

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



Année Universitaire 2024/2025

Ecole Supérieure en Sciences Biologiques d'Oran (ESSB d'Oran)
Département des Classes Préparatoire ou Département du Second Cycle

Polycopie Pédagogique

Matière :

**Cours de
Biodiversité des Organismes
Aquatiques**

Niveau : 1^{ère} année Second Cycle

Option : Biologie Moléculaire

Spécialité : Biotechnologie

Filière : Sciences Biologiques

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Réalisé par :

Dr Belhadj Hanane

Matière enseignée pendant les Années Universitaires :

2017/2018

2018/2019

2019/2020

2020/2021

2021/2022

Avant-propos

Le présent polycopié intitulé « Biodiversité des Organismes Aquatiques » est destiné aux étudiants de la 1^{ère} Année Second cycle, spécialité : Biologie Moléculaire à l'école Supérieure en Sciences Biologiques d'Oran. Il peut aussi constituer un support pédagogique très utile pour tous les étudiants des autres spécialités issues de la filière des Sciences Biologiques.

Ce document sera proposé sous formes de cours magistral dont les idées de bases sont généralement expliquées par de nombreux exemples d'application, et illustrées par des figures, des graphes et des photos. Il nécessite donc des connaissances fondamentales et des compétences acquises en ce qui concerne les écosystèmes marins, la mise en œuvre d'approches d'étude et d'analyse des facteurs impliqués dans leur variabilité spatiale et temporelle, les relations trophiques entre les différents compartiments biologiques et dans différents systèmes. Par ailleurs, ce manuel contient aussi des compléments de connaissances qui vont contribuer activement dans la compréhension de nouvelles informations.

Le but principal de ce manuel pédagogique est de faire acquérir aux étudiants un ensemble de concepts et approches leur permettant de comprendre la structure et le fonctionnement de base des écosystèmes marins ; de mettre aussi à la disposition des étudiants les mots clés du concept de biodiversité, connaître la biodiversité à ses différentes échelles, déduire les services écosystémiques qu'offre notre environnement.

Ce polycopié est une synthèse établie à partir de divers ouvrages. Il fournit à la fin des références succinctes d'ordre général et technique (livres, articles scientifiques et rapports publiés par des organisations internationales), qui serviront comme base aux étudiants pour approfondir leurs recherches scientifiques.

C'est un support de cours qui a l'ambition de jouer le rôle de facilitateur pédagogique. Ce document comprend quatre chapitres portant surtout sur les notions de la biodiversité végétale des écosystèmes aquatiques.

SOMMAIRE

Introduction : Définitions et histoire de la biodiversité	4
Chapitre I : Diversité structurale et fonctionnelle des macrophytes	16
1. Les macroalgues	18
1. 1. Définition des algues	19
1. 1. 1. Organisation de l'appareil végétatif des algues	20
a- Thalle unicellulaire	20
b- Thalle pluricellulaire	20
1. 1. 2- La croissance des algues (modes de croissance des algues)	24
a- Croissance apicale dichotomique	23
b- Croissance intercalaire	24
c- Croissance diffuse	24
1. 1. 3. Reproduction des algues	27
a- Reproduction asexuée	26
b- Reproduction sexuée	27
1. 2. Diversité	32
1. 2. 1. Algues vertes ou Chlorophytes	33
1. 2. 2. Algues brunes ou Phaeophytes	34
1. 2. 3. Algues rouges ou Rhodophytes	35
1. 3. Ecologie des algues	36
2. les plantes aquatiques (hydrophytes)	41
2. 1. Organisation et classification	41
2. 2. Reproduction	42
a. Reproduction sexuée	42
b. Reproduction asexuée ou multiplication végétative	43
c. Dissémination des végétaux aquatiques	43
2. 3. Types de formations végétales	45
a. Les hydrophytes flottants libres	46
b. Les hydrophytes fixés à feuilles flottants	46
c. Les hydrophytes fixés et immergées	47
d. Les groupements végétaux aquatiques	47
2. 4. Ecologie des hydrophytes	48
3. Les Phanérogames marines	54
3. 1. Organisation et classification	54
3. 2. Reproduction	56
3. 3. Ecologie des herbiers de Phanérogames marines	56
Chapitre II : Diversité des Microphytes	60
1. Classification des microalgues	63
A- Les bacillariophycées (diatomées)	65
B- Dinophycées (Dinoflagellés)	68
C- Rhodophycées (microalgues rouges)	70
D- Chlorophycées (microalgues vertes)	70
E- Eustigmatophycées	71
2. Biologie des microalgues : cycle cellulaire	73
3. Reproduction des microalgues	74
Chapitre III : Les biomasses marines	81
Chapitre IV : Mesure et conservation de la biodiversité	96
Références Bibliographiques	114
Annexe : Exemple du Test et de l'Examen de la matière.	

Organisation des cours

Chapitre I : Diversité structurale et fonctionnelle des thallophytes.

Les macroalgues

Les plantes aquatiques (hydrophytes)

Les Phanérogames marines

Chapitre II : Diversité structurale et fonctionnelle des Microphytes.

Les microalgues

Chapitre III : Les biomasses marines

Chapitre IV : Mesure et conservation de la biodiversité

• Les objectifs principaux du cours

• Historique et Définition de la biodiversité.



Introduction

Définitions et Histoire de la Biodiversité

Le terme biodiversité synonyme de diversité biologique est un néologisme apparu au début des années 1980 au sein de l'UCIN (Union International pour la Conservation de la nature) mais son usage ne s'est largement répandu qu'à partir de la Conférence de Rio sur l'environnement et le développement organisée par les Nations Unies en 1992, qui représente un tournant majeur dans la prise de conscience des enjeux du patrimoine naturel. L'expression diversité biologique a été inventée par Thomas Lovejoy (biologiste américain spécialiste de l'Amazonie) en 1980, tandis que le terme biodiversité lui-même a été introduit par Walter G. Rosen (Biologiste américain) en 1985, lors de la préparation du premier forum américain sur la diversité biologique qui s'est tenu l'année suivante.

