

Chapitre 1 : Les cyanobactéries (ou cyanophytes ou algues bleues)

-C'est un groupe primitif d'algues et les plus anciennes plantes à chlorophylle. Elles n'ont pas une véritable structure cellulaire.

-On dénombre 150 genres et 2000 espèces.

-Ces végétaux, unicellulaires ou pluricellulaires, ont longtemps été inclus dans les algues et nommés **algues bleues** en raison, en particulier, de leur habitat aquatique et de leur coloration bleu-vert (et à ce titre, ils correspondent à la division des Cyanophytes).

-Il est actuellement admis que leur ultrastructure, de type procaryote, indique une parenté certaine avec les bactéries, justifiant le terme de Cyanobactéries qui leur est désormais appliqué.

- Les Cyanobactéries correspondent à des organismes formés de cellules ou de filaments microscopiques, mais qui se développent souvent simultanément pour constituer soit des colonies visibles à l'œil nu soit des populations très importantes formant des « fleurs d'eau »

Description :

a. Organisation de la cellule :

Si la morphologie des individus est très variable, la cellule des Cyanobactéries présente une organisation relativement simple de procaryote (ni plaste ni noyau individualisé) avec une paroi (dont les régions les plus externes sont souvent différenciées en gaine) qui entoure un protoplasme.

Les cyanobactéries sont dépourvues de membrane nucléaire, de mitochondries, de réticulum endoplasmique et de flagelle. Au microscope électronique, on distingue deux zones différenciées, principalement par leur couleur :

- **Le chromatoplasme** : une zone périphérique colorée contenant les **thylakoïdes**, sortes de sacs écrasés contenant les organites, qui, outre la photosynthèse, assure deux autres fonctions : la respiration, et la fixation de l'azote (chez certaines espèces).
- **Le centroplasme (ou nucléoplasme)** : situé au centre de la cellule, incolore, qui assure des fonctions semblables à celle d'un noyau et contient l'ADN, qui se présente généralement sous formes d'aiguilles circulaires.

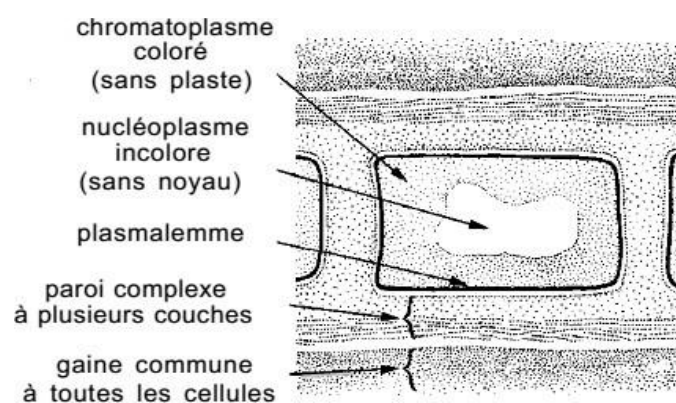


Figure 1- Cellule de cyanobactérie au microscope optique.

Une cellule de cyanobactérie est constituée de :

- Une **paroi** formée d'au moins quatre couches, une des assises internes de cette paroi contient certains constituants (comme l'acide muramique) rencontrés **seulement chez les procaryotes**.
- Une **gaine mucilagineuse** qui l'entoure, elle est plus ou moins importante et très hygroscopique.
- Une membrane plasmique.
- Le **nucléoplasme** correspond d'une part à des fibrilles **d'acide désoxyribonucléique (ADN)** sous forme de **chromosome** circulaire libre dans le cytoplasme (absence de noyau= Procaryote), d'autre part à des grains d'acide ribonucléique (**ribosomes** 70S).
- Les **thylakoïdes** sous forme d'un système de lamelles portant les **pigments** photosynthétiques qui sont : la chlorophylle a et c, les carotènes (couleur variable, jaune, orangé ou rouge), la phycocyanine (bleu-vert), et la phycoérythrine (rouge).
- Diverses inclusions sont souvent présentes comme :
 - Des grains de **cyanamylon** : polysaccharide à base de glucose proche du rhodamylon surtout abondants dans le chromatoplasme.
 - Des grains **métachromatiques** (volutine) plutôt localisés dans le centroplasme et correspondant à des polyphosphates.
- Des **carboxysomes** qui contiennent des enzymes pour la fixation du carbone.
- Des gouttelettes lipidiques (graisse)
- Des vacuoles gazeuses pleines d'air et qui assurent la flottabilité des cyanobactéries dans les milieux aquatiques.
- Des grains de **cyanophycine** (réserve protéique) souvent situés dans le chromatoplasme appliqué sur les parois transversales

