à l'intérieur de la cellule permet de reconnaître des spores centrales, subterminales ou terminales.

**Structure :** La spore (schéma) est constituée par un cytoplasme de texture homogène, pauvre en ARN, en enzymes et en eau mais contenant une quantité d'ADN proche de celle de la cellule végétative. La membrane cytoplasmique, analogue à celle de la cellule végétative, est entourée de la paroi sporale et du cortex. Le cortex, très transparent aux électrons, contient le quasi totalité d'un constituant spécifique des spores, l'acide dipicolinique sous forme de dipicolinate de calcium. Appliqué contre le cortex on trouve la ou les tuniques (appelées alors intine ou tunique interne et exine ou tunique externe) formées de protéines riches en ponts disulfures puis, éventuellement, l'exosporium.



**Propriétés :** L'état de déshydratation, la présence de dipicolinate de calcium et la richesse en ponts disulfures des tuniques expliqueraient les propriétés de résistance des spores. Les spores sont en effet douées d'une longévité et d'une résistance importante. La longévité est difficile à apprécier mais elle pourrait atteindre plusieurs milliers d'années pour certaines espèces de *Bacillus*. La thermorésistance est très variable selon les espèces et même selon les souches, selon l'âge des cultures et selon les conditions de culture.

Les spores résistent également aux radiations, aux pressions, aux antibiotiques, aux antiseptiques et aux désinfectants.

**Sporulation :** elle est provoquée par l'épuisement du milieu en substrat nutritif et elle peut nécessiter des conditions particulières : absence d'oxygène pour les clostridies, présence d'oxygène pour *Bacillus anthracis* (d'où l'interdiction d'autopsier en plein champ des animaux dont la mort semble être due au charbon bactérien). Le processus de sporulation débute à la fin de la phase de croissance exponentielle et il se déroule en 6 étapes (schéma) :

**Stade I ou formation du filament axial :** il se caractérise par la présence d'un matériel nucléaire qui s'étend sur toute la longueur de la cellule et qui correspond à 2 génomes.



**Stade II ou formation d'un septum** : les deux génomes se séparent et en même temps la membrane cytoplasmique s'invagine près d'un pôle de la cellule pour former un septum de sporulation qui partage la cellule en deux parties inégales.

**Stade III ou Enkystement** : le septum de sporulation va envelopper le cytoplasme de la plus petite partie pour former une **préspore**.

**Stade IV** : Entre les deux membranes limitant la préspore se forme la paroi sporale puis apparaît rapidement le cortex.

