

## Chapitre V : Etudes des grands groupes bactériens

### 1. Les bactéries photosynthétiques

Les bactéries photosynthétiques, peuvent utiliser l'énergie lumineuse pour leur croissance, ont un avantage métabolique particulier sur celles qui doivent compter sur les sources chimiques, organique ou inorganique, car elles disposent d'une source d'énergie beaucoup plus abondante pour leur métabolisme.

Les bactéries phototrophes se répartissent en cinq groupes majeurs :

Les *Proteobacteria* photosynthétiques, phylum *Proteobacteria*

Les Chlorobi (les bactéries vertes sulfureuses), Phylum *Chlorobi*

Les Chloroflexi (bactéries vertes filamenteuses), Phylum *Chloroflex*

Les Firmicutes photosynthétiques (héliobactéries), Phylum *Firmicutes*

Les Cyanobacteria, Phylum *Cyanobacteria*.

**Tableau 21.1** Phylums et propriétés des bactéries photosynthétiques

| Phylum   | Source de carbone                      | Métabolisme du carbone                      |
|--|--|---|
| <i>Proteobacteria</i>  |  |   |
| Bactéries pourpres sulfureuses                                   | CO <sub>2</sub>                        | Calvin-Benson                               |
| Bactéries pourpres non sulfureuses                               | CO <sub>2</sub> et produits organiques | Photohétérotrophe                           |
| <i>Chlorobi</i> : Bactéries vertes sulfureuses                   | CO <sub>2</sub>                        | Cycle réducteur des acides tricarboxyliques |
| <i>Chloroflexi</i> : Bactéries vertes filamenteuses <sup>a</sup> | CO <sub>2</sub> ou produits organique  | Voie de l'hydroxypropionate                 |
| <i>Cyanobacteria</i>   | CO <sub>2</sub>                        | Calvin-Benson                               |
| <i>Firmicutes</i> : Héliobactéries                               | Produits organiques                    | Photohétérotrophe                           |

<sup>a</sup>Les *Chloroflexi* possèdent une grande variété métabolique. Voir texte pour plus de détails

**Tableau 21.2** Caractéristiques des bactéries photosynthétiques

| Groupe                | Chlorophylle du centre réactionnel | Antenne (pigments accessoires)                               |
|-----------------------|------------------------------------|--|
| <i>Proteobacteria</i> | Bchl <i>a</i>                      | Bchl <i>b</i> (caroténoïdes)                                 |
| <i>Chlorobi</i>       | Bchl <i>a</i>                      | Bchl <i>c</i> ; Bchl <i>d</i> ; Bchl <i>e</i> (caroténoïdes) |
| <i>Chloroflexi</i>    | Bchl <i>a</i>                      | Bchl <i>c</i> (caroténoïdes)                                 |
| <i>Cyanobacteria</i>  | Chl <i>a</i>                       | Phycobilines ou Chl <i>b</i> (chez les prochlorophytes)      |
| <i>Heliobacteria</i>  | Bchl <i>g</i>                      | Caroténoïdes   |

Tableau 21.2 Caractéristiques des groupes principaux de procaryotes photosynthétiques.