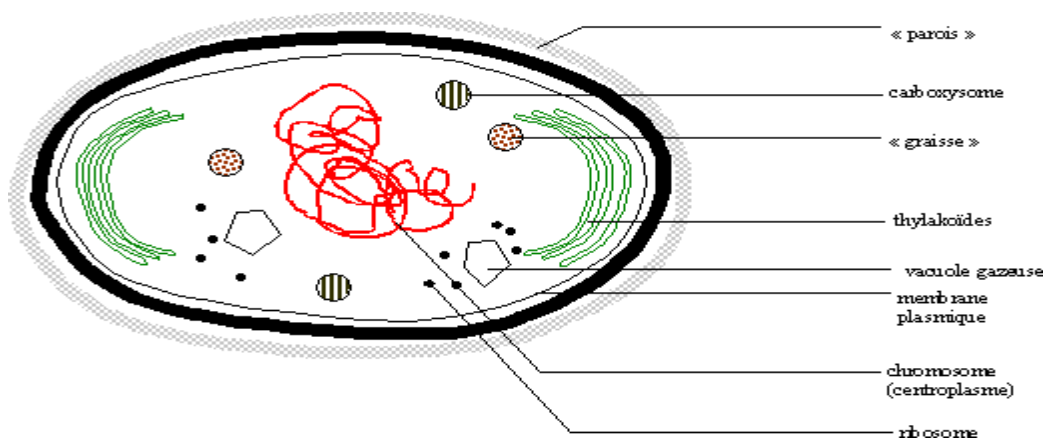


Figure 2- Une cellule d'une cyanobactérie.

b. Morphologie :

Les Cyanobactéries correspondent à des organismes **unicellulaires ou pluricellulaires**, formés de cellules ou de **filaments** microscopiques, mais qui se développent souvent simultanément pour constituer des **colonies**.

Chez les formes filamenteuses on appelle **trichome** la file de cellules et le **filament** c'est l'ensemble du trichome et de la gaine mucilagineuse entourant le trichome lorsqu'une gaine est formée.

En plus de la cellule végétative décrite ci-dessus, on peut trouver deux formes de cellules :

L'hétérocyste : est une cellule transparente, à paroi épaisse, habituellement translucide, qui se rencontre chez certaines cyanobactéries (dites hétérocystées).

Il est le site de la **fixation d'azote** et se forme à partir des cellules végétatives en conditions de manque d'azote. Il est caractérisé par la présence de nodules polaires aux points d'attache aux cellules végétatives.

Suivant les espèces on rencontre des hétérocystes intercalaires et/ou terminaux.

Les hétérocystes peuvent être circulaires, ovales, triangulaires, carrés ou rectangulaires

Les akinètes : sont des **spores** immobiles (absence de flagelle) produites chez les formes hétérocystées. Elles sont résistantes aux conditions adverses et demeurent viables sur de longues périodes. On les distingue par leur grande taille, leur forme, leur pigmentation modifiée et la présence de nombreux granules cytoplasmiques. Les akinètes peuvent être lisses ou ornementés.

Les akinètes peuvent se former n'importe où sur le filament. On observe cependant souvent une localisation préférentielle au voisinage des hétérocystes.

