

CYANOBACTERIES

(Algues bleues)

CARACTERISTIQUES UTILES POUR L'IDENTIFICATION

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 (voir Tableaux II et III).

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'oeil nu soit des populations très importantes formant des "fleurs d'eau" exploitées depuis longtemps dans certaines régions (spirulines au Tchad ou au Mexique, par exemple).

Près de 150 genres, correspondant à environ 1 500 espèces, dont un grand nombre peuvent se développer en mer, ont été signalés dans le monde et plus de 50 genres, avec 200 espèces, sont cités pour les côtes d'Europe dans le travail classique de Frémy (1934). La taxinomie de ce groupe reste cependant l'objet de discussions entre spécialistes, en particulier en raison du choix des critères à utiliser qui peuvent être soit calqués sur ceux de la taxinomie bactérienne, soit, au contraire, faire une place plus grande aux rubriques classiques de morphologie et structure, utilisées chez les autres algues. La variabilité morphologique des colonies, dans la nature, semble très importante, ce qui a conduit certains auteurs, comme Drouet, à regrouper de nombreuses espèces sous le même nom (voir par exemple Humm & Wicks, 1980).

Si la morphologie des individus est très variable, la cellule des Cyanobactéries présente une organisation relativement simple de procaryote (ni plaste ni noyau individualisés) avec une paroi (dont les régions les plus externes sont souvent différenciées en gaine) qui entoure un protoplasme au sein duquel on distingue classiquement un chromatoplasme pariétal, coloré et un nucléoplasme central, incolore. Au niveau ultrastructural le chromatoplasme apparaît comme un système membranaire à thylacoïdes et phycobilisomes portant les pigments photosynthétiques (chlorophylle a, carotènes, phycocyanine, phycoérythrine). Le nucléoplasme correspond d'une part à des fibrilles d'acide désoxyribonucléique représentant le génome sans que le mécanisme exact de sa transmission soit encore bien connu, d'autre part à des grains d'acide ribonucléique (ribosomes). Diverses inclusions sont souvent présentes comme (a) des grains de cyanamylon (polysaccharide à base de glucose proche du rhodamylon) surtout abondants dans le chromatoplasme (b) des grains métachromatiques (volutine) plutôt localisés dans le centroplasme et correspondant à des polyphosphates (c) des grains de cyanophycine (réserve protéique) souvent situés dans le chromatoplasme appliqué sur les parois transversales (d) des gouttelettes lipidiques. La paroi est formée d'au moins quatre couches plus ou moins fibrillaires ou mucilageuses, plus une gaine externe facultative; une des assises internes de cette paroi contient certains constituants (comme l'acide muramique) rencontrés seulement chez les procaryotes.

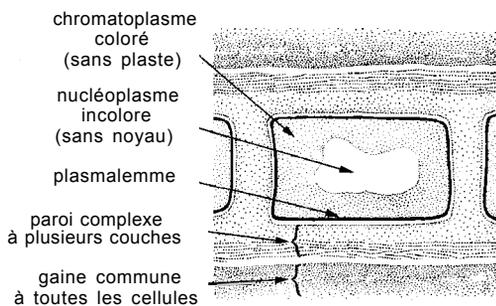
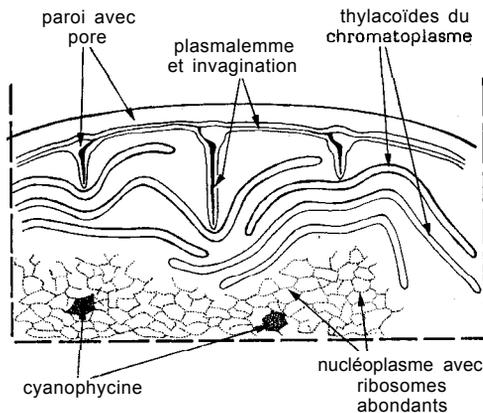


schéma de l'organisation cellulaire (microscope optique)



détail de l'organisation cellulaire (microscope électronique)

Deux grands types d'organisation sont à distinguer au sein des Cyanobactéries: **(a)** les formes unicellulaires ou coloniales simples dans lesquelles les cellules sont associées dans une gelée commune mais gardent une certaine indépendance (aucune espèce retenue ne présente ce type) **(b)** les formes filamenteuses constituées de trichomes au sein desquels les cellules sont beaucoup plus étroitement associées que ci-dessus (les cinq espèces retenues appartiennent à ce type). Il faut également signaler que ces organismes présentent une multiplication végétative importante, par formation d'hormogonies ou d'endospores, et préciser que ces processus correspondent à une simple fragmentation et non à des phénomènes de reproduction au sens strict.