| Bactéries photosynthétiques anoxygéniques    |   |  |  |  |  |  | Bactéries photosynthétiques oxygéniques   |  |
|--|---|--|--|--|--|--|---|--|
| Caractéristique                              | Vertes sulfureuses <sup>a</sup>   | Vertes non sulfureuses <sup>b</sup>  | Pourpres sulfureuses   | Pourpres non sulfureuses   | Phototrophes aérobies anoxygéniques  | Cyanobactéries   |   |  |
| Principaux pigments photo-synthétiques       | Bactériochlorophylles $\alpha$ plus c, d' ou e (le pigment principal)                             | Bactériochlorophylles $\alpha$ et c  | Bactériochlorophylle $\alpha$ ou b   | Bactériochlorophylle $\alpha$ ou b   | Bactériochlorophylle $\alpha$  | Bactériochlorophylle $\alpha$  | Chlorophylle $\alpha$ plus phycobiliprotéines, <i>Prochlorococcus</i> a des dérivés divinyles des chlorophylles $\alpha$ et b |  |
| Morphologie des membranes photo-synthétiques | Système photosynthétique en partie dans des chlorosomes indépendants de la membrane cytoplasmique | Présence de chlorosomes en croissance anaérobie  | Système photosynthétique contenu dans des complexes membranaires sphériques ou lame-laires, en continuité avec la membrane cytoplasmique | Système photosynthétique contenu dans des complexes membranaires sphériques ou lamellaires, en continuité avec la membrane cytoplasmique | Système photosynthétique contenu dans des complexes membranaires sphériques ou lamellaires, en continuité avec la membrane cytoplasmique | Peu ou pas de membranes intra-cytoplasmiques   | Membranes thylacoïdes bordées de phycobilisomes   |  |
| Donneurs d'électrons photo-synthétiques      | H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, S  | Donneurs photohétérotrophes – divers sucres, acides aminés et acides organiques ; donneurs photoautotrophes – H <sub>2</sub> S, H <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, S   | H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, S   | Généralement molécules organiques ; parfois composés soufrés réduits ou H <sub>2</sub>   | Donneurs photohétérotrophes : divers sucres, acides aminés et acides organiques              | H <sub>2</sub> O  |  |
| Dépôt de soufre                              | À l'extérieur de la cellule   |  | À l'intérieur de la cellule <sup>c</sup>   | À l'intérieur de la cellule <sup>c</sup>   | À l'extérieur de la cellule dans quelques cas  | Rien ici ?   |   |  |
| Nature de la photosynthèse                   | Anoxygénique  | Anoxygénique   | Anoxygénique   | Anoxygénique   | Anoxygénique   | Anoxygénique   | Oxygénique (parfois facultativement anoxygénique)   |  |
| Type métabolique général                     | Photolithoautotrophes anaérobies obligatoires   | Généralement photohétérotrophes ; parfois photoautotrophes ou chimiohétérotrophes (lorsque aérobies et à l'obscurité)                          | Photolithoautotrophes anaérobies obligatoires  | Photolithoautotrophes anaérobies obligatoires  | Généralement photoorganohétérotrophes anaérobies ; certains photolithoautotrophes facultatifs (dans le noir, chimioorganohétérotrophes)  | Photo-organohétérotrophes anaérobies   | Photolithoautotrophes aérobies  |  |
| Mobilité                                     | Non mobiles ; certaines avec vésicules gazeuses   | Par glissement   | Mobiles avec flagelles polaires ; certaines ont des flagelles péritriches  | Mobiles avec flagelles polaires ; certaines ont des flagelles péritriches  | Mobiles avec flagelles polaires ou non mobiles ; certaines avec vésicules gazeuses   | Certains sont mobiles avec un seul flagelle (ou plus en petit nombre), polaire ou subpolaire | Non mobiles, nage sans flagelle ou mobiles par glissement ; certaines avec vésicules gazeuses                                 |  |
| Pourcentage en GC                            | 48-58   | 53-55  | 45-70  | 61-72  | Rien ici ?   | 35-71  |   |  |
| Phylum ou classe                             | <i>Chlorobi</i>   | <i>Chloroflexi</i>   | $\alpha$ , $\beta$ -et $\gamma$ -protéobactéries   | $\alpha$ -protéobactéries <i>(Rhodocyclus)</i>   | $\alpha$ , $\beta$ -et $\gamma$ -protéobactéries   |  | <i>Cyanobacteria</i>  |  |

<sup>a</sup> Caractéristiques des *Chlorobi*.<sup>b</sup> Caractéristiques de *Chloroflexus*.<sup>c</sup> À l'exception d'*Ectothiorhodospira*.

### 1.1 Phylum *Chlorobi* (bactéries vertes sulfureuses)

Le phylum des *Chlorobi* n'a qu'une seule Classe (les *Chlorobia*), un seul ordre (les *Chlorobiales*) et une seule famille (les *Chlorobiaceae*). Leur nom provient de ce que la majorité des espèces sont vertes grâce à la bactériochlorophylles caractéristiques, principalement Bchl *c*, **Bchl *d*** ou **Bchl *e***. Les autres sont de couleur brune, principalement à cause de pigments caroténoïdes.