Le concept de *diversité biologique* (biological diversity) est apparu dans les écrits de *Thomas Lovejoy*, un biologiste Américain, en 1980. Le terme *biodiversité* (biodiversity) lui-même a été inventé en 1985 par *Walter G. Rosen*, lors de la préparation du *Forum Américain sur la diversité biologique* organisé, et a été utilisé dans le titre du compte rendu de ce forum, en 1988 (Gaston & Spicer, 1998).

Le mot « biodiversité » apparaît pour la première fois en 1988 dans une publication de l'entomologiste américain *Edward O. Wilson* à l'occasion du *Forum national Américain sur la diversité biologique*. Le mot *biodiversité* avait été jugé plus efficace en termes de communication que *diversité biologique* (Chevassus-au-Louis, 2007).

Depuis 1986, le terme et le concept sont très utilisés parmi *les biologistes, les écologues, les écologistes, les dirigeants et les citoyens*. L'utilisation du terme coïncide avec la prise de conscience de l'extinction d'espèces au cours des dernières décennies du XX^e siècle.

En juin 1992, dans le sommet planétaire de Rio de Janeiro organisé par les Nations Unies, le mot biodiversité a marqué son entrée en force sur la scène internationale. Un sommet dans lequel tous les pays ont décidé au travers d'une convention mondiale sur la biodiversité de faire une priorité de la protection et la restauration de la diversité du vivant, considérée comme une des principales ressources vitales de la planète.

La diversité biologique a été définie comme : « La variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes. » — Article.2 de la Convention sur la diversité biologique, 1992

Selon Lévêque (1997), Parizeau (1997) et Lévêque & Mounolou (2001), le terme « biodiversité », contraction de diversité biologique, a été introduit au milieu des années 1980 par des naturalistes qui s'inquiétaient de la destruction rapide des milieux naturels et de leurs espèces, réclamant que la société prenne des mesures pour protéger ce patrimoine. Le terme a ensuite été popularisé lors des discussions qui ont eu lieu autour de la signature de la convention sur la diversité biologique lors de la conférence de Rio de Janeiro en 1992 (Marty et al., 2005).

Cette convention, en date du 5 juin 1992, est la première manifestation en droit international de la volonté des états d'envisager l'environnement dans son ensemble en se fondant sur le concept de diversité biologique. Elle a été signée lors du sommet par 153 états, dont l'Algérie et elle est entrée en vigueur le 29 décembre 1993.

Dans sa forme la plus simple la biodiversité représente la vie sur terre. Alors que, Ramade (1993) définit la biodiversité comme la variété des espèces vivantes qui peuplent la biosphère. Pris au sens le plus simple, la biodiversité se mesure par le nombre total d'espèces vivantes que renferme l'ensemble des écosystèmes terrestres et aquatiques, se rencontrant actuellement sur la planète. Selon Fontaubert et al. (1996), le terme biodiversité est défini par la variabilité des organismes vivants de toutes origines y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie. Alors que Lévêque et Mounolou (2001) définissent la biodiversité comme la nature utile, c'est-à-dire l'ensemble des espèces ou des gènes que l'homme utilise à son profit, qu'ils proviennent du milieu naturel ou de la domestication. Plus précisément, la biodiversité est la dynamique des interactions dans des milieux en changement. Ce concept désigne la variété des formes de vie comprenant les plantes, les animaux et les micro-organismes, les gènes qu'ils contiennent et les écosystèmes qu'ils forment. En agriculture, la biodiversité a été très largement enrichie par l'homme à partir d'espèces sauvages qu'il a domestiquées depuis la préhistoire.

L'homme a ainsi créé des variétés pour les plantes, il a largement recomposé le paysage. Il a sans cesse amélioré l'expression du patrimoine génétique des plantes cultivées pour leurs différents usages. Le patrimoine génétique des plantes est contenu dans les semences ou graines qui les transmettent (GNIS, 2006).

- Les niveaux de biodiversité :

De façon spécifique, le terme « biodiversité » signifie la variété à trois niveaux :

- **La diversité génétique (des gènes = intra-spécifique):** elle se définit par la variabilité des gènes au sein d'une même espèce ou d'une population. Elle est donc caractérisée par la différence de deux individus d'une même espèce ou sous-espèce. Elle peut être apparente ou non. Elle se rapporte à la variété des gènes ou de la structure chromosomique à l'intérieur des espèces et se rencontre aussi bien chez une espèce qu'entre les espèces (Brahic & Terreaux, 2009).

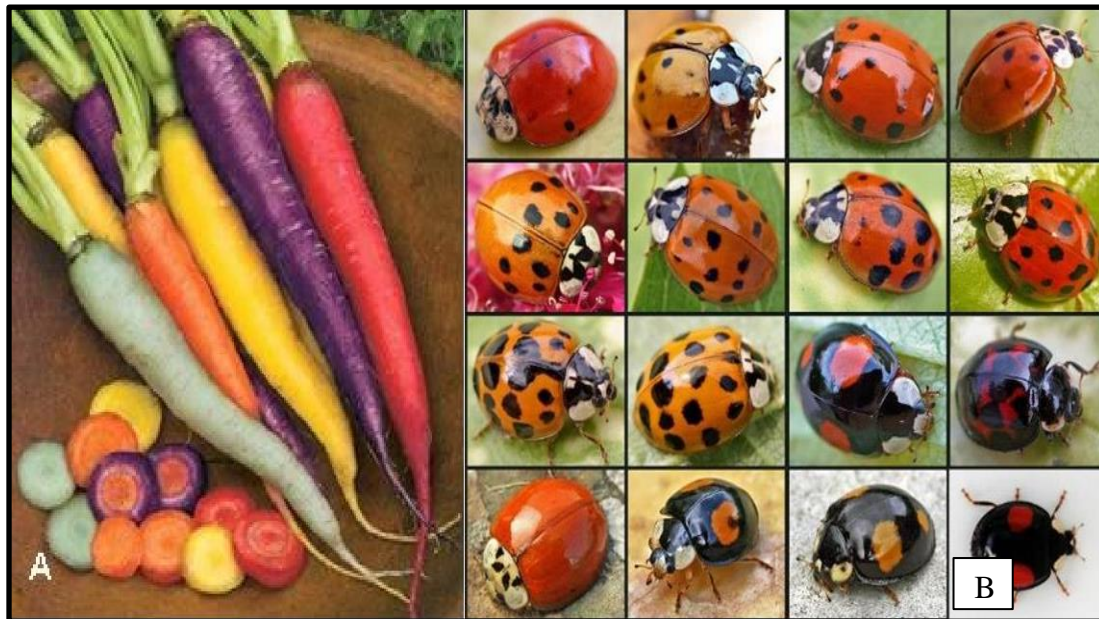


Figure 1. Exemples de diversité génétique.

