

# *CHAPITRE 5*

## *LES BACTERIES*

## ***I – DEFINITION***

Les Bactéries sont des procaryotes à structure unicellulaire spécifique. Leur découverte remonte vers la fin du 17<sup>ème</sup> siècle avec l'invention des premiers microscopes. Ce sont des **êtres unicellulaires ubiquistes**, on les trouve aussi bien dans les eaux, le sol, dans l'air et dans les cavités naturelles.

Leur **large distribution** est due à leurs caractéristiques suivantes:

- leur structure extrêmement simple,
- leur taille extrêmement petite et leur mode de division rapide,
- leur capacité de résister à des environnements difficiles avec possibilité dans certains cas de former des endospores très résistantes,
- leur grande diversité de mode de nutrition.

La taille d'une bactérie est variable, de l'ordre de 0.5 µm à 10 µm. Leurs modes de vie très variés vont de l'autotrophie au parasitisme.

Les bactéries sont entourées par une enveloppe rigide. Elles sont dépourvues de chlorophylle, cependant chez certaines bactéries, d'autres pigments photosynthétiques peuvent être présents.

Les bactéries parasitent les organismes animaux, envahissent les plantes, métabolisent les substances minérales et organiques et participent à de nombreux cycles biochimiques.

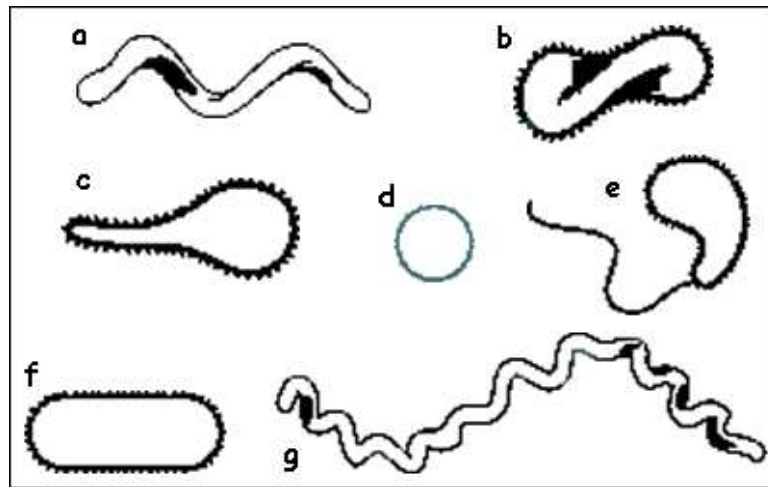
L'étude des bactéries est fondamentale dans la connaissance des fermentations et des maladies.

## ***II MORPHOLOGIE***

La forme de la bactérie est maintenue grâce à sa paroi rigide. Les bactéries se présentent sous différentes formes souvent groupées en trois formes principales :

- la plupart des bactéries sont sous forme sphérique : on les appelle des cocci
- les bactéries peuvent également être cylindriques : on les appelle des bacilles
  - les bacilles sous forme de bâtonnets : exemple Bacille de Koch
  - les vibrions courbés
- les bactéries en spirille ; ce sont les forme particulière mycélienne (Streptomyces, Actinomyces), hélicoïdale, spirochètes...

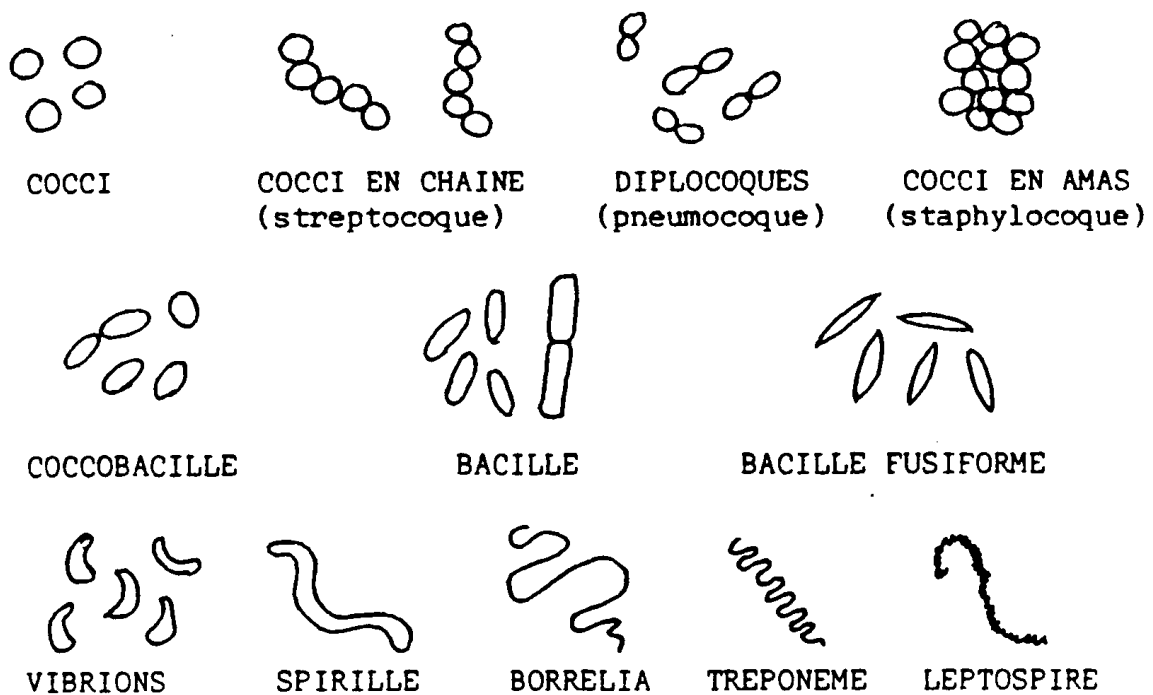
Les **caractéristiques** morphologiques des bactéries sont **généralement constantes**. Cependant, certaines espèces peuvent présenter des formes variables en fonction des conditions environnementales.