Ce sont des **bactéries vertes sulfureuses**, forment un petit groupe de **photolithotrophes anaérobies strictes** qui utilisent **le sulfure d'hydrogène**, le **soufre élémentaire** et **l'hydrogène** comme **sources d'électrons**.

Ces bactéries abondent dans les zones lacustres anoxiques et riches en sulfures. Bien qu'elles soient dépourvues de flagelles et non mobiles, certaines espèces possèdent des vésicules gazeuses de façon à choisir la profondeur optimale pour la

lumière et le sulfure d'hydrogène. Les pigments photosynthétiques de ces bactéries sont localisés dans des vésicules ellipsoïdes, appelées **chlorosomes** ou vésicules de chlorobium qui sont fixés à la membrane cytoplasmique mais ne sont pas en continuité avec elle.

On trouve les formes dépourvues de vésicules gazeuses dans les boues riches en sulfure du fond des lacs et des étangs. Les bactéries vertes sulfureuses sont très diverses du point de vue morphologique. Elles peuvent être **en forme de bâtonnet, coque** ou **de vibrion** ; certaines se développent isolément, d'autres **forment des chaînes et des amas**. Elles sont de **couleur vert pré ou brun** chocolat. Comme genre représentatifs, citons *Chlorobium*, *Prosthecochloris* et *Pelodictyon*.

|                                   |
|-----------------------------------|
| Domaine. <i>Bacteria</i>          |
| Phylum XI. <i>Chlorobi</i>        |
| Classe I. <i>Chlorobia</i>        |
| Ordre I. <i>Chlorobiales</i>      |
| Famille I. <i>Chlorobiaceae</i>   |
| Genre I. <i>Chlorobium</i>        |
| Genre II. <i>Ancalochloris</i>    |
| Genre III. <i>Chlorobaculum</i>   |
| Genre IV. <i>Chloroherpeton</i>   |
| Genre V. <i>Pelodictyon</i>       |
| Genre VI. <i>Prosthecochloris</i> |

## 1.2 Phylum *Chloroflexi* (bactéries vertes non-sulfureuses)

Le phylum des *Chloroflexi* compte à la fois des membres photosynthétiques et non photosynthétiques. *Chloroflexus* est le principal représentant des **bactéries vertes non-sulfureuses**. *Chloroflexus* est une bactérie **thermophile, filamenteuses et mobiles par glissement** ; on l'isole souvent de sources chaudes neutres à alcalines, où elle se développe sous forme de tapis orange rougeâtre, habituellement en association avec des cyanobactéries. Peut effectuer une **photosynthèse anoxygénique** avec des composés organiques comme source de carbone, ou croître en aérobiose comme chimiohétérotrophes.

Le **genre** le plus étudié est *Chloroflexus*. Cette bactérie longue et mince 0.5 à 1 µm de diamètre, forme des couches distinctes en tapis, la température de croissance des souches thermophiles est de 45 à 70° C. Il existe des souches mésophiles. *Chloroflexus* et *Heliothrix* utilisent la **Bchl a** comme pigment photosynthétique primaire, mais doit sa couleur orangé aux grandes quantités de pigment Caroténoïdes qu'il produit.