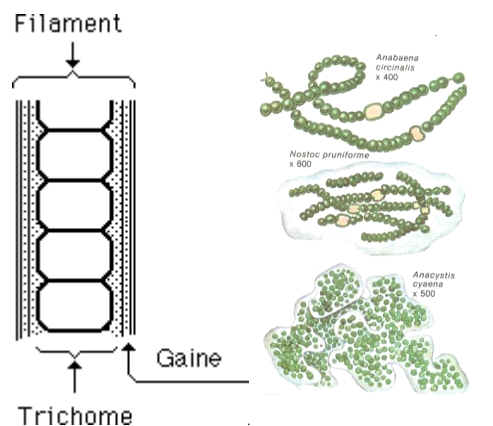


Figure3- Colonies et filaments des cyanobactéries

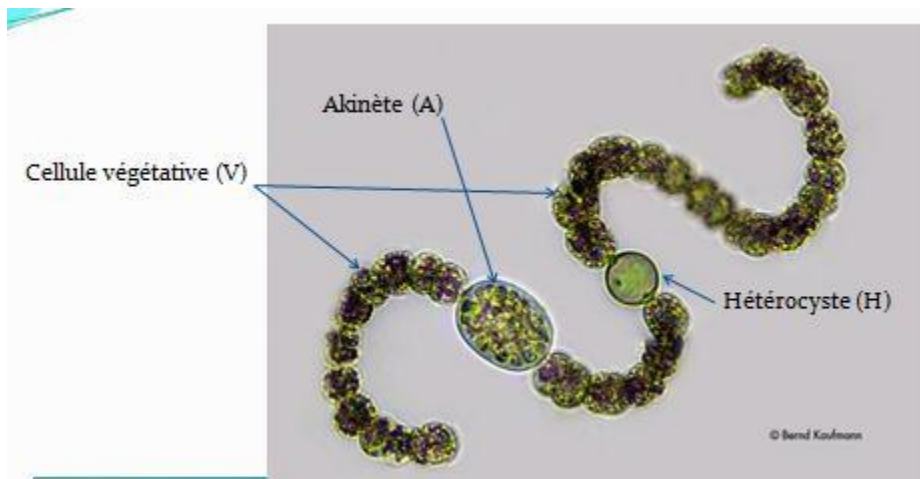
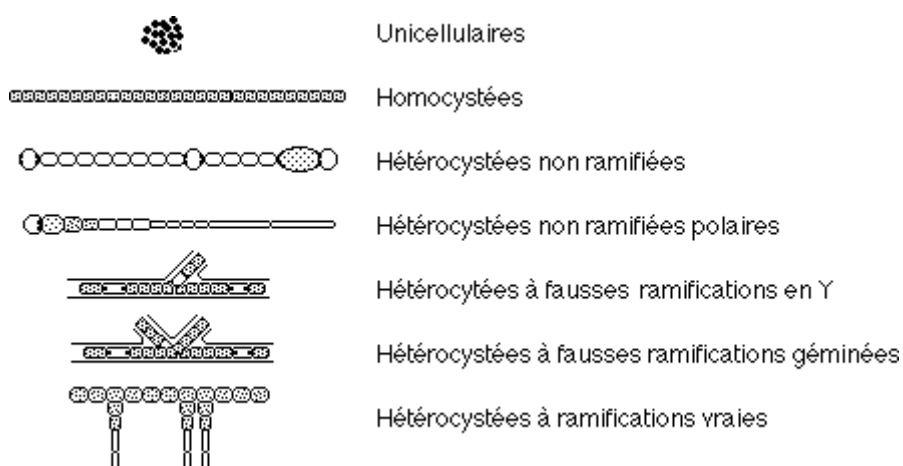


Figure 4- Hétérocyste et Akinète

Cellules végétatives	Hétérocystes	Spores ou Akinètes
Activité photosynthétique	Fixation de l'azote	Conservation Dissémination
	Intercalaire bipolaire Terminal unipolaire	Intercalaires Terminales En paires En chaînes

A partir des caractères morphologiques majeurs facilement observables en microscopie optique, on peut distinguer sept grandes formes morphologiques de cyanobactéries :



c. Physiologie :

La photosynthèse est la principale méthode de nutrition des cyanobactéries (elles sont **autotrophes**), cependant, en présence de substrats organiques et de CO₂, certaines espèces utilisent le carbone organique pour leurs synthèses cellulaires. Quelques espèces peuvent croître à l'obscurité en hétérotrophie.

Les cyanobactéries utilisent l'**azote minéral des nitrates**, nitrites et sels ammoniacaux. L'azote nitrique est

la source d'azote préférée dans la plupart des milieux de culture. En l'absence d'azote minéral, de nombreuses formes de cyanobactéries peuvent utiliser l'azote de l'air comme source d'azote et l'incorporer dans leurs cellules (fixation de N_2). A la mort de ces cyanobactéries, cet azote retourne dans l'environnement sous forme d'azote minéral assimilable par les plantes. La fixation de l'azote a donc un rôle très important dans le maintien de la fertilité de certains environnements naturels ou cultivés.