ÉCOLOGIE ET UTILISATION

Ces organismes ont une grande importance dans l'écosystème marin qui n'a pas toujours été reconnue. Ils peuvent être planctoniques (comme Oscillatoria erythraea mais ils sont surtout benthiques et abondants dans les étages médiolittoral et infralittoral. Ils forment, en particulier, une ceinture souvent très nette dans la partie supérieure de l'étage médiolittoral et jouent un grand rôle sur les côtes calcaires en raison de leur mode de vie endolithe. Enfin, ils sont aussi fréquemment épiphytes; à ce titre, ils sont sûrement consommés par les animaux brouteurs et interviennent peut-être dans les phénomènes de "ciguatera" (empoisonnement de la population humaine par des toxines contenues dans la chair de certains poissons) apparaissant dans certaines régions du globe.

Au plan de leur utilisation par l'homme, les spirulines (Oscillatoria pseudoplatisensis Bourrely, 1970 = Spirulina maxima = Spirulina platensis) 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: **(a)** en raison de leur richesse en protéines et vitamines (la teneur en protéines atteint 70% chez certaines spirulines commercialisées) **(b)** 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 **(c)** pour produire une biomasse méthanisable comme source d'énergie.

Des cultures de masse, utilisant des techniques plus ou moins sophistiquées, ont été réalisées; elles correspondent à des productions de 30 à 60 t par hectare et par an. Dans des installations semi-lagunaires, fournissant des protéines destinées à l'alimentation animale, la production a atteint 2,4 t/jour d'algues sèches (soit 900 t/an) pour une surface utilisée de 20 hectares (en milieu tropical). Dans ce cas le prix de revient au juillet 1982 était de 13 FF le kg au lieu de 34 FF le kg pour une surface de culture de 5 hectares assurant une production destinée à l'alimentation humaine. En tenant compte des possibilités de développement de l'extraction des pigments, ces prix apparaissent alors acceptables pour le marché de la diététique et à la limite de la compétitivité pour le marché de l'alimentation animale. Un développement des cultures pourrait être envisagé (d'après Fox) dans de nombreuses lagunes côtières en Tunisie ou Israël en particulier. En Italie, le centre d'études des microorganismes autotrophes du CNR (Florence) poursuit un programme important de recherches sur les spirulines.

Peu d'études ont été réalisées sur les Cyanobactéries, autres que les spirulines, en vue de l'utilisation directe par l'homme, sans doute par manque de traditions culinaires et en raison de difficultés techniques. Il est pourtant certain qu'il y a là un champ d'exploitation important à développer, ne serait-ce qu'en raison des remarquables propriétés métaboliques qu'ont ces organismes de fixer l'azote (déjà mises largement à profit dans la riziculture) ou même de s'orienter préférentiellement vers la synthèse des glucides ou des protéines en fonction des conditions du milieu. Outre Spirulina subsalsa, les quatre autres espèces retenues présentent un potentiel réel: 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 maiuscula, qui forme des touffes atteignant plusieurs centimètres, devrait aussi constituer un bon matériel pour l'aquaculture; des essais en laboratoire ont été réalisés avec Oscillatoria erythraea (espèce strictement planctonique, encore désignée sous le nom de Trichodesmium erythraeum), mais sans succès pour l'instant, alors que dans la nature elle forme des fleurs d'eau rouge jaunâtre de plusieurs mm², souvent abondantes (qui seraient responsables du nom donné à la mer rouge).

IDENTIFICATION DES ESPÈCES RETENUES

Les déterminations précises exigent l'utilisation du microscope; néanmoins, les colonies des 5 espèces retenues se reconnaissent facilement dans la nature. Le tableau sommaire permet l'identification des colonies et la clé, fondée sur les caractères des trichomes, conduit à une détermination précise des espèces tout en soulignant leur position systématique au sein des Cyanobactéries.