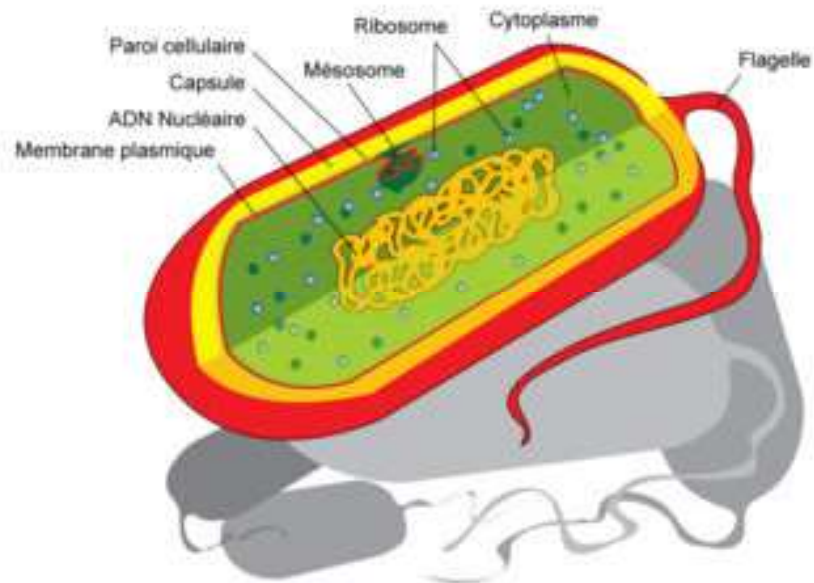
**Figure 1:** Quelques formes de cellules bactériennes : (a) Spirille, (b) Hélicoïdale, (c) En massue, (d) Cocci, (e) Vibrion, (f) Bacille, (g) Spirochète

Les cocci peuvent être isolées (Micrococcus), regroupés par paires (Diplococcus), en chaîne (Streptococcus) ou en formes particulières (Sarcinae et Staphylococcus).

Les bacilles sont le plus souvent isolées (Microbacillus) et quelques fois en paires (Diplobacilli), en chaîne (Streptobacilli) ou en pallissade.



### **III STRUCTURE DE LA CELLULE BACTERIENNE**



**Figure 2:** Structure d'une cellule bactérienne

La cellule bactérienne comporte des éléments constants à des éléments facultatifs.

Parmi les **éléments constants** on trouve :

- la paroi cellulaire
- le cytoplasme et ses inclusions
- l'appareil nucléaire
- la membrane cytoplasmique

Parmi les **éléments facultatifs**, on distingue :

- la capsule
- les flagelles et cils
- les spores thermorésistantes

### ***III.1. Les granules constants***

#### ***III.1.1. La paroi cellulaire***

Elle représente à elle seule 20% du poids sec des bactéries. C'est une enveloppe rigide qui assure le maintien de la forme spécifique des bactéries, la pression osmotique interne et la perméabilité sélective avec la membrane cytoplasmique.

Elle est constituée d'acides aminés, de lipides, de glucides, d'hexosamines, de mucopolysaccharides différentes de celles des animaux et des plantes. L'un de ses constituants indispensable à l'acide diaminopimélique.