Certaines cyanobactéries se développent de façon symbiotique avec des champignons, des végétaux et certains mollusques. Certaines de ces symbioses ont une importance écologique ou agronomique.

d. Reproduction :

Les algues bleues se reproduisent de façon **asexuée**. La reproduction asexuée chez elles se fait par une **scissiparité** (division **binaire** ou division **végétative**).

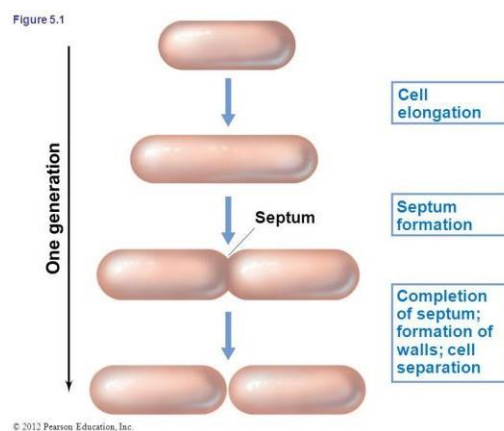


Figure 5- La division binaire.

Cette division se fait soit à travers des **spores unicellulaires** appelées **coccospores** qui peuvent être des **endospores** ou **exospores**.

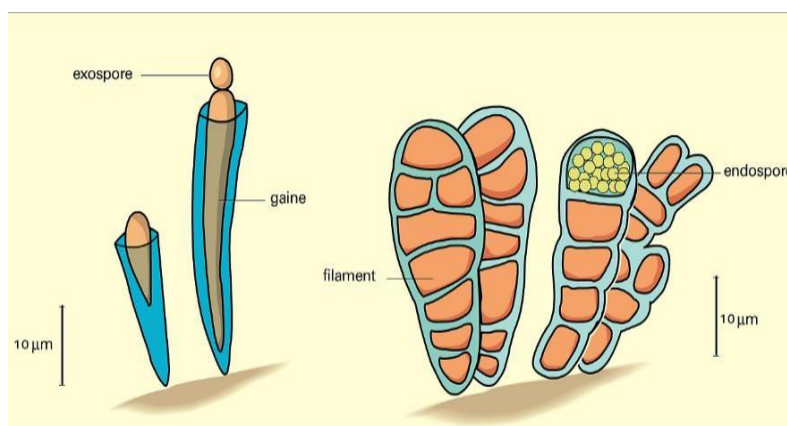


Figure 6- Les coccospores

e. Ecologie :

Les cyanobactéries vivent presque partout, y compris dans des conditions extrêmes, des glaces polaires (On a trouvé des tapis d'algues bleues de plusieurs centimètres d'épaisseur, sous plus de 5 m de glace permanente) aux sables des déserts. Elles survivent dans les lacs très chauds et/ou acides des cratères volcaniques comme dans les geysers. Elles croissent tant en eau douce que salée, sous forme planctonique (vivant dans la masse d'eau), ou sous forme benthique (organismes fixés à un substrat immergé). Elles se développent particulièrement bien dans certains milieux pollués par les activités humaines (eutrophisation, dystrophisation).

Ces proliférations (blooms) forment par exemple des **fleurs d'eau** de couleur particulière qui apparaissent sur un plan d'eau en voie de pollution. On assiste à ces efflorescences algales quand l'eau contient de l'azote et/ou du phosphore en excès, conséquence par exemple d'une agriculture trop intensive ou d'une urbanisation épurant mal ses eaux. Pour cette raison, lorsqu'on détecte qu'une étendue d'eau est envahie par les cyanobactéries, il ne faut pas considérer l'efflorescence elle-même comme la pollution, mais plutôt comme une réaction naturelle à une pollution déjà présente.

f. Taxonomie :

En raison du polymorphisme des cyanobactéries, les anciennes classifications ont donné naissance à la première révision taxonomique qui a considérablement réduit le nombre de taxons reconnus.