Phylum VI. *Chloroflexi*

Classe I. *Chloroflexi*

Ordre I. *Chloroflexales*

Famille I. *Chloroflexaceae*

Genre I. *Chloroflexus*

Genre II. *Chloronema*

Genre III. *Heliothrix*

Genre IV. *Roseiflexus*

Famille II. *Oscillochloridaceae*

Genre I. *Oscillochloris*

Ordre II. *Herpetosiphonales*

Famille I. *Herpetosiphonaceae*

Genre I. *Herpetosiphon*

**Tableau 21.5** Genres importants de bactéries vertes

| Groupe/genre  | % Mole<br>G + C | Vacuoles<br>de gaz | Morphologie  |
|---|-----------------|--------------------|--|
| <i>Chlorobi</i> (genres de bactéries vertes sulfureuses)      |                 |                    |  |
| <i>Chlorobium</i>   | 49–58           | –                  | Unicellulaires, bacilles                           |
| <i>Prosthecochloris</i>                                       | 50–56           | –                  | Prosthèque ; habitats marins ou salins             |
| <i>Pelodyction</i>  | 48–58           | +                  | Bacilles en amas de type réseau                    |
| <i>Ancalochloris</i>  | inconnu         | +                  | Prosthèque ; eaux douces                           |
| <i>Chloroherpeton</i>   | 45–48           | +                  | Longs bacilles ; mobiles par glissement            |
| Consortium  | inconnu         | +/-                | Agrégats microcoloniaux de deux espèces distinctes |
| <i>Chloroflexi</i> (genres de bactéries vertes filamenteuses) |                 |                    |  |
| <i>Chloroflexus</i>   | 55              | –                  | Mobile par glissement ; thermophile modéré         |
| <i>Heliothrix</i>   | inconnu         | –                  | Mobile par glissement ; thermophile modéré         |
| <i>Chloronema</i>   | inconnu         | +                  | Mobile par glissement ; mésophile                  |

### 1.3 Phylum *Cyanobacteria*

Les cyanobactéries forment le groupe le plus vaste et le plus diversifié de bactéries photosynthétiques. Le manuel de *Bergey's of systematic bacteriology* décrit 56 genres.

La diversité des cyanobactéries est reflétée dans la teneur en GC du groupe qui varie de 35 à 71%. Bien que les cyanobactéries soient des bactéries **Gram-négatives**, leur système photosynthétique ressemble étroitement à celui des eucaryotes parce qu'elles possèdent de la **chlorophylle a** et les **photosystèmes I et II** effectuant ainsi une photosynthèse **oxygénique**.

---

#### Phylum X. Cyanobacteria

---

##### **Classe I. Cyanobacteria**

##### **Sous-section I. Sous-section 1**

Famille I. Famille 1.1

Genre I. Chamaesiphon

Genre II. Chroococcus

Genre III. Cyanobacterium

Genre IV. Cyanobium

Genre V. Cyanothece

Genre VI. Dactylococcopsis

Genre VII. Gloeobacter

Genre VIII. Gloeocapsa

Genre IX. Gloeotheca

Genre X. Microcystis

Genre XI. Prochlorococcus

Genre XII. Prochloron

Genre XIII. Synechococcus

Genre XIV. Synechocystis

##### **Sous-section II. Sous-section 2**

Famille I. Famille 2.1

Genre I. *Cyanocystis*

Genre II. *Dermocarpella*

Genre III. *Stanieria*

Genre IV. *Xenococcus*

Famille II. Famille 2.2

Genre I. *Chroococcidiopsis*

Genre II. *Myxosarcina*

Genre III. Pleurocapsa

##### **Sous-section III. Sous-section 3**

Famille I. Famille 3.1

Genre I. Arthrospira

Genre II. Borzia

Genre III. Crinalium

Genre IV. Geitlerinema

Genre V. Halospirulina

Genre VI. Leptolyngbya

Genre VII. Limnothrix

Genre VIII. Lyngbya

Genre IX. Microcoleus

Genre X. Oscillatoria

Genre XI. Planktothrix

Genre XII. Prochlorothrix

Genre XIII. Pseudanabaena

Genre XIV. Spirulina

Genre XV. Starria

Genre XVI. Symploca

Genre XVII. Trichodesmium

Genre XVIII. Tychonema

##### **Sous-section IV. Sous-section 4**

Famille I. Famille 4.1

Genre I. Anabaena

Genre II. Anabaenopsis

Genre III. Aphanizomenon

Genre IV. Cyanospira

Genre V. Cylandrospermopsis

Genre VI. Cylandrospermum

Genre VII. Nodularia

Genre VIII. Nostoc

Genre IX. Scytonema

Famille II. Famille 4.2

Genre I. *Calothrix*

Genre II. *Rivularia*

Genre III. Tolypothrix

##### **Sous-section V. Sous-section 5**

Famille I. Famille 5.1

genre Chlorogloeopsis

---

### ▪ **Structure et physiologie**

La structure des *Cyanobacteria* est typique des autres Gram-négatives par l'existence d'une paroi cellulaire multicouche contenant du **peptidoglycane** et par la présence d'une membrane externe. Cependant, en plus de ces structures leur paroi contient aussi des couches supplémentaires.