La paroi est le support de la réaction de gram. Cette réaction permet de séparer les bactéries en 2 groupes :

- Les bactéries à Gram +
- Les bactéries à Gram –

La **coloration de Gram** doit son nom au bactériologiste danois [Hans Christian Gram](#) qui mit au point le protocole en 1884. C'est une coloration qui permet de mettre en évidence les propriétés de la [paroi bactérienne](#), et d'utiliser ces propriétés pour distinguer et classer les bactéries. Ainsi, on peut distinguer les bactéries à Gram positif dotées d'une simple paroi avec une grande quantité de [peptidoglycane](#), des bactéries à Gram négatif, composées de moins de peptidoglycane mais pourvues d'une membrane externe supplémentaire. Ce type de classification n'est pas sans conséquence dans le domaine médical (la résistance des bactéries et l'efficacité d'antibiotiques dépendant du type de bactérie).

#### ***III.1.2. Le Cytoplasme***

##### ***a) Composition***

Le cytoplasme est essentiellement constitué par :

- de l'ARN,
- de complexes lipido-glucido protéiques,
- de protéines,
- de lipides et de phospholipides,
- de complexes riboprotéiques,
- des granulations métachromatiques (volutine, métaphosphates),

- de nombreuses inclusions (glycogène, amylase + des chromatophores renfermant divers pigments qui peuvent être également dissous dans le cytoplasme),
- des vacuoles de petites tailles,
- des alvéoles de réserves renfermant des inclusions lipidiques, du glycogène et des métaux (Fe, S).

#### ***b) Propriétés***

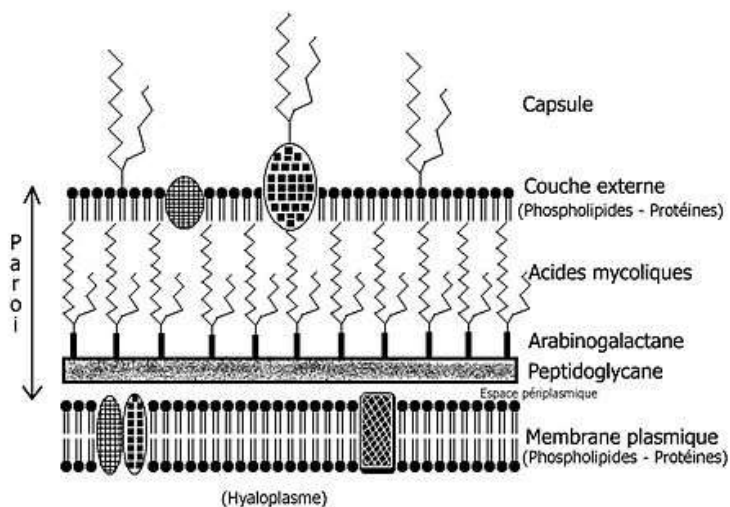
Après traitement des bactéries soit par des solutions salées hypertoniques, soit par action enzymatique (= lysozyme), le cytoplasme peut être expulsé de la cellule après séparation avec la paroi et prend la forme sphérique (protoplaste).

### ***III.1.3 L'appareil nucléaire***

C'est le «noyau bactérien», terme auquel certains auteurs préfèrent celui d'appareil nucléaire, d'autres celui de nucléoïde ou corps chromatique. Il est constitué d'un **filament d'ADN** parfois de forme circulaire pouvant être simple ou double mais sans enveloppe nucléaire.

### ***III.1.4 Membrane cytoplasmique***

Elle est constituée d'une double couche phospholipidique, absence de stérol. Elle a de nombreuses fonctions. Elle est semi-perméable et contrôle l'entrée et la sortie de différentes substances (diffusion, osmose et transport actif).

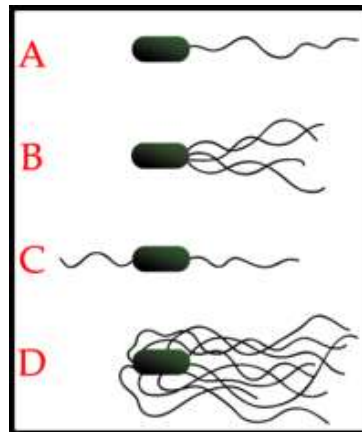


## ***III.2. Les éléments facultatifs***

### ***III.2.1. La capsule***

C'est une couche mucogélatineuse entourant la paroi de certaines bactéries. Elle est constituée de polysaccharides, de polypeptides et de glucides aminés. Elle joue un rôle contre la phagocytose, la dessiccation ainsi que la pénétration des virus ou bactériophages.

