

2.6- Les Pili ou Fimbriae

2.6.1- Structure des Pili

L'existence d'appendices filiformes différents des flagelles a été révélée par le microscope électronique. Ils sont fréquentés chez les bacilles Gram négatifs, rares chez les formes Gram positives. On leur a donné le nom de Pili (fimbriae) (**Fig.12**). On en distingue deux catégories, de morphologie et de fonction distincte : **les Pili commun** (nommer aussi des fimbriae ou Pili de type I, III et IV) et **Pili sexuels** (nommer aussi Pili de type II).

-Pili commun : sont distribués en grand nombre autour de la bactérie. Ils sont ténus, courts, rigides et donc cassants. Leur présence est en relation avec les activités hémagglutinantes de la bactérie.

-Pili sexuels : plus long et terminant par renflements. Leur nombre est faible, varie entre 1 et 4. Ils paraissent jouer un rôle défini. Ils sont aussi chez certains de bactéries, les streptocoques ils sont porteurs de protéine M antigéniques.

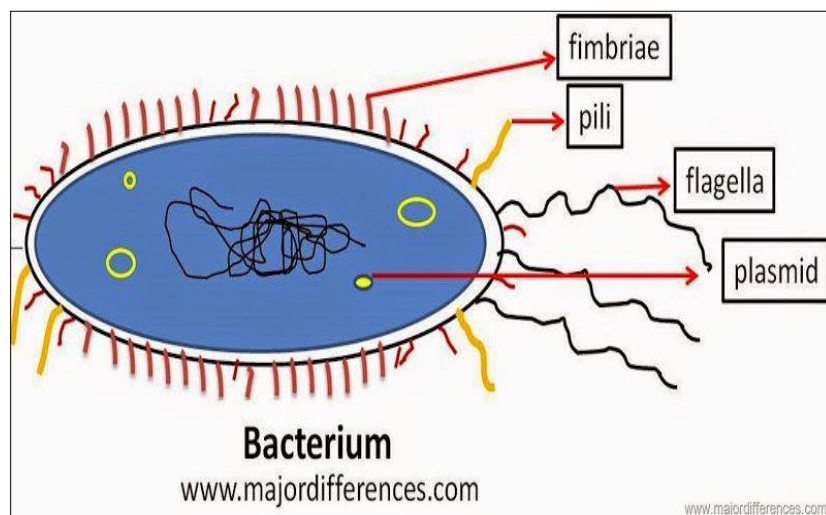


Figure 12 : Schéma représente le fimbriae et Pili.

2.6.2- Fonction des Pili

-Les fimbriae de type I, III, jouent un rôle dans l'adhésion des bactéries aux différents supports vivants ou non. Ils favorisent la formation de biofilm.

-Les fimbriae de type IV, retrouvés par exemple chez *Pseudomonas aeruginosa*, en plus de l'attachement, ils sont impliqués dans un autre mode de mobilité. On les retrouve au niveau des pôles des cellules bactériennes. Les fimbriae IV se contractent et se rétractent comme un ressort, pour permettre la mobilité de la bactérie.

-Le pili sexuel ou de type II: Il a un rôle dans la conjugaison bactérienne (un des 3 modes de transfert de matériel génétique d'une bactérie à une autre). Entraîner la création d'un pont cytoplasmique entre les 2 bactéries, permettant ainsi le passage d'une molécule de plasmide.

2.7- La capsule

2.7.1- Morphologie de la capsule

De nombreuses bactéries élaborent des substances organiques visqueuses qui entourent leur paroi d'une couche plus ou moins compacte. Cette couche est de nature gélatino-muqueuse est appelée Capsule. Toutes les bactéries ne produisent pas de capsule et chez une même souche, la formation est largement influencée par les constituants du milieu.

Les bactéries capsulées, après développement sur milieu gélosé, donnent des colonies lisses (appelées "S" pour "Smooth") ou muqueuses, alors que les bactéries non capsulées donnent des colonies rugueuses (dites "R" pour "Rough"); il s'agit dans ce dernier cas de bactéries ayant perdu la capacité de synthèse de la capsule suite à une mutation.

2.7.2- Composition chimique

Elle est habituellement de nature polysaccharidique (sucres sous forme d'acides uroniques tel l'acide galacturonique, l'acide glucuronique, mais aussi sous forme de sucres phosphorés), quoique dans le cas de *Bacillus anthracis* (le bacille du charbon) elle consiste en un polypeptide de l'acide D-glutamique.

2.7.3- Fonction de capsule

La capsule joue un rôle important non seulement dans l'attachement des bactéries mais aussi dans leur **virulence** en les protégeant contre la phagocytose. Les cellules non capsulées sont **avirulentes**.

