

Partie 02 : Algologie

1. Définition et caractéristiques générales des algues

Les algues sont des eucaryotes, autotrophes et photosynthétiques. Elles peuvent être sous forme unicellulaire ou pluricellulaire. La taille de ces organismes est très variée, allant de quelques micromètres à plusieurs mètres. Bien que les algues microscopiques soient sous forme unicellulaire ou filamenteuse, leurs structures cellulaires et leurs thalles sont bien plus développés que ceux des champignons.

Les algues sont aquatiques ; elles vivent principalement dans les océans et les eaux douces. Mais certaines espèces sont aussi rencontrées sur les sols très humides (Eichhorn *et al.* 2014). Ces organismes ont trois couleurs principales résultant des pigments photosynthétiques : quand les pigments chlorophylliens sont prédominants, il en résulte des algues vertes. Par contre, quand la chlorophylle est plus ou moins masquée par d'autres pigments caroténoïdes, les algues prennent une couleur rouge ou brune.

2. Structure et morphologie des algues

2.1. Structure des algues

Les algues ont une structure commune à toutes les structures végétales. Elles sont munies d'un noyau, de mitochondries, de vacuoles de réserves, de ribosomes, d'un appareil de Golgi, d'un réticulum endoplasmique, de vacuoles de maintien, d'un pyrénioïde, du cytosquelette, d'une membrane cytoplasmique, d'une paroi, etc. (Figure 01) .

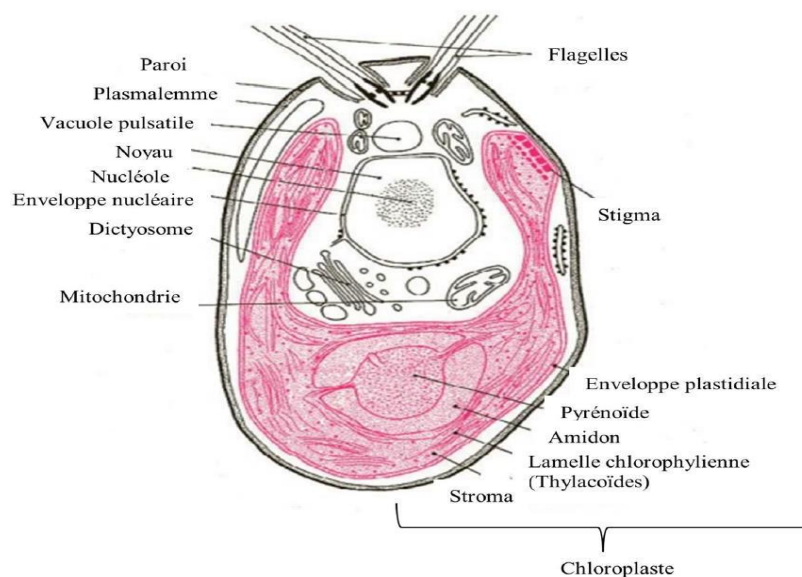


Figure 01 ; Structure de *Chlamydomonas*

Néanmoins, cette structure se caractérise par :

- **Paroi cellulaire** : de nature glucidique (cellulose et composés pectiques), elle entoure la matière vivante de la cellule. Elle peut être absente chez certaines algues flagellées qui ne possèdent qu'une enveloppe mince formée par la pellicule externe du cytoplasme. Malgré la nature cytoplasmique de cette pellicule, celle-ci montre parfois des ornements disposés en réseau ou en spirale (par exemple chez les Euglénophycées du genre *Phacus*).

La paroi glucidique est généralement formée de plusieurs couches. la couche externe est parfois visqueuse.

- **Noyau** : il occupe en général le centre de la cellule et comprend un nucléole. Il est parfois suspendu au centre de la cellule par des travées cytoplasmiques, comme chez *Spirogyra* ou chez les Diatomées naviculoïdes.

Chez les genres à cellules à plusieurs noyaux (chez les-Rhodophytes principalement), les noyaux sont en général situés dans le cytoplasme entre les vacuoles et les plastes. En général, la structure ne diffère pas de celle du noyau des cellules de plantes supérieures, mais il est plus petit.