### ***III.2.2. Les flagelles et cils***



**Figure 3 : Différentes organisations des flagelles bactériens**

A = Monotriche B= Lophotriche C= Amphitriche D= Péritriche

Les flagelles et les cils constituent l'appareil cinétique des bactéries mobiles. Les flagelles sont des organites filamenteux attachés au cytoplasme par un corpuscule basal.

### ***III.2.3. Les spores***

Ce sont des organites thermorésistants caractéristiques des sporulaires. Elles sont enkystées c'est-à-dire entourées d'une membrane épaisse de forme sphérique.

### ***III.2.4. Autres organites***

#### ***a) Les mésosomes***

Ce sont des invaginations complexes de la membrane plasmique qui constituent le siège de phénomènes respiratoires notamment les déshydrogénases (cycles de Krebs) et sont donc considérées comme des équivalents fonctionnels des mitochondries.

#### ***b) Les chromatophores et pigments***

Les bactéries possèdent des **pigments** qui peuvent être diffus dans le cytoplasme ou dans certains cas accumulés dans des chromatophores intra cytoplasmiques. Ces pigments ont des rôles divers :

- ils peuvent constituer des réserves en vitamines, naphthoquinones....,
- ils peuvent jouer un rôle respiratoire parce qu'ils contiennent des cytochromes, des caroténoïdes,
- ils peuvent jouer un rôle dans la photosynthèse avec la bactériochlorophylle chez les bactéries photosynthétiques.

## ***IV. NUTRITION***

Il existe des bactéries **autotrophes** et des bactéries **hétérotrophes**.

### ***IV.1. Les bactéries autotrophes***

#### ***Les bactéries autotrophes au Carbone (CO<sub>2</sub>)***

Elles se comportent comme les plantes vertes.

- $CO_2 + H_2O + \text{Lumière} \longrightarrow$  Glucides, lipides et protéides

#### ***Les bactéries chimioautotrophes***

Elles tirent leur énergie à partir de l'**oxydation** de **substances chimiques** comme l'hydrogène, le Soufre, l'ammoniac (H<sub>2</sub>, S, NH<sub>3</sub>).

### ***IV.1.2. Les bactéries hétérotrophes***

Les bactéries **hétérotrophes** ne peuvent **pas synthétiser** les substances organiques dont elles ont besoin.

- Elles doivent par conséquent les tirer à **partir des déchets organiques** et sont de ce fait des **saprophytes**
- ou à partir d'**êtres vivants** et sont dans ce cas des **parasites**.

## ***V. PROPRIETES ET UTILITES DES BACTERIES***

### ***V.1. Les antigènes bactériens et les anticorps***

Lors que des substances sont injectées dans le milieu intérieur d'un vertébré supérieur (lapin, souris), elles provoquent la genèse de substances nouvelles susceptibles de réagir

spécifiquement avec les précédentes. La substance introduite est un antigène, celle qui se forme est un anticorps.

De nombreux constituants bactériens sont des antigènes comme par exemple les polysaccharides de la capsule ainsi que de nombreuses protéines produites par la bactérie (toxines). Une protéine antigénique déterminée peut entraîner la formation d'une quantité d'anticorps parce qu'elle présente plusieurs sites antigéniques (exemple : albumine). Les molécules des antigènes portent plusieurs sites déterminants qui provoquent une réaction stéréo spécifique (même configuration).

### **Comment se produit la réaction antigène – anticorps ?**

On injecte un antigène quelconque à un lapin qui ne produit pas de réaction. Si après plusieurs semaines on additionne la solution de l'antigène à une goutte de sérum du même lapin, on obtient la formation d'un précipité : le lapin a réagi en formant des anticorps spécifiques de l'antigène capable de former avec lui une combinaison.

Si on injecte à un organisme une solution renfermant des bactéries, des substances antigéniques peuvent provoquer la formation d'anticorps. Ainsi, quelques semaines après, si la même souche bactérienne est introduite dans l'organisme, les anticorps du sérum se fixent sur les antigènes bactériens, ce qui rend les cellules bactériennes plus sensibles à l'action des phagocytes: **C'est le principe de la vaccination.**

Les anticorps ont une grande importance dans la défense de l'organisme contre l'infection.

## ***VI. LES ANTIBIOTIQUES ET LES BACTERIES***

C'est à Fleming (1929) qu'on doit la découverte de la pénicilline. Il observa dans une culture de staphylocoques accidentellement infectée par un champignon du genre *Penicillium*, un halo clair entourant le champignon. Le champignon a détruit la bactérie grâce à une substance à action bactéricide appelée pénicilline. Celle-ci produit les mêmes effets vis-à-vis de multiples germes pathogènes.