A : Diversité génétique des carottes (couleur des racines conditionnées par la présence des pigments (caroténoïdes et anthocyanes))

B : Diversité génétique des coccinelles

- **La diversité spécifique (des espèces = interspécifique)** : correspond à la diversité des espèces (diversité interspécifique). Elle comprend toutes les espèces sur la terre, (plantes, animaux, champignons, algues et micro-organismes) tels les palmiers, les éléphants ou les bactéries.

La diversité spécifique correspond à la diversité des espèces dans une région, s'exprimant par le nombre d'espèces rencontrées, mais aussi par leur appartenance à des genres, familles ou classes différentes. La diversité spécifique est la mesure de la diversité biologique au sein d'un habitat ou d'une zone géographique, et donc de la diversité de la faune et de la flore (Brahic & Terreaux, 2009).



Figure 2. Exemples de diversité spécifique au sein d'un écosystème montagnard.

A : l'Asphodèle (*Asphodelus microcarpus* Sal & Viv.),

B : le Ciste épineux (*Calycotome spinosa* Link.)

- **La diversité écosystémique** : La diversité écosystémique correspond à la diversité des écosystèmes présents sur la planète, des interactions des populations naturelles et leurs environnements physiques. Elle prend compte à la fois des composantes biotiques (espèces animales et végétales) et abiotiques (types de sol, topographie, ...etc.) (Brahic & Terreaux, 2009).

Chaque écosystème correspond à une série de relations complexes entre les éléments biotiques (vivants) tels que les animaux, les végétaux et les microorganismes, et les éléments abiotiques (non vivants) tels que la lumière du soleil, l'air, l'eau et les éléments nutritifs.

La diversité des écosystèmes est le résultat des interactions que les espèces qu'ils abritent ont développées entre elles et avec leur milieu. Relations qui assurent à chaque espèce les conditions et les ressources nécessaires à sa survie (Lévêque, 2008).



Figure 3. Exemples de diversité écosystémique en Algérie.

A : écosystème steppique, B : écosystème forestier, C : écosystème saharien,

***Complément de connaissances**

Aperçu sur la Biodiversité aquatique

1- L'écosystème aquatique

Un écosystème aquatique, est un système d'interactions entre espèces, mais également entre celles-ci et le milieu. Ce système est caractérisé par une composante vivante (les espèces présentes dans le milieu), une composante abiotique (les paramètres environnementaux), et par les interactions de ces deux composantes entre elles et également avec le milieu.

L'écosystème aquatique est le résultat d'un équilibre entre un milieu naturel et les espèces animales et végétales qui y vivent.

- Les écosystèmes aquatiques sont complexes et leur spécificité est importante pour la biodiversité.
- Un écosystème est défini comme un système biologique formé par deux éléments en interaction l'un avec l'autre : la biocénose et le biotope.

2-L'importance des caractéristiques du milieu pour les espèces

Les espèces faunistiques et floristiques vivent en interdépendance entre elles et dépendent des caractéristiques physiques du milieu (Température, débit, pente, nature du sol, occupation de l'espace). Cas des espèces animales nécessitant une variation de leur habitat selon la période de leur cycle de vie.

Un écosystème aquatique est un ensemble d'organismes qui agissent réciproquement. Ils dépendent les uns des autres et de leur milieu.

Les êtres vivants se répartissent ainsi différemment selon les caractéristiques de la ressource (température, luminosité, débit, pente, nature du sol...).

La végétation des milieux aquatiques est très diversifiée et riche. Elle est composée de :

- phytoplancton,
- d'algues,

- D'hydrophytes (la totalité de leur appareil végétatif est sous l'eau ou en surface) : citons par exemple le nénuphar (*Nymphaea.sp*),
- d'hélophytes (leur système racinaire est dans l'eau mais leur appareil végétatif est et reproducteur sont aériens) : citons par exemple l'Iris jaune (*Iris pseudoacorus*),
- de plantes amphibies (elles peuvent se développer dans l'eau et hors de l'eau) : citons par exemple le trèfle d'eau (*Menyanthes trifoliata*) et les roseaux. Les végétaux, producteurs primaires, sont à la base de la chaîne alimentaire.

3- Le rôle des végétaux dans les milieux aquatiques

De plus les plantes jouent différents rôles sur les milieux aquatiques :

- épuration des eaux (Elles captent les nitrates et les phosphates pour leur croissance).
- oxygénation par la photosynthèse
- Support de pontes et d'abris (poissons, amphibiens, insectes...). La végétation forme donc une multitude de microhabitats.
- La profondeur de l'eau, la température, la vitesse du courant, la nature du substrat, pH.... sont donc des caractéristiques importantes déterminant l'installation des différents types de plantes.
- Un réseau de relations complexes entre les facteurs biologiques et physiques instaure un équilibre dynamique fragile et détermine l'espace de vie des espèces.
- La vitalité de la zone aquatique dépend de la complexité de ce réseau où chaque être vivant trouve sa place et où chacun a besoin d'autrui pour se nourrir, respirer, s'abriter et se reproduire.

Remarque :

- Le milieu aquatique est caractérisé par :

- un habitat
- des populations végétales,
- des populations animales,
- la qualité physico-chimique de l'eau (température, nutriments, ...).

- Le milieu aquatique est influencé par :

- le climat,
- la géologie,
- l'ensoleillement,
- les activités humaines.

4- La faune et la flore aquatiques

- La faune et la flore d'un même écosystème entretiennent des relations qui permettent le développement et le maintien de la vie.
- L'ensemble des animaux aquatiques composent la **faune aquatique**.
- **La faune aquatique se compose de deux grands groupes** : Les invertébrés et les vertébrés.