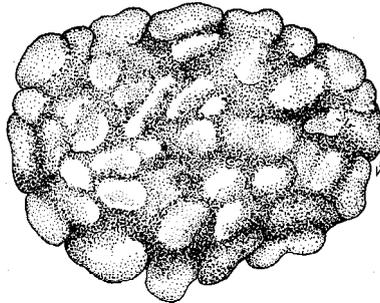
Tableau de reconnaissance des colonies (à l'oeil nu)

Masse globuleuse mamelonnée, creuse (de quelques millimètres à quelques centimètres), vert foncé, sur les rochers des hauts niveaux	<u>Rivularia mesenterica</u>
Tapis épais constituant le fond des marais salants (forme des lambeaux, lors de la dessiccation, se détachant facilement)	<u>Microcoleus chthonoplastes</u>
Masses étalées de plusieurs mm ² , verdâtres, appliquées sur les rochers ou autres substrats	<u>Spirulina subsalsa</u>
Touffes de filaments crépus, de couleur noire, bleue, jaune verdâtre, pouvant atteindre plusieurs centimètres	<u>Lyngbya majuscula</u>
Fleurs d'eau planctoniques (de pleine mer) de plusieurs mm ² , de couleur jaune rougeâtre	<u>Oscillatoria erythraea</u>

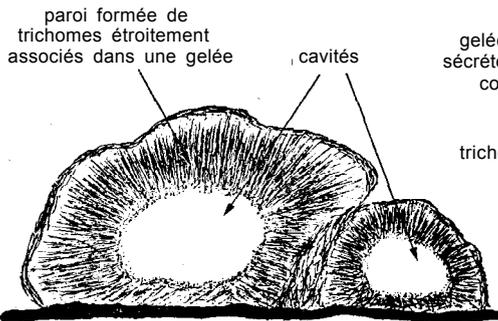
Clé d'identification des espèces (au microscope)

Rappelons que l'utilisation de l'encre de chine facilite la mise en évidence de la gaine.

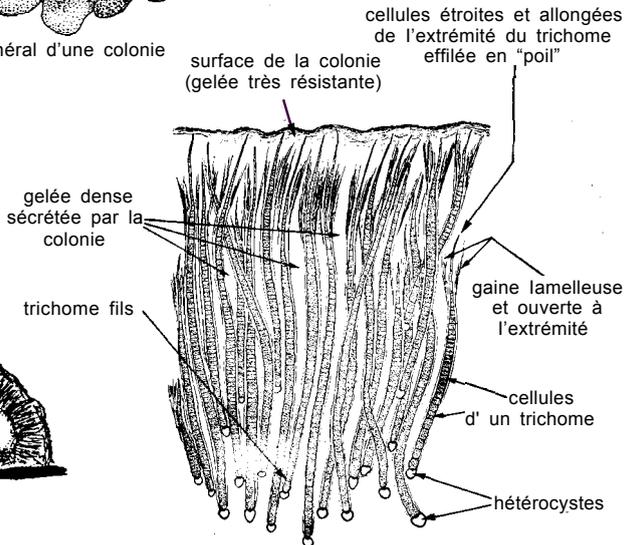
- 1. Organisme non constitué de trichomes (aucune espèce retenue n'appartient à ce groupe) **CHROOCOCCALES**
- 2. Organisme filamenteux constitué de trichomes **HORMOGONALES**
 - 2.1 Toutes les cellules des trichomes ne sont pas semblables (présence d'hétérocystes, poils, etc.) (groupe des Hétérocystées) Rivularia mesenterica