La substance ne fut extraite et purifiée que beaucoup plus tard. Cette pénicilline est à la fois très active contre les bactéries Gram +, soluble dans l'eau et faiblement toxique pour l'organisme humain.

Depuis, plusieurs antibiotiques ont été identifiés avec chacune sa spécificité vis-à-vis de tel ou tel autre agent pathogène.

Le mécanisme d'action des antibiotiques repose sur l'interruption de la chaîne de réactions dans une cellule vivante, ce qui conduit à l'arrêt de la croissance, de la division et provoque souvent la dégradation cellulaire.

## ***V. LA REPRODUCTION DES BACTERIES***

La reproduction sexuée n'existe pas chez les bactéries, cependant des phénomènes sexuels existent (recombinaisons génétiques).

### ***V.1. Scissiparité bactérienne***

C'est le processus de multiplication le plus répandu chez les bactéries. Le rythme de division est très rapide, toutes les 10 ou 20 minutes. Donc en 24 h, une bactérie peut donner plusieurs millions de descendants. C'est une division simple par allongement de la cellule comme du noyau, étranglement et formation d'une cloison.

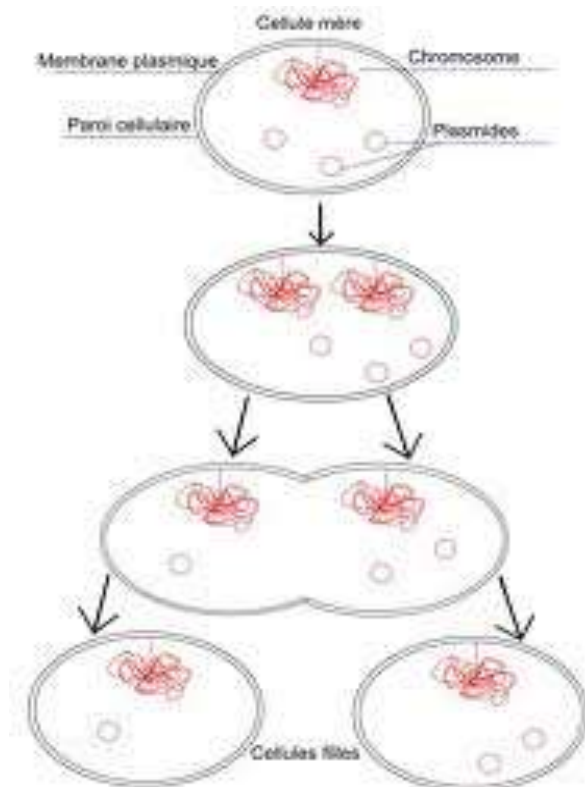
Il faut noter que la bactérie a généralement un chromosome unique et circulaire contenant la majeure partie du matériel génétique de la cellule qui est associé à certaines protéines comme chez les eucaryotes. Ce chromosome est généralement fixé à la paroi cytoplasmique, sauf lors de sa réplication. On peut aussi retrouver des plasmides, de petits segments d'ADN circulaire, baignant dans le cytoplasme.

Les principales *caractéristiques de la scissiparité bactérienne* sont :

- augmentation de la taille de la bactérie,
- réplication du chromosome pour en arriver à deux copies identiques qui se fixent alors à l'enveloppe cytoplasmique,
- formation d'une paroi transversale avec l'aide du mésosome,
- séparation de la cellule mère en deux cellules filles.

Ce mode de reproduction n'introduit pas de variabilité génétique chez les bactéries filles. Celles-ci sont des « clones », des bactéries génétiquement identiques à la bactérie mère. Cependant, bien que chacune des cellules filles contienne une réplique du chromosome principal, les plasmides ne se distribuent habituellement pas uniformément.

Une cellule fille n'a alors pas nécessairement la moitié des plasmides.