NB/ La capsule est antigénique, les antigènes capsulaires sont dénommés **antigène K**. Leur étude permet la distinction de plusieurs sérotypes au sein de la même espèce bactérienne

2.8- Les cils et les flagelles

Les flagelles, encore appelés cils, sont des structures bactériennes facultatives. Ce sont des organes filamenteux, permettant la locomotion des bactéries. Chez les entérobactéries ils permettent une vitesse de déplacement de 10 à 20 micromètres par seconde ; à l'échelle humaine, cette vitesse correspondrait à environ une soixantaine de km / h.

2.8.1- Mise en évidence

Indirecte : état frais (bactéries en mouvement) ou en milieu semi-gélosé. Plusieurs facteurs influence la mobilité tels que l'âge de la culture, la température (*Yersinia sp* est immobile à 37°C et mobile à 22°C).

Directe : en microscopie optique après avoir épaissi les flagelles par des colorations spéciales (Rhodes, Leifson : fuchsine basique) ; ou en microscopie électronique.

La meilleure méthode d'étude est l'observation au microscope électronique qui, seule, permet de détailler leur forme, leur mode d'insertion et leurs dimensions.

2.8.2- Structure des cils et flagelles

Ils sont longs d'une dizaine de μm et ont un diamètre qui varie entre 12 à 30 nanomètres. Ils sont composés de protéines (**flagellines**), d'un PM de 15 à 70 kDal. Leur nombre varie de 1 à 30 selon les espèces bactériennes. Ils sont souvent rencontrés chez les bacilles et rarement chez les coques. Ils jouent un rôle important dans la spécificité antigénique des bactéries (antigènes H). Vu leur faible épaisseur, pour pouvoir les observer au microscope photonique, on fait appel à des techniques de coloration spéciales qui permettent l'épaississement des flagelles (**Fig.13**).



Figure 13 : Cellules flagellées de *Vibrio cholerae*.

Selon la disposition des flagelles (**Fig.15**) on distingue :

- Les bactéries **monotriches** (un seul flagelle polaire),
- Amphitriche** (un flagelle à chaque pôle),
- lophotriches** (une touffe de flagelles polaires)
- Péritriches** (flagelles répartis sur toute la surface de la bactérie).

Les spirochètes possèdent un flagelle interne appelé filament axial (**Fig.16**).

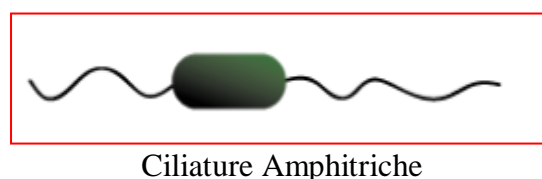
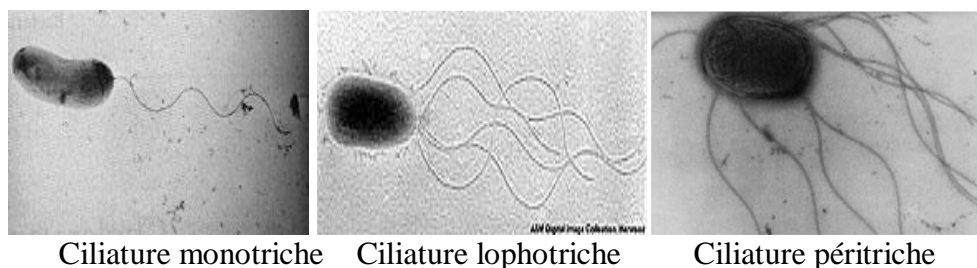


Figure 15 : Différents systèmes ciliaires bactériens.



Figure 16: Leptospire avec flagelle interne.

2.8.3- Fonction des flagelles

Ils ont un rôle :

- Dans la **mobilité** de la bactérie (implantation **monotriche/polaire** ou **péritriche**).
- **Antigénique** : Les antigènes flagellaires (Ag H) déterminent différents sérotypes (exemple : sérotypage des *Salmonella*). La spécificité antigénique repose sur le nombre et la séquence des acides aminés de la flagelline.

2.9- La spore








Certaines bactéries ont le pouvoir de se transformer en petites unités ovales ou sphériques de résistance lorsque le milieu s'épuise en éléments nutritifs ou lorsque les conditions physico-chimiques extérieures changent, on les appelle « spores » ou « endospores » puisque leur formation est intracellulaire.

Les endospores caractérisent 3 principaux germes bactériens. *Bacillus*, *Clostridium* et *Sporosarcina*.

2.9.1- Morphologie de la spore :

Les spores sont de petites unités ovales ou sphériques. Elles peuvent déformer ou non le corps bactérien. Leur position dans la cellule est variable : centrale, terminale, subterminale (**Tab.1**). Elles servent également dans l'identification bactérienne. La spore peut-être libre ou non. La recherche de tous ces caractères se fait dans un but taxonomique.