- **Plastes** : participe à la synthèse des formes de réserve comme l'amidon. Ils sont porteurs de la chlorophylle et des pigments accessoires. Ils sont de formes très variées mais caractéristiques et constantes pour chaque espèce. le **Pyrénoïde** un type de plastes chez les Chlorophytes responsable de la production de grains d'amidon.
- **Flagelles** : chez les zoospores et se forment au cours de la multiplication de certaines algues et les cellules végétatives; ainsi chez certaines micro algues mobiles ex: *Chlamydomonas*.
- **Vacuole pulsatile**: organe d'osmorégulation, notamment important pour les espèces qui vivent en eau douce, elle permet l'évacuation active de l'eau (de l'intérieur de la cellule vers l'extérieur).
- **Le Stigma**: tache oculaire : élément photosensible, qui permet les réponses phototactiques. Orientation de déplacement par rapport à la lumière.

2.2. Morphologie des algues

Les algues se présentent sous forme de cellules libres, de colonies ou de thalles pluricellulaires. Selon la morphologie, trois types de thalles sont facilement distingués :

* **Les archéthalles** : Certaines algues sont sous forme de cellules libres et vivent dissociées les unes des autres. Elles peuvent être mobiles par des flagelles ou immobiles (Figure 02). Ces algues sont qualifiées d'« archéthalles unicellulaires ». Ex : Les Euglènes, les Diatomées et les Dinoflagellés .

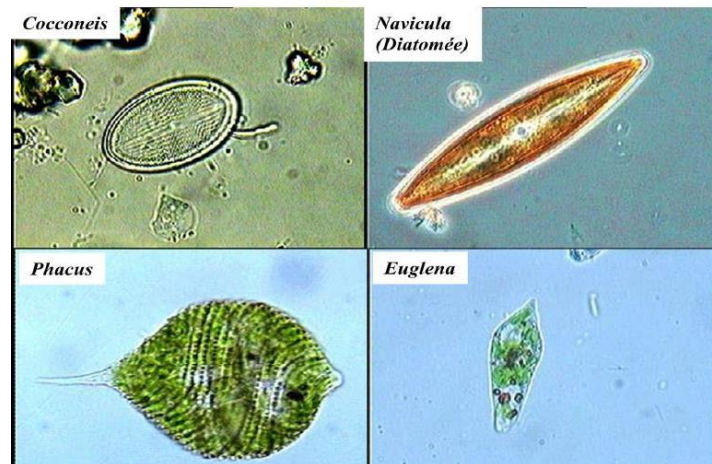


Figure 02 : Exemples de quelques archéthalles unicellulaires

D'autres algues unicellulaires ont tendance à s'assembler sous forme de colonies grâce à une gelée adhésive ou un mucilage (Figure 03). Elles forment alors des structures dites « archéthalles pluricellulaires ». Ex : *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Gonium*, *Volvox*

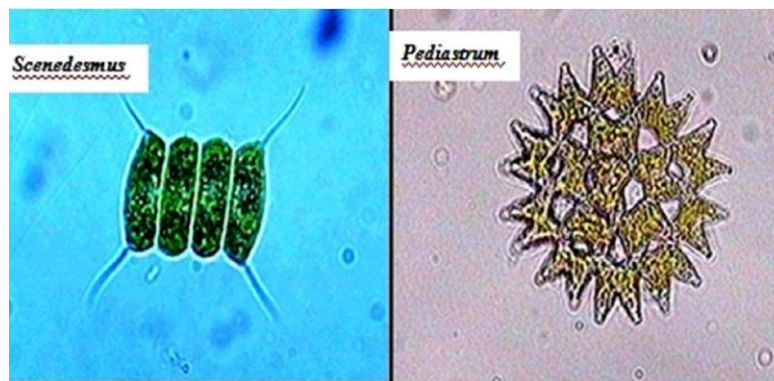


Figure 03 : Exemples de quelques archéthalles

* **Les nématothalles ou prothalles** : Ce sont des algues filamenteuses formées d'une partie fixatrice et d'une partie libre dans l'eau. Cette dernière croît selon un seul axe et peut être ramifiée ou non, prostrée ou erectée. Chez les nématothalles, les filaments peuvent être formés par une ou plusieurs rangées de cellules : « thalles haplostiques »

et « thalles polystiques » respectivement. Toutefois, les prothalles peuvent se limiter à une seule cellule donnant des « thalles unicellulaires » (Figure 04)