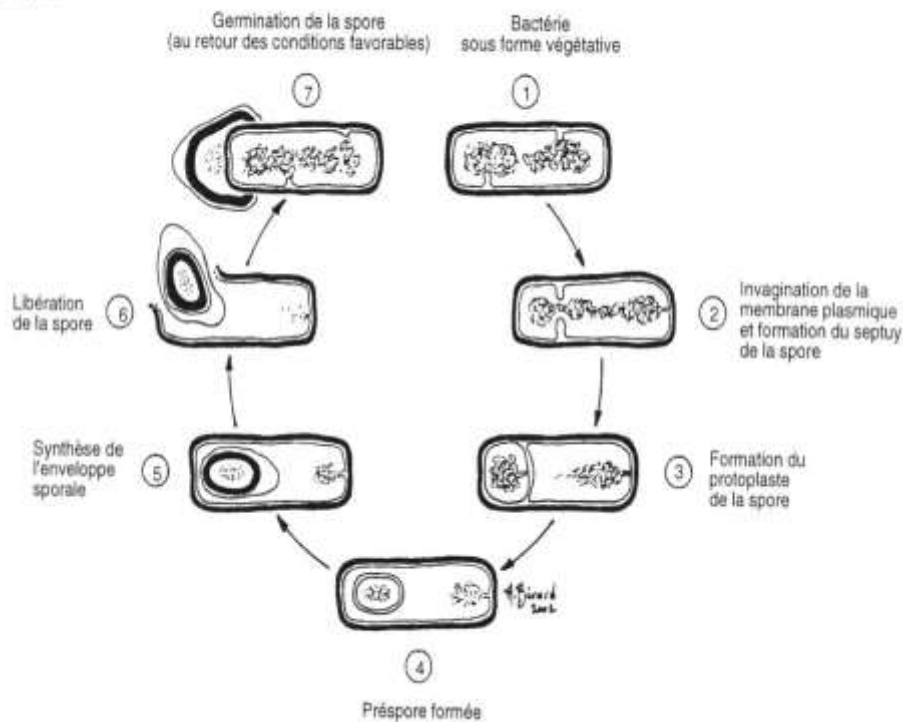


C'est habituellement par ces plasmides qu'une bactérie peut acquérir une forme de résistance à un antibiotique.

## ***V.2. La sporulation***

C'est une forme de conservation des espèces, seuls les bactéries en forme de bâtonnets (bacilles ou spirille) peuvent produire dans certaines conditions des endospores à partir d'une fraction seulement de cytoplasme bactérien. Les spores ont une paroi épaisse et vont résister aux mauvaises conditions de vie des bactéries.

Cycle sporale



### ***V.3. La reproduction asexuée anormale (cycle L)***

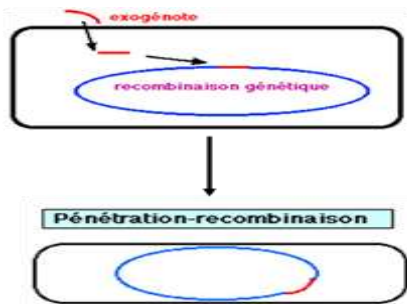
Elle a été observée sur des bactéries soumises à l'action d'inhibiteurs comme la pénicilline. Ces bactéries éclatent après fragmentation de leur cytoplasme et de leur appareil nucléaire et engendrent des formes anormales : naines, intermédiaires (4 à 5  $\mu$ ), géantes (15 à 20  $\mu$ ), filamenteuses.

## ***VI. LES RECOMBINAISONS GENETIQUES***

Il existe trois processus qui permettent ces recombinaisons : la transformation, la conjugaison et la transduction.

### ***VI.1. La transformation***

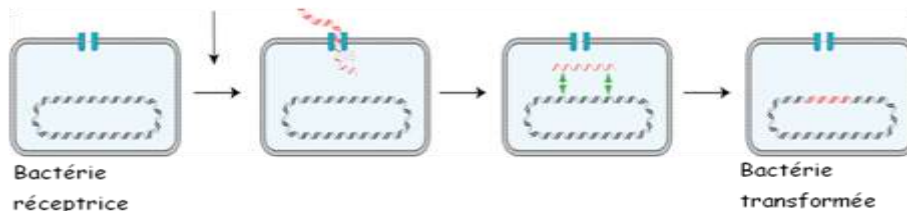
Découverte en 1928, elle est le résultat de l'intégration expérimentale ou naturelle d'un fragment d'ADN d'une bactérie donneuse à une bactérie réceptrice et dont le produit est un ADN hybride.