4-1-La flore aquatique

- La flore aquatique, composée de l'ensemble de la végétation aquatique.
- La flore aquatique est composée d'algues et de plantes, en eau douce comme en eau de mer. Contrairement aux plantes, les algues ne produisent pas de fleurs.
- La flore aquatique joue un rôle essentiel dans la vie des poissons et dans l'équilibre général du milieu aquatique.

5- Le fonctionnement d'un écosystème aquatique

- Un écosystème aquatique produit constamment de la matière vivante. Celle-ci est progressivement transformée en matière organique morte, qui est elle-même ensuite lentement minéralisée, en partie ou en totalité.
- D'une manière schématique, un écosystème aquatique peut être divisé en trois compartiments biologiques.
- On distingue quatre grands groupes d'acteurs dans ces écosystèmes :
- ❖ Les plantes aquatiques et les algues (= **la matière première**) : à partir de l'énergie du soleil et des sels minéraux, elles produisent leur « corps » (feuilles, tiges, fleurs...).

Appelés **Les producteurs** : ce sont essentiellement tous les végétaux qui utilisent toute la lumière solaire comme source d'énergie pour fabriquer, par photosynthèse, les matières organiques dont ils ont besoin pour croître ; ce faisant, les plantes aquatiques consomment le gaz carbonique dissous dans l'eau, les nutriments dissous que sont surtout l'azote, le phosphore et la silice, ainsi que divers autres constituants minéraux, et elles rejettent de l'oxygène ; les principaux producteurs sont les algues microscopiques du phytoplancton ;

❖ **Les consommateurs**, qui se nourrissent de ces matières végétales, sont des animaux aquatiques, très variés (crustacés, poissons...).

Ce sont soit des herbivores stricts, comme certaines espèces du zooplancton qui se nourrissent de phytoplancton ou certaines espèces d'invertébrés et de poissons qui se nourrissent d'algues et d'autres végétaux fixés sur le fond, soit des espèces plus omnivores consommatrices de végétaux, de zooplancton et autres invertébrés, soit enfin des espèces strictement carnivores, comme certains gros poissons qui se nourrissent des plus petits, ou encore certains oiseaux et petits mammifères ; ces animaux respirent en consommant l'oxygène produit par les plantes et en rejetant du gaz carbonique ;

❖ **Les prédateurs**, qui mangent les animaux consommateurs (c'est à dire les poissons ou crustacés qui se sont nourris de végétation).

❖ **Les décomposeurs**, comme les bactéries ou les champignons, qui se nourrissent des matières organiques (les animaux ou végétaux morts), et ainsi produisent des sels minéraux servant à nouveau aux végétaux.

Les décomposeurs : ce sont les micro-organismes, comme les bactéries aérobies ou les champignons, qui se repaissent de toute la matière organique morte et biodégradable présente dans le milieu aquatique, qu'elle soit produite par les autres organismes (telles les sécrétions animales) ou issue de leur décomposition, ou encore qu'elle provienne d'eaux de ruissellement, d'eaux infiltrées dans les sols ou d'eaux usées rejetées par les hommes ; pour dégrader ces matières organiques, les décomposeurs utilisent l'oxygène produit par les plantes.

Le rôle des décomposeurs, bactéries et champignons, est prépondérant car en décomposant les matières organiques, ils participent à l'épuration des écosystèmes aquatiques.

En outre, en transformant les matières organiques complexes en substances minérales simples dont les producteurs, les végétaux, ont besoin, c'est-à-dire en recyclant les matières organiques, les décomposeurs referment en quelque sorte la boucle qui, des producteurs, mène aux consommateurs puis aux décomposeurs, une boucle que l'on a coutume d'appeler la chaîne alimentaire, ou chaîne trophique.

En réalité, les échanges au sein de la biocénose d'un écosystème aquatique, que ce soit des échanges d'énergie ou de matière, sont loin d'être aussi linéaires : car en fait il n'y a pas une, mais de multiples chaînes alimentaires, toutes construites sur le même modèle, qui se croisent et s'entremêlent au sein de réseaux trophiques dans lesquels chaque organisme interagit avec plusieurs autres et à chaque fois de manière spécifique.

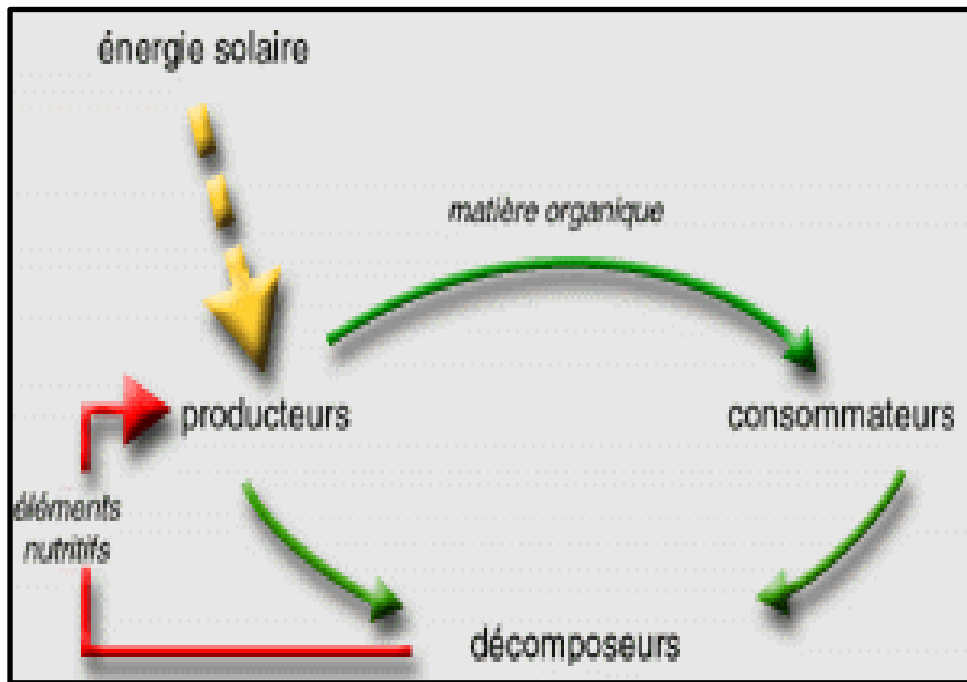


Figure 4. Le cycle de la matière Organique.