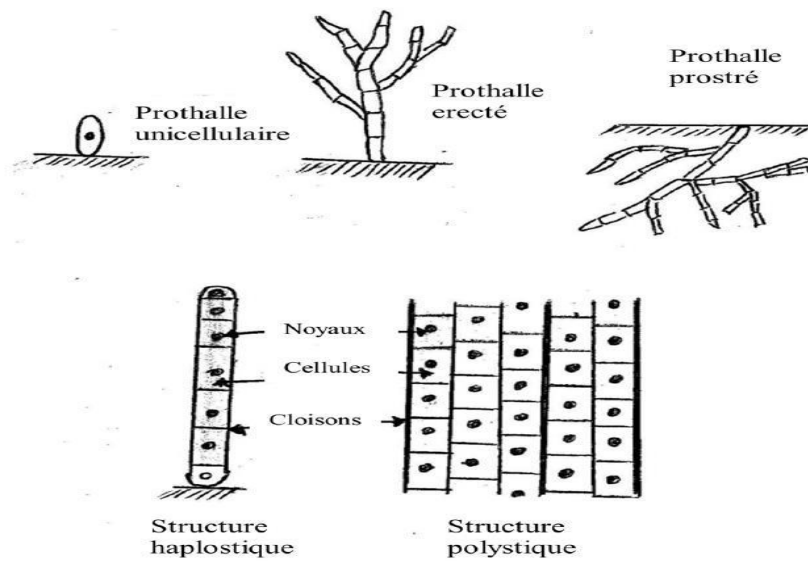


Figure 04 : Schéma général des nématothalles

* **Les cladothalles (cladomes) :** Ce sont les algues les plus développées. Elles sont munies d'une partie fixatrice et d'une partie libre. A la différence des nématothalles, la partie libre des cladothalles à une croissance indéfinie. Elle peut se développer selon un axe principal et des axes secondaires : « thalle multiaxial », ou selon un seul axe : « thalles uniaxial » (Figures 05 et 06).

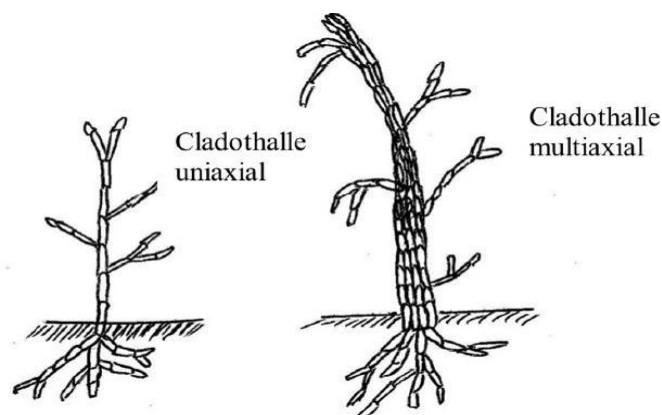


Figure 05 : Axes de croissance des cladothalles

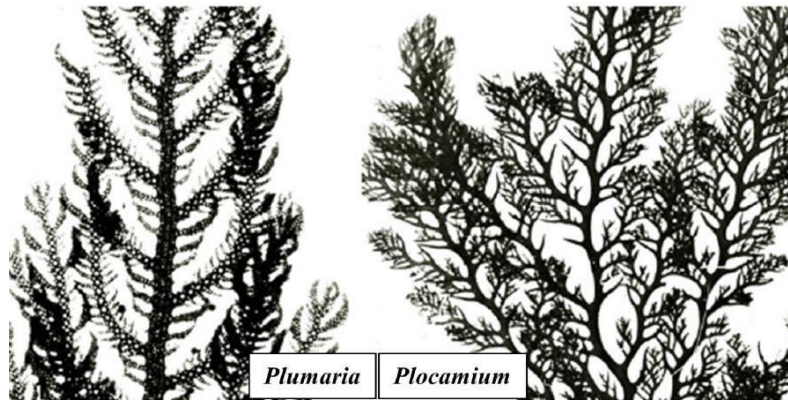


Figure 06: Exemples de quelques cladothalles multiaxiaux

3. Cycles de reproduction des algues

Les algues peuvent se reproduire par voie sexuée ou asexuée :