**Stades V** : les tuniques (interne et/ou externe) sont élaborées.

**Stade VI** : après maturation, la cellule mère se lyse et libère la spore mature.

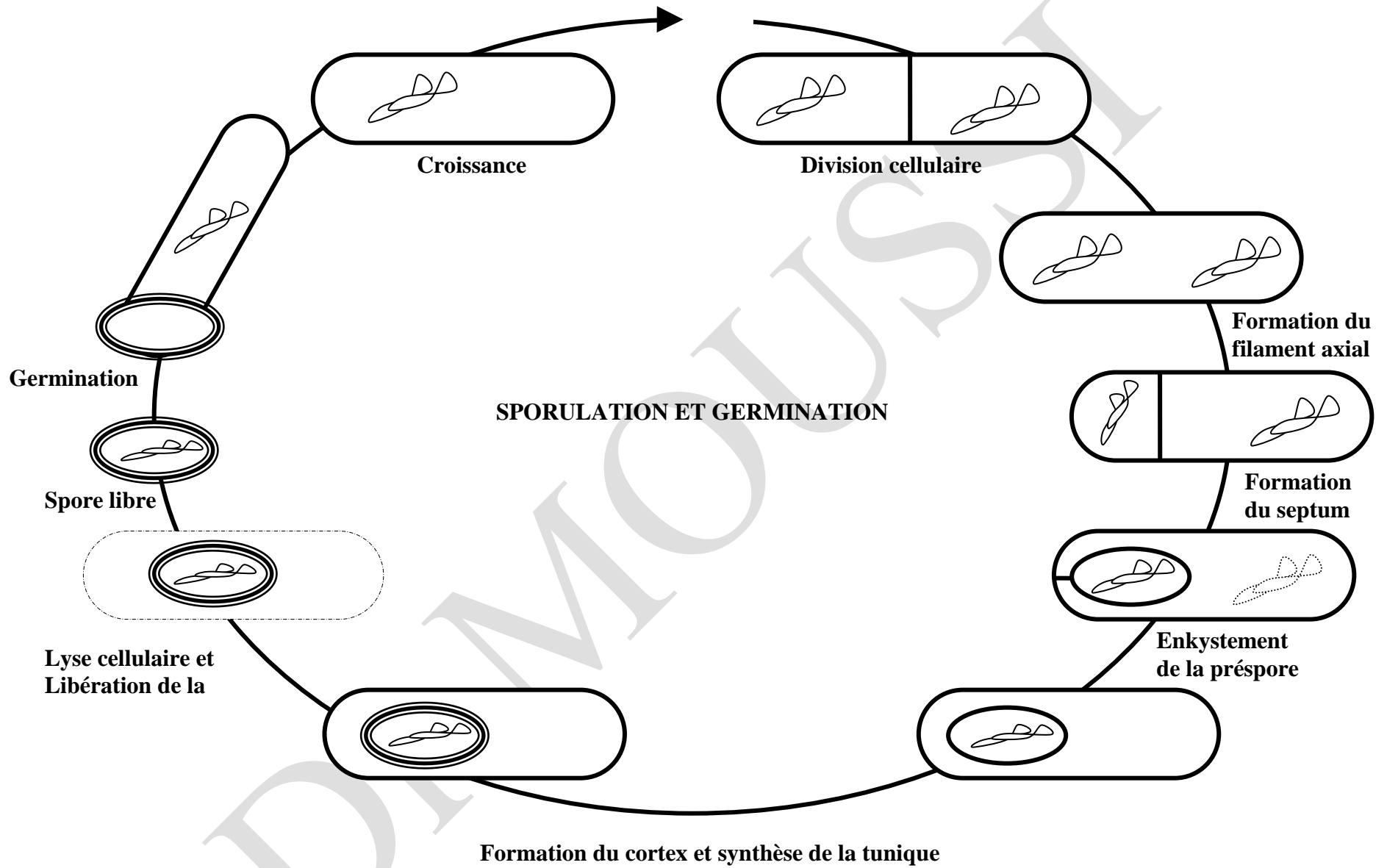
Au cours de la sporulation il peut y avoir synthèse de différentes substances, antibiotiques, toxines (entérotoxine de *Clostridium perfringens*) ou corps parasporal (*Bacillus thuringiensis*, *Bacillus sphaericus*...) contenant des toxines létales pour les insectes.

**Germination** : la spore placée dans des conditions favorables (eau, glucose, acides aminés) la spore va donner naissance à une nouvelle cellule végétative et on distingue trois stades dans ce processus de germination.

**Stade I ou l'activation** : est un stade souvent indispensable correspondant à une lésion des enveloppes sporales par des agents physiques ou chimiques. En l'absence de cette activation, même placée dans un environnement favorable, les spores sont incapables de germer. L'activation peut être provoquée par des agents mécaniques (choc, abrasion), des agents physiques (choc thermique) ou chimiques (lysozyme, acides...).

**Stade II ou l'initiation** : débute en présence de conditions favorables d'hydratation et en présence de métabolites effecteurs (alanine, adénosine, magnésium, ...) qui pénètrent à travers les enveloppes endommagées et déclenchent un processus autolytique. Des enzymes hydrolytiques dégradent de nombreux constituants de la spore et notamment le cortex qui libère le dipicolinate de calcium. Après l'élimination de la barrière corticale, la spore s'imbibe d'eau, se gonfle et perd ses propriétés de résistance.

**Stade III ou l'excroissance** : l'émergence d'une nouvelle cellule végétative comprenant le cytoplasme sporal entouré de la membrane et de la paroi est possible grâce à l'altération des enveloppes. La nouvelle cellule entre dans une phase active de biosynthèse et la croissance reprend graduellement.



Dr MOUSSSI