L'embranchement de Cyanophytes ou Cyanoschizophytes comprend une seule classe

Classe: Cyanophycées

On distingue deux sous classes:

- **Sous classe 01:** Coccogonophycidées
- **Sous classe 02:** Hormogonophycidées

➤ Sous classe: Coccogonophycidées

Cette sous classe renferme les algues bleues primitives, on les trouve soit en colonie, soit isolées, elles se multiplient par des **coccospores**.

On distingue 03 ordres:

Ordre01: **Chroococcales** Renferme les algues bleues unicellulaires.

Ordre02: **Chamaesiphonales** Sont des espèces en forme filamenteuse, la Multiplication se fait à travers des endo ou exospores.

Ordre03: **Pleurocapsales** Des algues bleues ont un trichome (filament simple), multiplication à travers des endospores

➤ Sous classe: hormogonophycidées:

Des algues bleues généralement en forme filamenteuse, la multiplication se fait par hormogonie, dans cette sous classe on peut trouver des espèces avec hétérocystes ou akinetes.

Ordre01: **Nostocales**

Cet ordre comprend 03 familles:

*Famille 01: **Oxillatoraceae**

Genre: ***Oxillatoria***

*Famille 02: **Nostocaceae** Genre : ***Anabaena*** Genre: ***Nostoc***

*Famille 03: **Rivulariaceae**

Genre: ***Calothrix***

Ordre 02: **Stigonimatales**

*Famille: **Stigonemataceae**

Exemples de cyanobactéries :

Le genre *Nostoc* :

Position systématique :

Règne : **Bactéria**

Embranchement : **Cyanophytes (ou Cyanoschizophytes)**

Classe : **Cyanophycées**

Sous-classe : **Hormogonophycidées**

Ordre : **Nostocales** Famille : **Nostocacées** Genre : ***Nostoc***

- Description :

Se regroupent en colonie ou filaments. Les filaments peuvent flotter ou s'attacher à des objets ; vit aussi dans les cours d'eau rapides ou sur les berges humides. Dans les lacs, peut croître dans l'eau jusqu'à 20 m de profondeur.

Ressemble à un collier de perles avec des cellules vides plus grosses parsemées le long du filament. Enfermé dans une masse gélatineuse.

Cellules végétatives sphériques, ovoïdes ou cylindriques.

Hétérocystes aux deux extrémités du filament (hétérocyste terminaux)

Les hétérocystes peuvent également être formés en position intercalaire.

Chez les plus longs filaments, Les **akinètes**, quand ils existent, sont en position intermédiaire entre deux hétérocystes et sont souvent en chaîne.

- Reproduction : Asexuée comme toutes les cyanobactéries

Soit une fragmentation par **hormogonies** en conditions favorables, il y a une rupture du trichome.

Soit par **germination des akinètes**, ces dernières se forment dans les filaments les plus vieux et en conditions défavorables, quand les conditions deviennent favorables, ces akinètes germent par une division binaire et donnent directement de nouveaux filaments ou chez certain nostoc les akinètes donnent d'abord des hormogonies puis des filaments.

Très rarement par **germination des hétérocystes** qui subissent une division végétative (binaire) et donnent des hormogonies.