***La chaîne alimentaire :**

Une chaîne alimentaire correspond à une suite d'êtres vivants qui se mangent les uns les autres.

La flore aquatique est donc une source essentielle de nutriments pour la faune. C'est également une source importante d'oxygène.

En fait, si nous reprenons tout depuis le début, nous pouvons dire que l'énergie issue du soleil circule à travers le réseau alimentaire. Une pyramide écologique d'un milieu aquatique montre bien le fonctionnement du réseau alimentaire et la circulation de l'énergie.

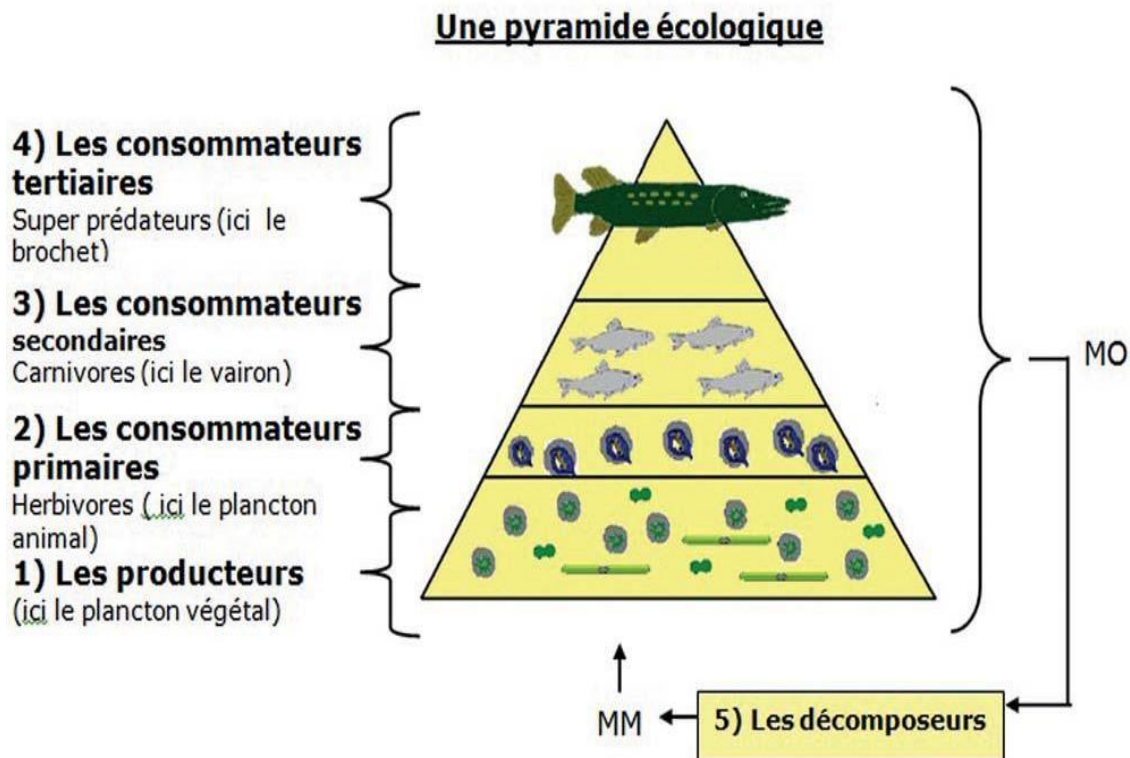


Figure 5. Exemple d'une pyramide écologique.

***Les échanges gazeux :**

La flore aquatique est une source importante d'oxygène pour la faune. En effet, la faune aspire de l'oxygène (O_2) et rejette du gaz carbonique (CO_2) lors de la respiration.

La flore au contraire absorbe le gaz carbonique (CO_2) qui l'entoure, pendant la journée. Elle rejette en retour de l'oxygène (O_2).

La flore produit plus d'oxygène (O_2) qu'elle n'en absorbe. C'est pourquoi on dit que l'océan constitue, avec la forêt amazonienne, le poumon de la Terre.

***Le gaz carbonique (CO_2) est produit en grande partie par les poissons qui respirent l'oxygène (O_2) libéré par la faune aquatique.**