Tableau 1: les différentes formes et positions des spores

Forme	Position	Déformation
 <p>Ovale</p>	 <p>Centrale</p>	 <p>Non déformante</p>
 <p>Sphérique</p>	 <p>Subterminale</p>	 <p>Déformante</p>
	 <p>Terminale</p>	

2.9.2- Structure de la spore

Cette forme cellulaire est multicouche, chaque couche possédant des propriétés différentes (**Fig.17**).

- **Cellule sporale (core)**

La cellule sporale contient l'ensemble des structures cellulaires (ribosomes, ADN, ...). La cellule est très déshydratée (l'eau représente 25 à 55 % du poids humide). Elle est entourée par une membrane interne. L'ADN est protégé par des protéines (SAPS, *acid-soluble spore proteins* en anglais).

- ✓ **Membrane interne**

La membrane (interne) possède des lipides similaires à la cellule végétative, par contre, les protéines trouvées sont-elles différentes. Ces modifications permettent de diminuer la perméabilité de la membrane.

- ✓ **Cortex**

Le cortex est composé de peptidoglycane. Sa composition est différente de celle du peptidoglycane de la cellule végétative.

- ✓ **Membrane externe (Tunique)**

La membrane externe se trouve entre le cortex et la tunique. Elle a un rôle important lors de la formation de la spore. Par contre elle ne possède pas de rôle connus dans les propriétés de résistances de la spore. Elle pourrait contenir des pigments servant à protéger des radiations ou servir de barrière de sélectivité.

- ✓ **Exosporium**

L'exosporium est une membrane très mince trouvée à la surface des spores de certaines bactéries. Son rôle est encore inconnu. Cette membrane pourrait servir de barrière contre les anticorps chez *Bacillus anthracis*.

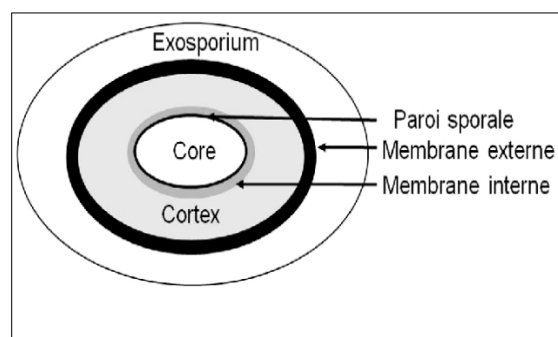


Figure 17: Structure générale d'une spore bactérienne.

2.9.3- Phénomène de sporulation

Durant la sporulation, la cellule végétative subit une déshydratation progressive du cytoplasme, par l'apparition de certains composés (dipicolinate de calcium), une densification des structures nucléaires et enfin la synthèse d'une paroi sporale épaisse, imperméable, et donc hautement résistante (**Fig.18**).

La spore qui prend naissance dans la cellule végétative est une cellule entièrement nouvelle et différente du point de vue structure, composition, chimique et enzymatique. La sporulation se fait à la fin de la phase exponentielle en un temps de sept heures et il se déroule en sept étapes :

Etape 1 : la sporulation débute par l'arrêt de la synthèse d'ADN, l'ARN et des protéines. Le premier changement consiste en la transformation du nucléotide en un filament chromatique axial qui s'étend sur toute la cellule.

Etape 2 : le filament nucléaire se condense à une extrémité et se brise. On remarque une autonomisation du futur noyau de la spore et division cellulaire asymétrique favorisée par un septum transversal subpolaire qui partage la cellule en deux parties inégales : le sporange et la future spore.

Etape 3 : la synthèse du septum se poursuit et elle aboutit à la formation d'une zone lisse, transparente, entièrement autonome, comprenant un noyau, un cytoplasme et une double membrane, l'une cytoplasmique, l'autre préfigurant la future paroi de la spore : c'est la préspore.

Etape de 4 à 7 : dans la sporange, la préspore va murir progressivement en s'entourant d'un certain nombre de téguments. Dans le cytoplasme de la spore mure individualisé et libéré la plupart des enzymes de cellule végétative sont dégradés et remplacés par un lot de constituant de spore à ce moment le cytoplasme est appelé core. Il contient un noyau comparable à celui de la cellule et tous le nécessaire à la synthèse des protéines et un système producteur d'énergie. Les enveloppes entourant le core sont au nombre de quatre : la paroi sporale (enveloppe interne= peptidoglycane). Le cortex (couche externe = lipoprotéine contenant 20% de sucre)