❖ La reproduction asexuée :

Pour les algues unicellulaires, elle s'effectue par division binaire (scissiparité) donnant des cellules filles identiques aux cellules mères. Par contre pour les algues pluricellulaires, la reproduction asexuée s'effectue par :

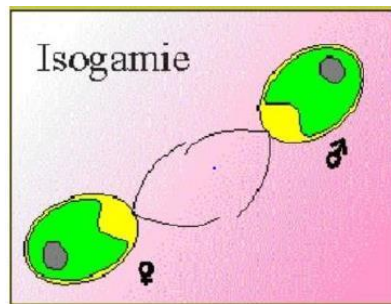
- Des fragments du thalle qui se détachent et donnent de nouveaux individus identiques aux précédents.
- Des spores flagellées à $2n$ chromosomes. Elles peuvent être immobiles (aplanospores) ou mobiles par des flagelles (zoospores ou planospores).
- Des spores produites par bourgeonnement du thalle ou sous formes de propagules.

❖ La reproduction sexuée :

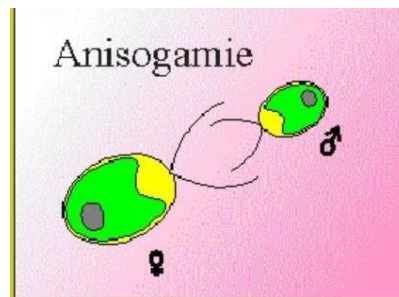
Pour les algues unicellulaires, la reproduction sexuée s'effectue par méiose donnant des gamètes sexués. Pour les algues pluricellulaires, elle repose sur des gamétocystes qui produisent des gamètes mâles et femelles. Si les gamétocystes de sexes opposés appartiennent au même gamétophyte, l'espèce est qualifiée de « monoïque » ou « bisexuée ». Et s'ils appartiennent à des gamétophytes mâles ou femelles, l'espèce est qualifiée de « dioïque » ou « monosexuée »

Les modes de reproduction sexuée connus chez les algues sont :

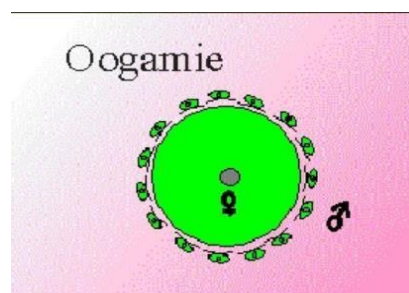
- **L'isogamie** : C'est la fusion entre des gamètes de sexes opposés identiques d'un point de vue morphologique et physiologique. Ex. *Chlamydomonas*.



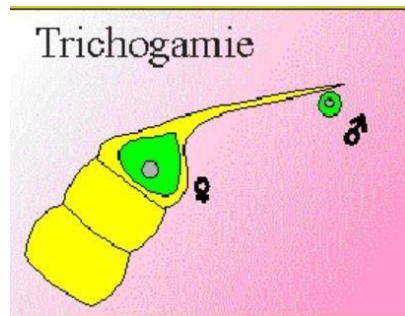
- **L'anisogamie** : Elle représente la fusion de deux gamètes flagellés différents morphologiquement et/ou physiologiquement. Ex : *Ulva*.



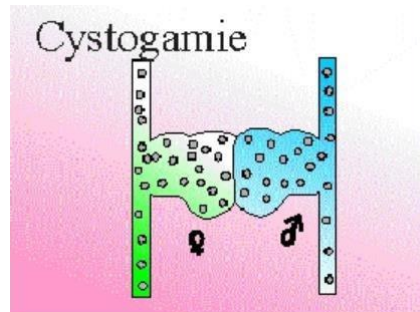
- **L'oogamie** : C'est la fécondation entre un gamète femelle grand, immobile et chargé en réserves et un gamète mâle flagellé et petit. Ex : *Fucus*.