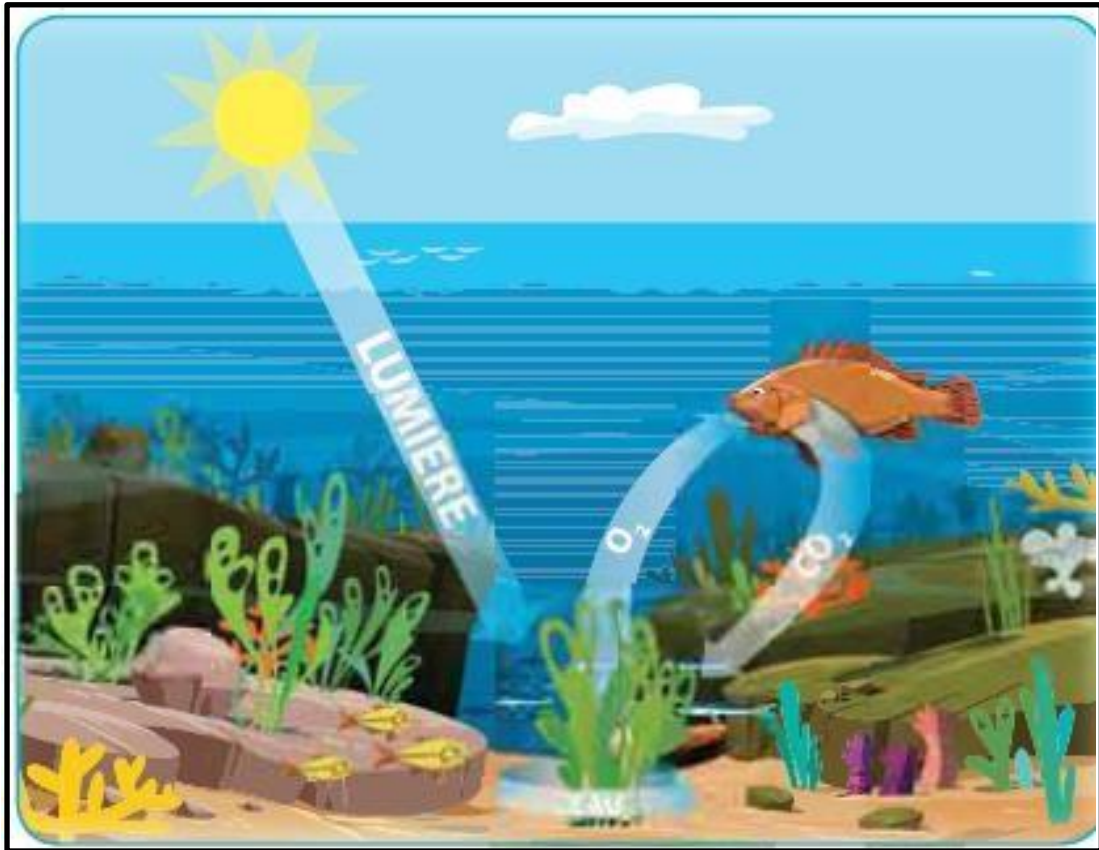


Figure 6. Les échanges gazeux dans un milieu marin.

Les besoins de la faune et de la flore aquatiques sont donc complémentaires et s'équilibrent pendant la journée.

La chaîne alimentaire et les échanges gazeux sont les deux principales relations qui structurent un écosystème. Il existe dans le monde plusieurs écosystèmes aux climats différents qui abritent chacun une faune et une flore spécifiques.

Chapitre I :

Diversité structurale et fonctionnelle

des

Thallophytes

***Complément de connaissances**

La classification des végétaux s'appuie sur plusieurs critères cytologiques, anatomiques et morphologiques, ainsi, le règne végétal est traditionnellement subdivisé en deux grands groupes en fonction de l'organisation structurale du végétal : présence d'un Thalle ou d'un cormus, et donc, on distingue les Thallophytes et les Cormophytes.

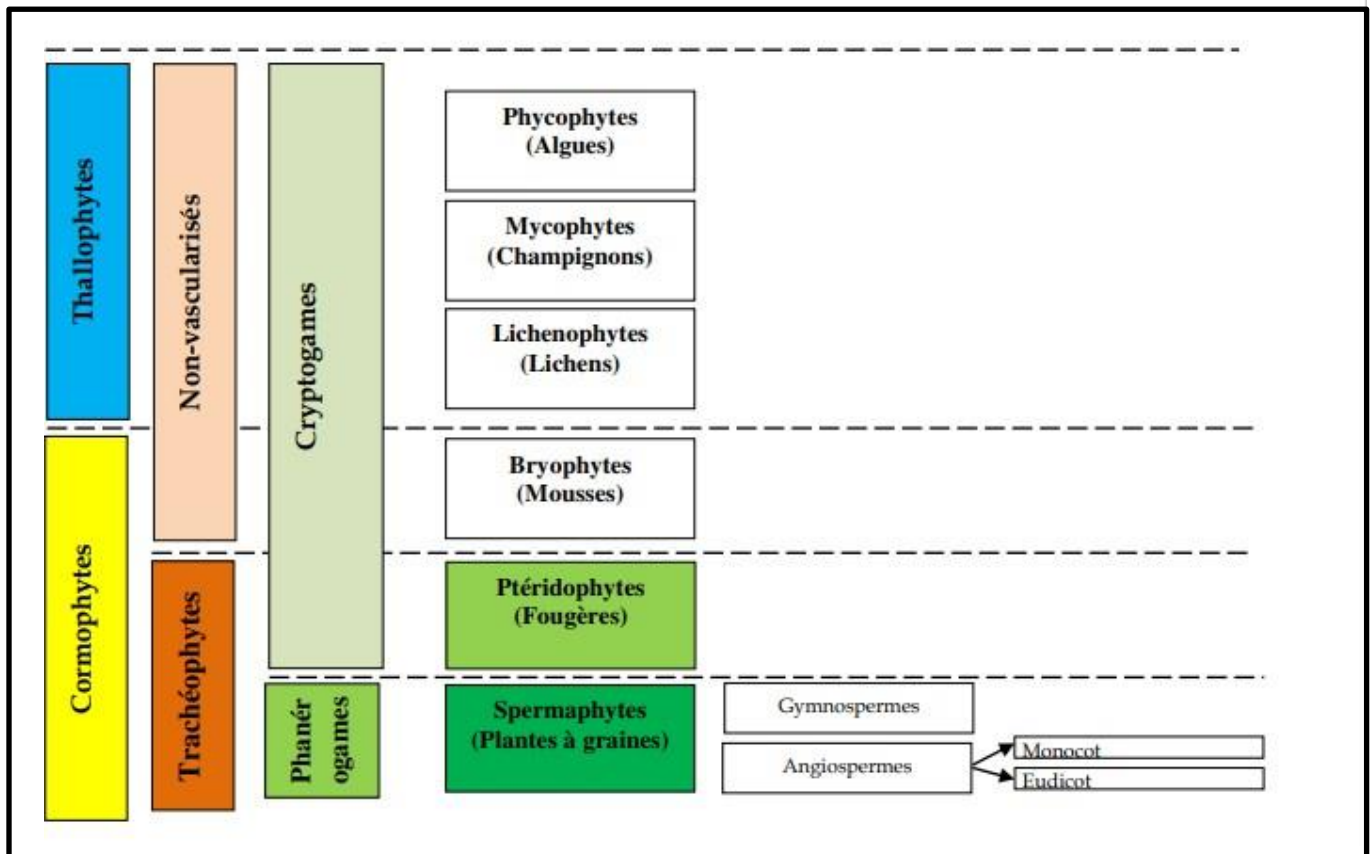


Figure 7. Classification du monde végétal.

***Les Thallophytes**

Les thallophytes correspondent à des végétaux dits inférieurs (plantes primitives constituées d'un corps unique appelé thalle de structure très simple) exemples : algues, champignons, lichens et mousses. Le thalle est composé par des cellules qui se ressemblent sans différenciations physiologiques, et où on ne peut distinguer ni racine, ni tige, ni feuilles, ni vaisseaux conducteurs.