Bactérie donneuse

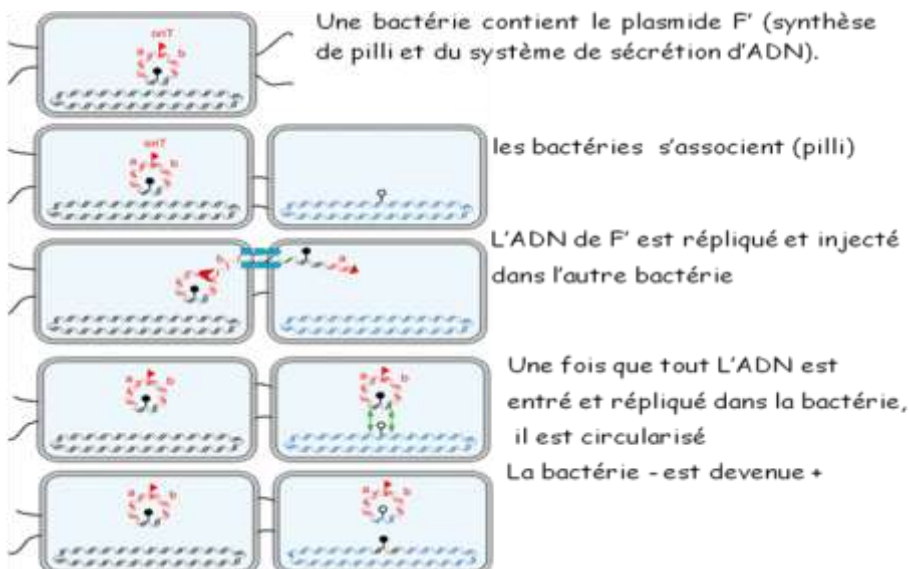
Entrée de l'ADN transformant qui peut porter un gène(s) responsable(s) d'un phénotype

Intégration de l'ADN transformant par recombinaison (rec)



## VI.2. La conjugaison

Processus sexuel strict qui nécessite un contact préalable et un appariement entre bactéries hétérothalliques avec la formation d'un pont cytoplasmique permettant les échanges bactériens dont celui de chromosome. Le transfert d'ADN chromosomique est à sens unique et se fait grâce à un plasmide.



Un plasmide désigne une molécule d'ADN surnuméraire distincte de l'ADN chromosomique, capable de réplication autonome et non essentielle à la survie de la cellule.

Découverte en 1946, la conjugaison consiste donc à un transfert de matériel génétique (fraction d'ADN) entre deux types de bactéries. Le conjuguant mâle peut fournir au conjuguant femelle par le canal de poils dits sexuels une partie de son génome.

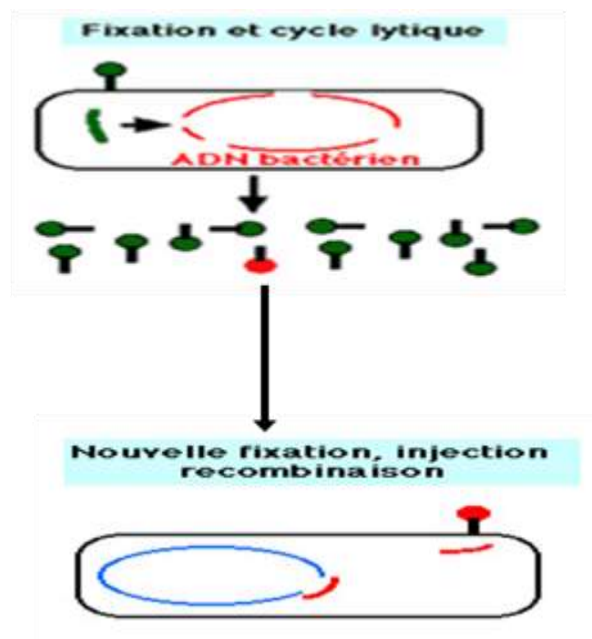
Le transfert d'ADN chromosomique suivi de recombinaison est spécifique (intra espèce), mais limité, en particulier aux espèces à Gram négatif telles *E. coli*, *Salmonella*, *Pseudomonas aeruginosa* et aussi les *Streptococcus*.

N'importe quel gène bactérien peut être transféré comme l'aptitude à biosynthétiser un acide aminé (thréonine, leucine, sérine), la résistance aux antibiotiques ou des facteurs de virulence. La fréquence de recombinaison est faible, de l'ordre de  $10^{-6}$ .

Certains plasmides sont capables de s'intégrer aux chromosomes, on les appelle des épisomes.

### ***VI.3. La transduction***

Découverte en 1952, c'est un autre mécanisme de recombinaison génétique qui se fait par l'intermédiaire d'un bactériophage. Un fragment d'ADN bactérien comportant habituellement un seul gène est incorporé dans le génome d'un virus qui au cours de la synthèse des particules virales l'injecte à une autre bactérie.



## ***VII. CLASSIFICATION DES BACTERIES***

Elle est basée sur des critères cytophysiologiques plutôt que sur des critères morphologiques ou physiologiques seuls.

On distingue 4 sous embranchements selon leur affinité avec les algues, les champignons et les protozoaires.

### ***VII.1. Les Eubactéries (Eubacteria)***

Elles sont de formes simples et indifférenciées, sans ramifications vraies (sphériques, cylindriques ou incurvées). Ils peuvent être mobiles, sporulées, pigmentées ou non.