aspect général d'une colonie



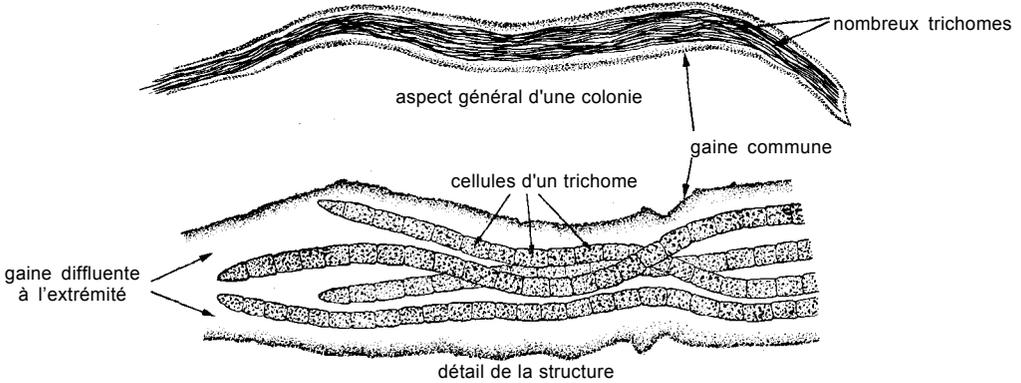
coupe transversale d'une colonie



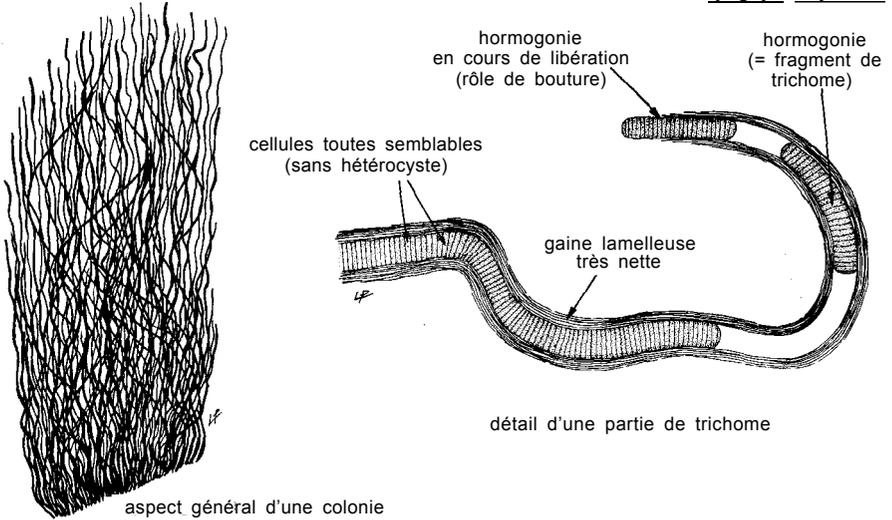
détail de la structure

2.2 Toutes les cellules des trichomes sont relativement semblables (pas d'hétérocystes, poils, etc.) (groupe des Homocystées)

2.2.1 Trichomes engainés, réunis à plusieurs dans la même gaine **Microcoleus chthonoplastes**

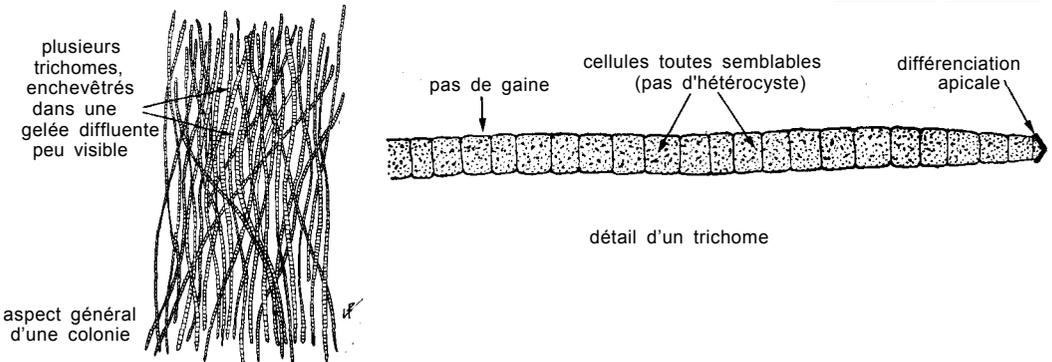


2.2.2 Trichomes engainés, non réunis à plusieurs dans une même gaine; gaine toujours ouverte aux extrémités **Lyngbya majuscula**

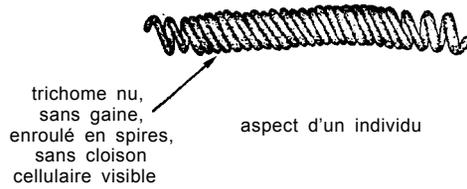


2.2.3 Trichomes nus

2.2.3.1 Trichomes non spiralés **Oscillatoria erythraea**



2.2.3.2 Trichomes spiralés Spirulina subsalsa



LISTE DES ESPECES RETENUES

(Les codes sont attribués aux seules espèces décrites en détail)

HORMOGONALES

Lyngbya majuscula Harvey, 1883

Microcoleus chthonoplastes Thuret, 1875

Oscillatoria erythraea (Ehrenberg) Kützing, 1843
= Trichodesmium erythraeum Ehrenberg, 1830