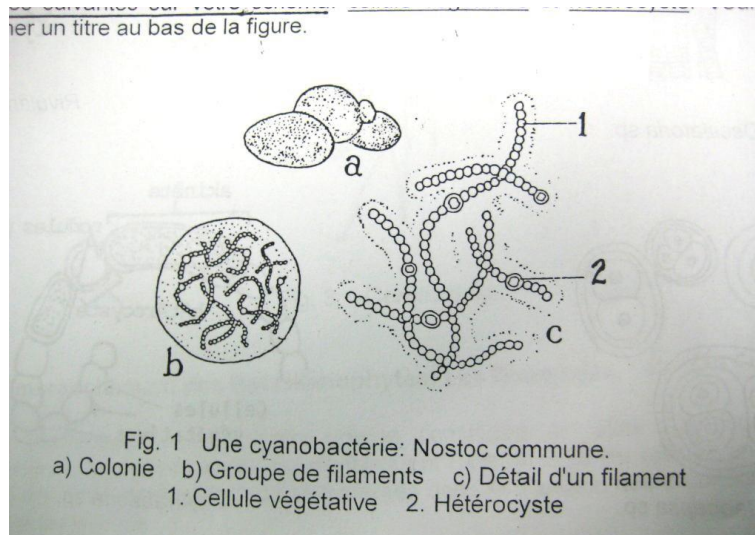


Figure 9- Colonies et filaments de *Nostoc*

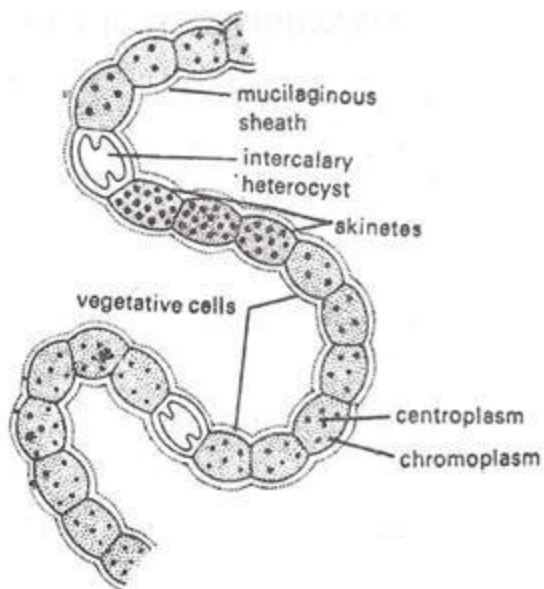


Figure 10- Un filament de *Nostoc*

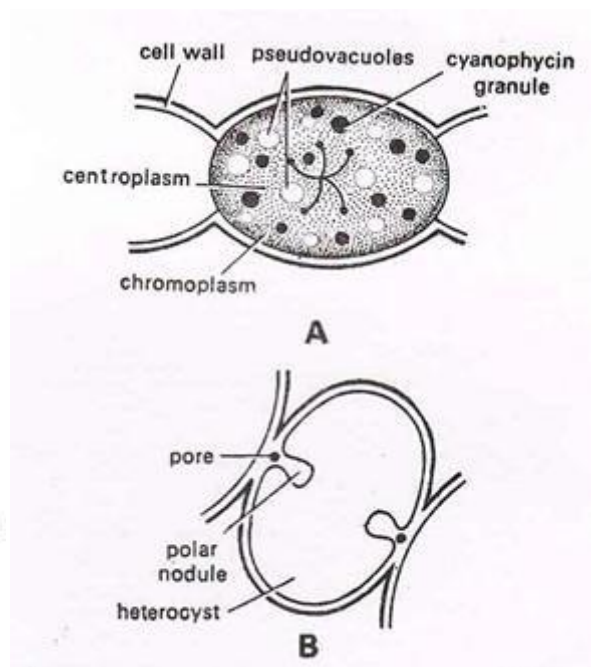


Figure 11- A. Cellule végétative de *Nostoc*
B. Hétérocyste de *Nostoc*

g. Intérêt et utilisation :

Au plan de leur utilisation par l'homme, les spirulines (*Oscillatoria pseudoplatensis* ou *Spirulina maxima*) des lacs plus ou moins salés (Tchad, Mexique) ont été consommées depuis longtemps par les riverains et sont commercialisées tant pour l'alimentation humaine qu'animale. Elles ont fait l'objet d'importantes études depuis 25 ans:

En raison de leur richesse en protéines et vitamines (la teneur en protéines atteint 70% chez certaines spirulines commercialisées)

En vue d'en extraire les pigments bleus, jaunes ou rouges, peu fréquents dans les organismes vivants et donc particulièrement recherchés par les industries alimentaires.

Pour produire une biomasse méthanisable comme source d'énergie.

- *Microcoleus chthonoplastes* joue un rôle fondamental dans l'exploitation des marais salants en constituant une couche multistratifiée et épaisse de plusieurs millimètres recouvrant le fond des bassins et permettant la récolte du sel sans mélange avec la vase.
- La culture de *Rivularia mesenterica* pourrait être intéressante à tenter dans la mesure où, dans la nature, son développement est très rapide (de juillet à septembre); de même *Lyngbya majuscula*, qui forme des touffes atteignant plusieurs centimètres, devrait aussi constituer un bon matériel pour l'aquaculture.