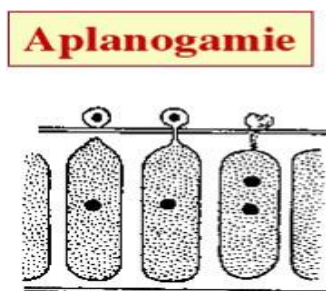
- **La trichogamie** : Se dit quand le gamète femelle reste dans le gamétophyte et forme une élongation dite « trichogyne ». Le gamète mâle qui est immobile, se colle sur le trichogyne et est dirigé jusqu'au gamète femelle. Ex : Les Rhodophytes.



- **La cystogamie** : Elle représente la formation de plusieurs ponts de conjugaison entre les cellules d'un thalle mâle et les cellules d'un thalle femelle. Ex : *Spirogyra*.



- **L'aplanogamie** : Elle s'effectue entre un gamète mâle immobile libéré dans le milieu et un gamète femelle immobile aussi qui demeure dans le gamétophyte. Le gamète mâle est surmonté d'une papille à la surface pour faciliter la fécondation. Ex : *Porphyra*



L'isogamie, anisogamie et oogamie sont dites Planogamie où au moins un des gamètes qui est mobile.

La planogamie et l'aplanogamie sont des formes bien adaptées au milieu aqueux.

4. Taxonomie des algues

La classification des algues est basée sur plusieurs critères, les plus importants étant le type du thalle, les pigments photosynthétiques, la constitution de la paroi, le type de reproduction, l'écologie et la mobilité. En prenant compte de ces paramètres, cinq divisions d'algues sont distinguées :

4.1. Les Chlorophytes (Chlorophyta ou algues vertes)

Les Chlorophytes peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires. Ces algues se caractérisent toutes par la présence de la chlorophylle « b » dans leurs plastes. En plus de ce pigment, la chlorophylle « a » est souvent présente, mais la « c » l'est rarement. Les plastes peuvent aussi renfermer des caroténoïdes (carotènes et xanthophylles). Les Chlorophytes contiennent de l'amidon dans leurs vacuoles de réserves. Les formes unicellulaires (espèces unicellulaires ou spores de reproduction) sont souvent mobiles par flagelles (généralement deux ou quatre). Ces algues sont rencontrées aussi bien dans les eaux douces que dans les eaux marines. Elles sont autotrophes, hétérotrophes ou mixotrophes.

4.2. Les Paeophytes (Paeophyta ou algues brunes)

Les Phaeophytes sont des algues presque exclusivement marines. Elles sont toujours pluricellulaires et peuvent atteindre plusieurs mètres de longueur. Ces algues sont les seules à posséder la « fucoxanthine » dans leur plaste, d'où leur couleur brune. En plus de ce pigment, les chlorophylles « a » et « c », les « xanthophylles » et d'autres caroténoïdes peuvent être présents. Les algues brunes sont toujours dépourvues d'amidon, elles renferment plutôt la « laminarine » et le « mannitol ».

4.3. Les Rhodophytes (Rhodophyta ou algues rouges)

Les Rhodophytes sont rencontrées dans les eaux douces, les eaux marines et sur les surfaces très humides. Elles se caractérisent par leur teneur en phycobiliprotéines, dont les phycoérythrines et la phycocyanine. Ces pigments leur permettent de vivre dans plusieurs écosystèmes, y compris les eaux profondes où la lumière est faible.

Ces algues ont des vacuoles de réserves qui contiennent l'amidon floridéen (dit aussi rhodamylon).

4.4. Les Bacillariophytes (Bacillariophyta ou Diatomées)

Les Baillariophytes sont des algues unicellulaires qui se caractérisent par une paroi sertie de plaques ou de fibrilles de silice associée à des matériaux organiques. La paroi se présente sous forme de deux « valves » qui s'emboîtent parfaitement, comme une boîte et son couvercle pour constituer la « frustule ».

Selon la forme de la frustule, les Diatomées se divisent en « Diatomées centrales » (dites aussi centriques) et en « Diatomées pennales » (ou pennées). Les premières ont une symétrie axiale et une ornementation rayonnante, tandis que les secondes ont une symétrie bilatérale et des ornementations disposées de part et d'autre d'une fente médiane appelée le « raphé ». (Figure 07)

Ces microorganismes ont un rôle écologique très important car ils assurent près d'un quart de la photosynthèse planétaire et sont considérés, avec les Dinoflagellés, comme étant les plus grands producteurs primaires. Ils sont rencontrés dans les eaux douces, les océans et les sols humides .