Les cyanobactéries possèdent la **chlorophylle a**, **cytochromes** et des pigments caractéristiques uniques, appelés **phycobilines**, dont l'**allophycocyanines**, la **phycocyanine**, et la **phycoerythrine**.

Les cyanobacteria fixent le CO<sub>2</sub> via le cycle de Calvin-Benson. La plupart des *Cyanobacteria* ne requièrent pas de vitamine et n'utilisent pas de composés organiques.

Une des caractéristique unique des *Cyanobacteria* est qu'elles peuvent accumuler un composé appelé **cyanophycine**. Ce dernier est un polymère de l'**acide aspartique** dont chaque résidu contient un résidu latéral d'arginine. La cyanophycine constitue une granule de réserve qui contient de l'azote chez les procaryotes. Elle peut être utilisée comme source d'énergie (ATP) pendant sa dégradation.

### ▪ **Principaux taxons de cyanobactéries.**

**Le Bergey divise les cyanobactéries en cinq sous sections.** Différent ordre de cyanobactérie ont reçu leur noms et ont été classés en fonction de leur caractéristiques morphologiques.

Quelques autres propriétés importantes pour la caractérisation des cyanobactéries sont l'ultrastructure, les caractéristiques génétiques, la physiologie et la biochimie et l'habitat/écologie.

| Sous-section | Forme générale   | Reproduction et croissance  | Hétérocystes | % en Gc | Autres propriétés   | Genres représentatifs  |
|--------------|--|---|--------------|---------|---|--|
| I            | Bâtonnets ou coques unicellulaires ; agrégats non filamenteux                        | Scissiparité, bourgeonnement  | -            | 31-71   | Non mobiles ou nagent sans flagelle   | <i>Chroococcus</i><br><i>Gloeotheca</i><br><i>Gleocapsa</i><br><i>Prochlorococcus</i><br><i>Prochloron</i>                 |
| II           | Bâtonnets ou coques unicellulaires ; peuvent être maintenus en agrégats              | Scission multiple pour former des béocyles                                | -            | 40-46   | Seuls quelques béocyles sont mobiles  | <i>Pleurocapsa</i><br><i>Dermocarpella</i><br><i>Chroococcidiopsis</i>   |
| III          | Filaments, trichomes non ramifiés, avec seulement des cellules végétatives           | Scissiparité dans un seul plan, fragmentation                             | -            | 34-67   | Généralement mobiles  | <i>Lyngbya</i><br><i>Oscillatoria</i><br><i>Prochlorothrix</i><br><i>Spirulina</i><br><i>Pseudanabaena</i>                 |
| IV           | Filaments, trichomes non ramifiés, peuvent contenir des cellules spécialisées        | Scissiparité dans un seul plan, fragmentation pour former des hormogonies | +            | 38-47   | Souvent mobiles, peuvent produire des akinètes  | <i>Anabaena</i><br><i>Cylindrospermum</i><br><i>Aphanizomenon</i><br><i>Nostoc</i><br><i>Scytonema</i><br><i>Calothrix</i> |
| V            | Trichomes filamenteux, soit ramifiés, soit composés de plus d'une rangée de cellules | Scissiparité dans plus d'un plan, formation d'hormogonies                 | +            | 42-44   | Peuvent produire des akinètes, complexité morphologique la plus grande et différenciation chez les cyanobactéries | <i>Fischerella</i><br><i>Stigonema</i><br><i>Geitleria</i>   |