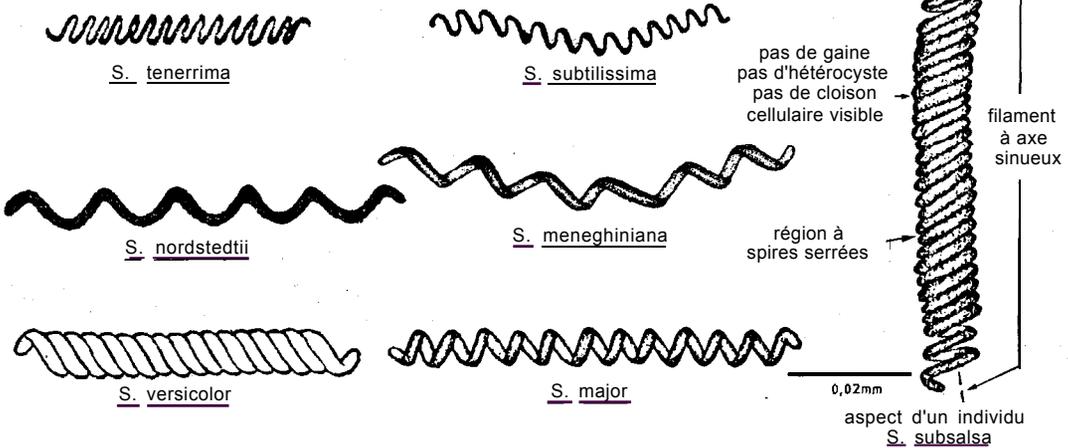
Rivularia mesenterica Thuret, 1875

Spirulina subsalsa Oersted, 1842

CB Spir 1

Spirulina subsalsa Oersted, 1842

Autres noms scientifiques encore en usage: Aucun.*



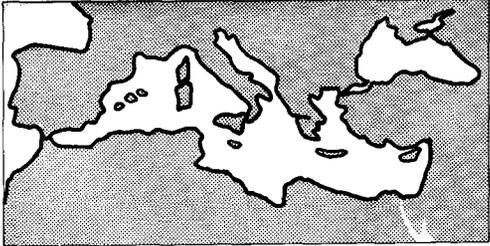
Noms vernaculaires : FAO: An - Sea Spirulina; Es - Espirulina de mar; Fr - Spiruline de mer. Nationaux:

Caractères distinctifs : A l'oeil nu, se présente sous forme de masses étalées, érugineuses ou vert jaunâtre, ou de filaments mélangés à diverses autres espèces. Sa couleur varie beaucoup en fonction de l'intensité de la lumière; on observe une certaine adaptation chromatique puisque les populations sont souvent bleu-vert clair dans les milieux peu profonds ou sous forte intensité (sans doute par prédominance de phycocyanine) alors qu'elles prennent une teinte rouge ou brunâtre quand elles se développent plus profondément (quelques mètres) en raison de la prédominance de phycoérythrine. Au microscope type filamenteux avec trichomes présentant les caractères suivants: (a) non ramifié; (b) sans hétérocyste (Hormogonales-homocystées); (c) sans gaine visible mais sécrétant des polysaccharides formant souvent une masse diffuse; (d) typiquement spirale, mobile et se vrillant dans le milieu (le degré de spiralisation, très variable, est peut-être en relation avec la salinité: les spires seraient d'autant plus serrées que la salinité est plus élevée; ce degré de spiralisation peut même varier d'une partie à l'autre d'un même trichome); (e) ne montrant pas de cloisons transversales visibles au microscope optique; (f) d'un diamètre généralement de 1 à 2 µm. Le trichome se multiplie par simple fragmentation. L'axe du filament est sinueux.

Taille : Le filament a un diamètre de 3-5 µm, dans les régions à spires denses; sa longueur varie (peut atteindre plusieurs millimètres) et semble aussi en rapport avec les conditions du milieu.

Habitat et écologie : Espèce commune dans les étages médolittoral et infralittoral supérieur; aussi dans les eaux saumâtres; espèce cosmopolite.

Récolte et utilisation : Cette espèce a fait l'objet d'expérimentations et d'études de productivité en Italie (Calvo) mais ne semble pas encore être exploitée industriellement comme le sont d'autres spirulines (*Oscillatoria pseudoplatensis*) tant dans l'alimentation humaine ou animale (souvent sous forme lyophilisée) que comme matière première pour en extraire des pigments (phycocyanine en particulier). De toute façon, toute exploitation implique des techniques d'aquaculture dans lesquelles les procédés de récolte occupent une place importante. (Voir les informations à ce sujet au chapitre écologie et utilisation des Cyanobactéries.)



Espèce cosmopolite

* **Remarque :** Un grand nombre d'espèces de *Spirulina* ont été décrites, dont les caractères distinctifs portent sur le degré de spiralisation et le diamètre des trichomes, leur couleur, etc. Certains auteurs considèrent que ces caractères sont trop variables pour justifier des espèces séparées et rassemblent toutes les formes sous le nom *S. subsalsa*. A titre documentaire, certaines d'entre elles sont figurées ci-dessus.