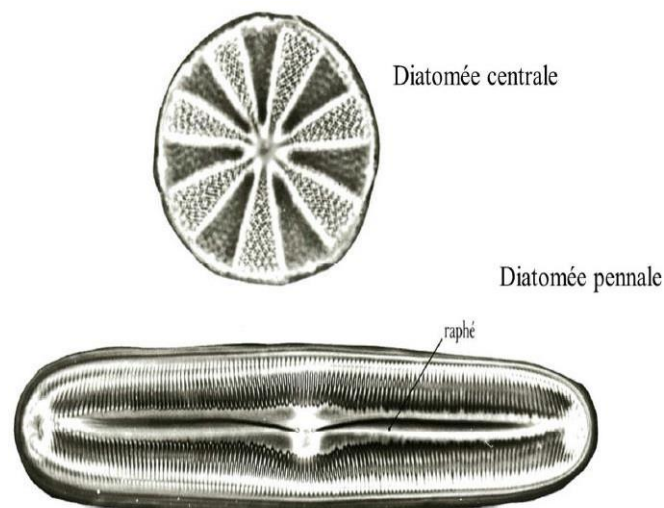


Figure 07 : Photos d'une Diatomée centrale et d'une Diatomée pennale

4.5. Les Dinoflagellates (Dinoflagellata ou Dinoflagellés)

Les Dinoflagellés sont des algues unicellulaires rencontrées dans les eaux de mer et les eaux douces. Leur caractéristique absolue est qu'elles ont des thèques (enveloppes dures) qui protègent la cellule. Ces thèques sont formées de plaques rigides de cellulose incrustées de silice (Figure 08 A).

La paroi des Dinoflagellés est traversée de deux flagelles perpendiculaires. L'un passe par le sillon équatorial et permet un mouvement rotatoire, l'autre traverse le sillon postérieur et assure un mouvement progressif (Figure 08 B).

Les Dinoflagellés sont à la base de plusieurs chaînes alimentaires. Elles forment avec les Diatomées la plus grande partie du plancton des eaux douces et marines. Certaines espèces sont autotrophes ou mixotrophes, tandis que d'autres sont exclusivement hétérotrophes.

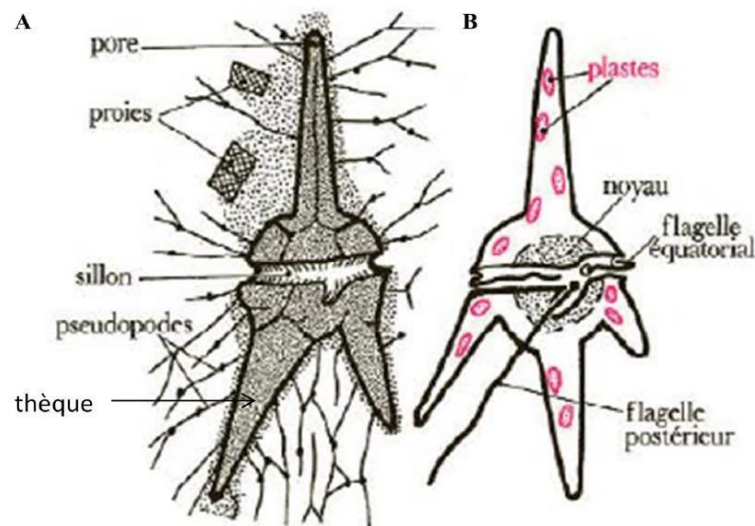


Figure 08 : Exemple d'un Dinoflagellé, le genre *Ceratium*

A : Aspect externe. B : Position des flagelles

5. Importance des algues

Les algues sont capables de produire des métabolites qui ont un grand intérêt pour l'homme. Elles sont notamment utilisées en industrie pharmaceutique, industrie culinaire et industrie cosmétologique. Parmi les utilisations actuelles des algues, nous pouvons citer :

*** La production des agars :** Les agars sont extraits de plusieurs espèces, mais surtout de celles appartenant aux genres *Gelidium*, *Gelidiella* et *Gracilaria*. Ces composés sont utilisés comme épaississants en industrie culinaire (sauces, pâtisserie, glaçage, etc.) ou comme agents solidifiants pour permettre certains procédés biologiques (Ex : gel d'électrophorèse, géloses pour la culture des microorganismes).