#### ***- Classe des Eubactériales asporulées (Asporulales)***

Ordre des Micrococcales (sphériques)

Ordre des Bactériales (bâtonnets cylindriques)

Ordre des Spirillales (incurvées)

#### ***- Classe des Eubactériales sporulées (Sporulales)***

Selon la position de la spore (centrale, subterminale ou terminale), on distingue différents ordres :

Ordre des Bacillales (centrale)

Ordre des Closteridiales (subterminale)

Ordre des Plectridiales (terminale)

Ordre des Sporovibrionales (cellules en croissant)

### ***VII.2. Les Mycobactéries (Mycobacteria)***

Ce sont des bactéries de morphologie générale rappelant la structure générale des champignons c'est-à-dire filamenteux (mycélium).

#### ***- Classe des Actinomycétales***

Les espèces de cette classe sont de structure filamenteuse et n'ont pas d'endospores.

Exemple : Actinomyces

#### ***- Classe des Myxobactériales***

Ce sont des colonies pseudo plasmodes (colonies qui se déplacent en masse par excrétion de mucus).

#### ***- Classe des Azotobactériales***

Les espèces de cette classe sont capables de fixer l'azote atmosphérique.

Exemple Azotobacter

### ***VII.3. Les Algobactéries (Algobacteria)***

Elles présentent des affinités avec les Algues unicellulaires.

#### ***- Classe des Siderobactériales***

On les appelle également bactéries ferrugineuses ou ferrobactéries. Elles présentent des inclusions ou des grains de d'hydroxyde de fer. Exemple Caulobacter

#### ***- Classe des Thiobactériales***

On les appelle également des Sulfobactéries. Elles exigent SH<sub>2</sub> comme métabolite essentiel.

C'est le cas de plusieurs genres dont ceux dont les noms commencent par Thio- : Thiobacter, Thiocystis, Thiocapsa, Thiosarcina.

### ***VII.3. Les Protozobactéries (Protozobacteria)***

Ce sont des cellules proches de celles des protozoaires, élancées, flexueuses et spiralées. Elles sont mobiles par reptation ou rotation.

Ce groupe compte une seule classe.

#### ***- Classe des Spirochétalles***

Exemple : Spirochaeta, Treponema, Leptospira

## ***VIII. IMPORTANCE DES BACTERIES DANS LA BIOSPHERE***

Les bactéries jouent un rôle considérable dans la nature. Dans le sol et les eaux, la plupart des grands cycles biologiques (Carbone, Soufre, Fer, Phosphore, K, Na, Mg, Cu, Zn, Co, etc.) sont fermés par les bactéries.

Certaines bactéries contribuent à la formation de roches carbonées. Dans certaines conditions défavorables (eaux stagnantes non aérées), la transformation de l'humus par les bactéries est très lente et l'accumulation de cette humus conduit à la formation de la tourbe et donc de tourbières dans les marécages desséchés.

Des restes de végétaux sont transformés en **lignite** ou en **houille** au cours de processus qui se déroulent sous l'influence des bactéries.

## IX- LA FERMENTATION BACTÉRIENNE

Il existe 2 grands types de fermentations bactériennes qui produisent de l'acide lactique: dans le vin et les produits laitiers.

Dans le vin, il s'agit de fermentation malolactique: l'acide malique est dégradé en acide lactique sous l'action des bactéries. Le vin est une boisson alcoolisée obtenue par la fermentation du raisin.

Dans le lait et les produits laitiers, l'acide lactique provient de la dégradation du lactose par les bactéries. Plus un lait est frais, moins il contient d'acide lactique.

Les organismes responsables de l'apparition de l'acide lactique sont les lactobacilles.

Lorsque les lactobacilles opèrent dans la bouche, l'acide lactique produit peut entraîner des caries.

## X- LA FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE

C'est un processus qui permet de produire des substances protéiques à partir de l'azote gazeux présent dans l'atmosphère.

C'est le processus de réduction enzymatique de N<sub>2</sub> (azote moléculaire) en azote ammoniacal ou ammoniac (NH<sub>3</sub>).

Les bactéries produisent une enzyme, la nitrogénase, qui permet de réaliser la synthèse de l'ammoniac par une réaction de réduction fortement endothermique.



De nombreuses plantes, principalement de la famille des Fabacées (Légumineuses), réalisent la fixation biologique de façon indirecte, en symbiose avec des bactéries de leur rhizosphère qui se localisent généralement dans des nodosités situées sur leurs racines.

## XI- LES PATHOGÈNES

Les bactéries pathogènes sont responsables de maladies et causent des infections. Les organismes infectieux peuvent être divisés en trois types: les pathogènes obligatoires, les accidentels et les opportunistes.