En fonction des espèces, certaines thallophytes sont soit unicellulaires comme les cyanobactéries (algues bleues), ou pluricellulaires de structures complexes, comme les champignons et les levures.

* Place des thallophytes dans le monde vivant

Trois types de caractères interviennent au même niveau de la classification des thallophytes :

- 1- la structure cellulaire permet de séparer entre les eucaryotes et les procaryotes.
 - 2- la chlorophylle permet de distinguer entre les champignons et les algues.
 - 3- l'organisation de l'appareil végétatif permet de distinguer les thallophytes des cormophytes.
- Les thallophytes sont des végétaux dont l'appareil végétatif n'est pas différencié en tissus et en organes (absence de tiges, de feuilles et de racines) mais est représenté par un thalle.
 - Ils sont constitués de 3 sous-embranchements : les phycophytes (algues), les mycophytes (champignons) et les lichenophytes (lichens).
 - Les thallophytes sont des plantes sans vaisseaux conducteurs. Ce sont également des cryptogames à cause de leur appareil reproducteur qui est invisible (caché).

1. les macroalgues (=les phycophytes)

Le milieu marin est un écosystème très diversifié, riche en biodiversité. Il abrite une grande variété d'organismes, notamment des animaux, des plantes, des algues, des coraux, des bactéries et des champignons qui se sont adaptés aux conditions uniques de l'environnement marin. La biodiversité des algues est exceptionnelle. Il existe plus de 127 000 espèces, dont la plupart sont des micro algues. Il existe environ 9 000 espèces macro algues, dont 1 500 vivent dans les eaux européennes. Le nombre total d'algues varie d'environ 30 000 à plusieurs millions (Mathieu, 2011).

Les algues unicellulaires telles que les diatomées et les cyanobactéries sont des eucaryotes unicellulaires, tandis que d'autres algues telles que les algues brunes, rouges et vertes sont des organismes multicellulaires (Qin, 2018).

Les algues multicellulaires peuvent former des colonies simples ou des structures multicellulaires plus complexes telles que le thalle. Les algues peuvent être à la fois des organismes unicellulaires et multicellulaires, selon les espèces considérées (Pereira et Neto ,2015).

Les Algues, ou Phycophytes (du grec ; phukos = algue ; phuton = plantes), sont des Thallophytes chlorophylliens, c'est à-dire des organismes capables de photosynthèse.

Les premières algues unicellulaires sont probablement apparues dès la fin du précambrien, c'est à dire, il y a 1,5 à 1 milliard d'années. Elles se sont ensuite différenciées pour donner plus de 25 000 espèces algales pluricellulaires.

1. 1. Définition des algues

Les Phycophytes sont des Cryptogames, thallophytes, photosynthétique, leurs habitats sont variés, mais leur cycle de reproduction nécessite absolument de l'eau. Leur morphologie est très diversifiée. Ils sont, typiquement, des organismes aquatiques, se développant dans l'eau ou dans des milieux très humides. Bien que surtout abondantes dans les eaux des mers, des lacs, des mares, des eaux courantes et des eaux thermales, on en trouvé également sur les rochers humides et sur la terre. Elles sont plus rares en milieu aérien.

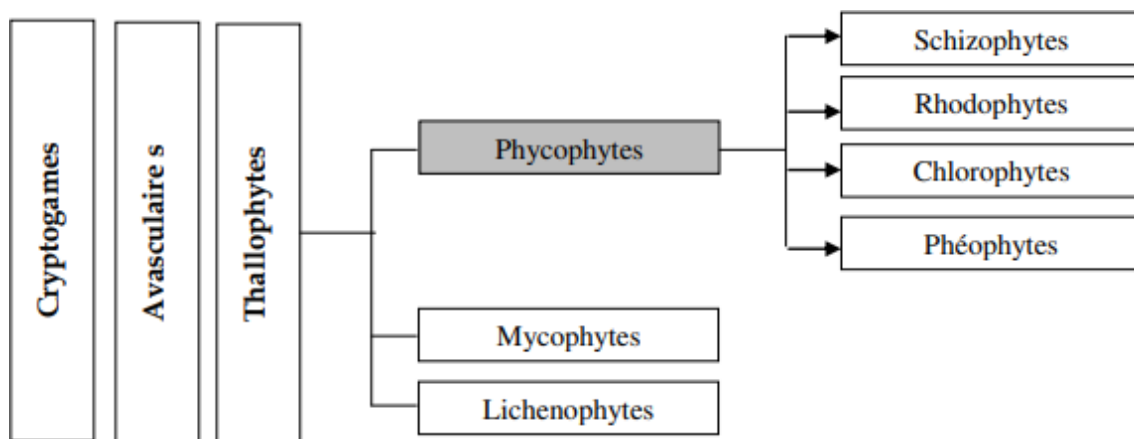


Figure 8. Position systématique des Phycophytes.

Les algues sont des organismes photosynthétiques qui habitent les milieux aquatiques, les zones humides et de nombreux environnements terrestres. Ils n'ont ni tiges, ni racines, ni feuilles, ni fleurs, et leurs organes végétatifs relativement simples sont appelés "thalles" (Guillaume. 2010). Ils peuvent être libres ou attachés à des supports, et leur taille peut varier de moins d'un micron (ex. Prochlorococcus (0,5 µm) à plusieurs dizaines de mètres (ex. Macrocystis (60 m) (Leclerc.2010).

Les algues de grande taille, pluricellulaires, prennent des formes diverses selon les espèces : filament, lame, lanière... Certaines ont une architecture plus complexe avec des parties distinctes mais on n’observe pas de tissus nettement individualisés comme chez les plantes à fleurs terrestres.

Chez les macro-algues, l’ensemble des tissus appelé thalle est composé de 3 parties :

- un système de fixation sous forme de disque ou de **crampon**,
- un pédoncule plus ou moins long appelé **stipe**,
- une **lame** ou **fronde** plus ou moins découpée formant des filaments, lanières...