***La production de la phycocyanine :** La phycocyanine est extraite des espèces du genre *Porphyra* (algues rouges) et d'*Arthrospira platensis* (une cynaobactérie) (Sampath-Wiley et

Neefus 2007 ; Esquivel-Hernández *et al.* 2016). Cette substance facilite la différenciation des cellules souches au sein de la moelle osseuse permettant ainsi la production des plaquettes, des globules rouges et des globules blancs. De même, elle induit l'apoptose des cellules cancérigènes et optimise le fonctionnement du système immunitaire. Pour toutes ces propriétés, la phycocyanine est utilisée en industrie thérapeutique afin d'empêcher l'évolution des divers cancers.

*** Production de l'acide alginique et des alginates :** L'acide alginique et des alginates sont des composés très hydrophiles produits par les Phaeophytes, notamment les Laminaires. Ils sont utilisés en industrie pharmaceutique pour l'enrobage des médicaments et en industrie alimentaire comme agents gélifiants, humectants et épaississants.

L'acide alginique et les alginates sont aussi utilisés pour le traitement de l'obésité. En effet, en formant dans l'estomac une masse de consistance gélatineuse, ils assurent la réplétion du tube digestif et diminuent la sensation de faim.

*** La consommation directe des algues :** Certaines espèces sont cultivées pour une consommation directe. Parmi elles, *Porphyra tenera* (le nori) et *Laminaria japonica* (le konbu) qui sont très utilisées au Japon, *Palmaria palmata* (le Dulse) qui est consommé en Amérique du nord et *Chondrus crispus* (le petit goémon) commercialisé surtout en France.

La consommation telle qu'elle des algues est encouragée dans ces pays pour leur richesse en vitamines (A, B12, C, E, etc.), en oligo-éléments et en divers composés bioactifs. De plus, certaines espèces comme *Chondrus crispus* permettent de stimuler le système immunitaire et d'accroître la lutte contre les infections.

6. Effets délétères des algues

Les algues jouent un rôle très important dans l'équilibre écologique, mais elles peuvent aussi causer de grandes perturbations des écosystèmes. Parmi les effets nuisibles des algues, nous pouvons citer les deux suivants :

Effet 1 :

Quand les conditions sont favorables, les algues protistes ont tendance à croître de manière exponentielle. Parmi elles, les Dinoflagellés qui sont souvent toxiques pour les poissons, les invertébrés et les mammifères. En effet, ces espèces produisent des neurotoxines très puissantes qui causent des paralysies à l'organisme qui les consomme.

Les crustacés et les moules qui se nourrissent des Dinoflagellés accumulent donc les toxines, ils jouent le rôle de premiers filtres. Puis, tous les organismes qui succèdent dans la chaîne alimentaire emmagasinent de plus en plus de toxines, jusqu'à ce qu'on arrive au consommateur final (homme, animaux ou grands poissons). Ce dernier subira alors des intoxications graves, souvent mortelles.

Chez l'homme, l'intoxication se traduit par une paralysie de la bouche puis de la face entière en quelques heures seulement.

Effet 2 :

Cet effet est aussi observé quand les conditions deviennent favorables pour les algues. Ces dernières croissent alors de manière importante dans les systèmes aquatiques les rendant riches en oxygène dissout. Une fois mortes et décomposées, les algues fournissent une grande diversité de matières organiques. Le milieu devient alors favorable à la prolifération des microorganismes hétérotrophes et aérobies (bactéries, levures, etc.), puis des organismes aérobies (crustacés, poissons, etc.). Au fur et à mesure de leur croissance, ces individus causent un appauvrissement de l'eau en oxygène et meurent progressivement. Il ne subsiste alors que les espèces anaérobies, notamment les bactéries. Ce phénomène est qualifié d' « eutrophisation »