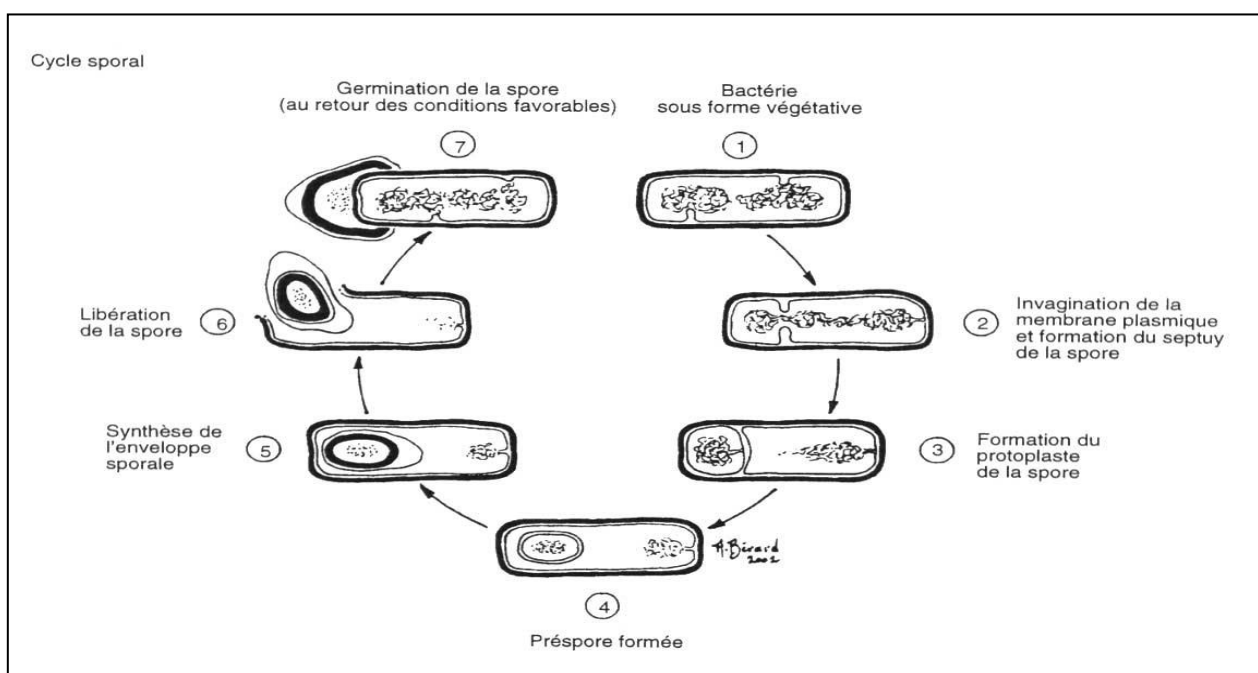


Figure 18: Etapes de l'endosporulation.

2.9.4- Propriétés de la sporulation :

La spore possède de nouvelles propriétés par rapport à la cellule végétative : dans la nature (conditions naturelles), la spore permet de résister aux manques d'eau et de nutriments. Expérimentalement on a démontré les propriétés suivantes :

-La thermo résistance : La spore résiste en général à des températures de 70-80°C pendant 10 minutes, parfois plus. Cette propriété est due à la présence de l'acide dipicolinique, la déshydratation de la spore et aux protéines « SASP » (petites protéines acides et solubles pouvant se fixer à l'ADN).

-Résistance aux agents physiques et chimiques : La spore résiste aux rayons Ultraviolets, aux rayons gamma (Calcium, et SASP). Aux antiseptiques, désinfectants, antibiotiques (la tunique).

-Synthèse d'antibiotiques : Certaines bactéries synthétisent des antibiotiques au début de la phase de sporulation. Mais aussi **des toxines** (entérotoxine de *Clostridium perfringens*) ou des substances à activité biopesticide (toxines qui tue des insectes).

2.9.5- La Germination :

Lorsque la spore est placée dans des conditions favorables de croissance, elle subit une série de transformation progressive et devient finalement une nouvelle cellule végétative. Ce processus appelé germination comprend trois stades :

- **L'activation** : correspondant à une lésion des enveloppes sporales par des agents physiques (choc thermique) ou chimiques (acides, lysozyme) ou mécaniques (abrasion, choc).

- **L'initiation** : débute en présence de conditions favorables d'hydratation et de métabolites effecteurs (alanine, magnésium, adénosine) qui pénètrent à travers les enveloppes endommagées. Des enzymes hydrolytiques dégradent les constituants de la spore ; il y a libération du dipicolinate de calcium. Le cortex ainsi détruit, la spore s'imbibe d'eau et gonfle.

-**L'émergence de la nouvelle cellule végétative**, grâce à l'altération des enveloppes. (**L'excroissance**)