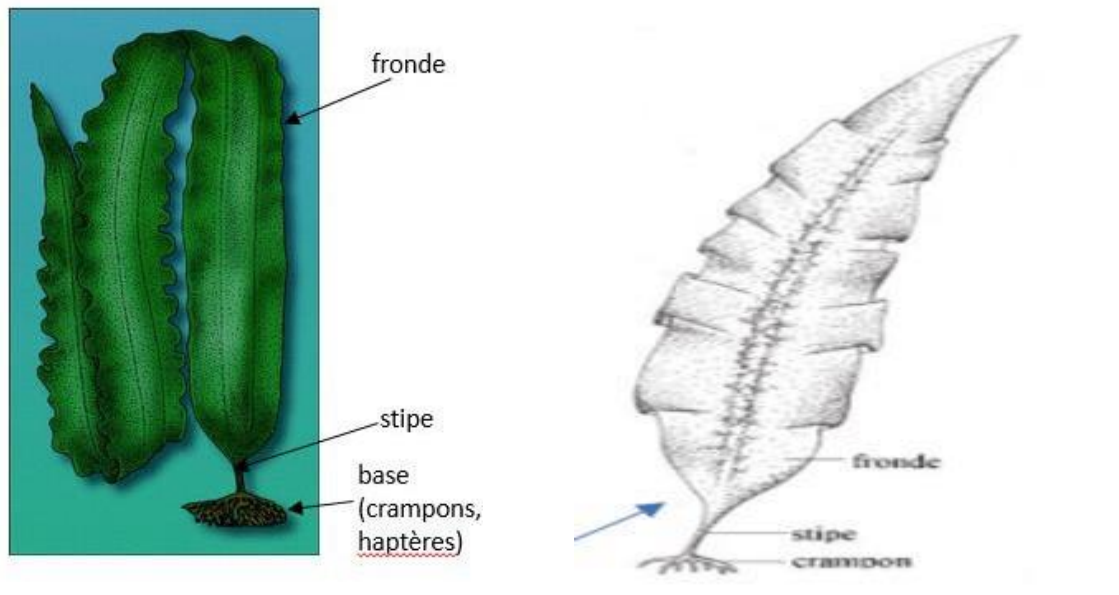


Figure 9. Représentation d’une macroalgue (*Laminaria saccharina*)

*Leur appareil végétatif est appelé thalle (toutes les cellules se ressemblent sans différenciation physiologique c’est-à-dire que toutes les fonctions sont réparties dans toutes les cellules).

*L’absorption de l’eau et des sels minéraux se fait au niveau de la surface de la paroi de toutes les cellules.

*Le thalle présente, en fonction des espèces, des formes très variables allant de l’état unicellulaire jusqu’à des structures complexes (pluricellulaires).

1. 1. 1. Organisation de l'appareil végétatif des algues

L'appareil végétatif des Algues est organisé sous forme de Thalles dont il existe plusieurs types :

a- **Thalle unicellulaire** : la cellule peut être flagellée dans ce cas le thalle est mobile (monadoïde), tels que Chlamydomonas et Euglena ; comme elle peut être non flagellée, donc le thalle est immobile (coccoïde), tels que Chlorella et les Diatomés.



Figure 10. Thalle unicellulaire de : Chlamydomonas, Euglena, Chlorella, et Diatomés

b- **Thalle pluricellulaire** : plus répandu, on en distingue les types morphologies suivants :

1- **Thalle en colonie** : groupe de cellules souvent unies entre elles par une gelée. Le nombre de cellules peut être réduit à quelques unités (ex: Pandorina), ou élevé (ex: Volvox).

2- **Thalle filamenteux** : filaments simples avec un seul fil de cellules (ex :Spirogyra)

3- **Thalle foliacé** : il dérive du thalle filamenteux par juxtaposition de cellules pour former une lame repliée sur elle-même ; le thalle est ainsi formé de deux couches de cellules pressées les unes contre les autres (ex : Ulva).



Figure 11. Thalle pluricellulaire : en colonie, filamenteux et foliacé.

4- **Thalle tubulaire** : les cellules se sont associées pour former une structure en tube creux avec une seule couche de cellules (ex: Enteromorpha)

5- **Thalle cladomien ou Cladothalle**: plus complexe. Le cladome est une organisation structurale comprenant un axe dressé à croissance indéfinie et des ramifications latérales « pleuridies » à croissance définie. Selon le nombre d'axes, le cladome peut être uniaxial (monoaxial) ou pliaxial (multiaxial).

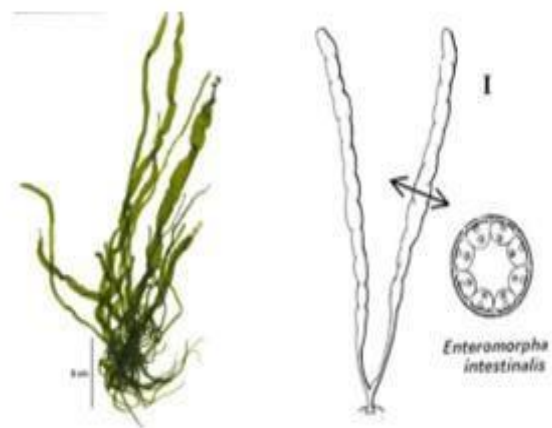
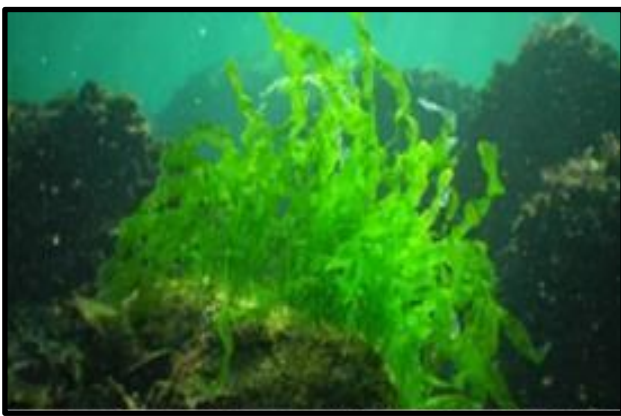


Figure 12. Thalle pluricellulaire : tubulaire.

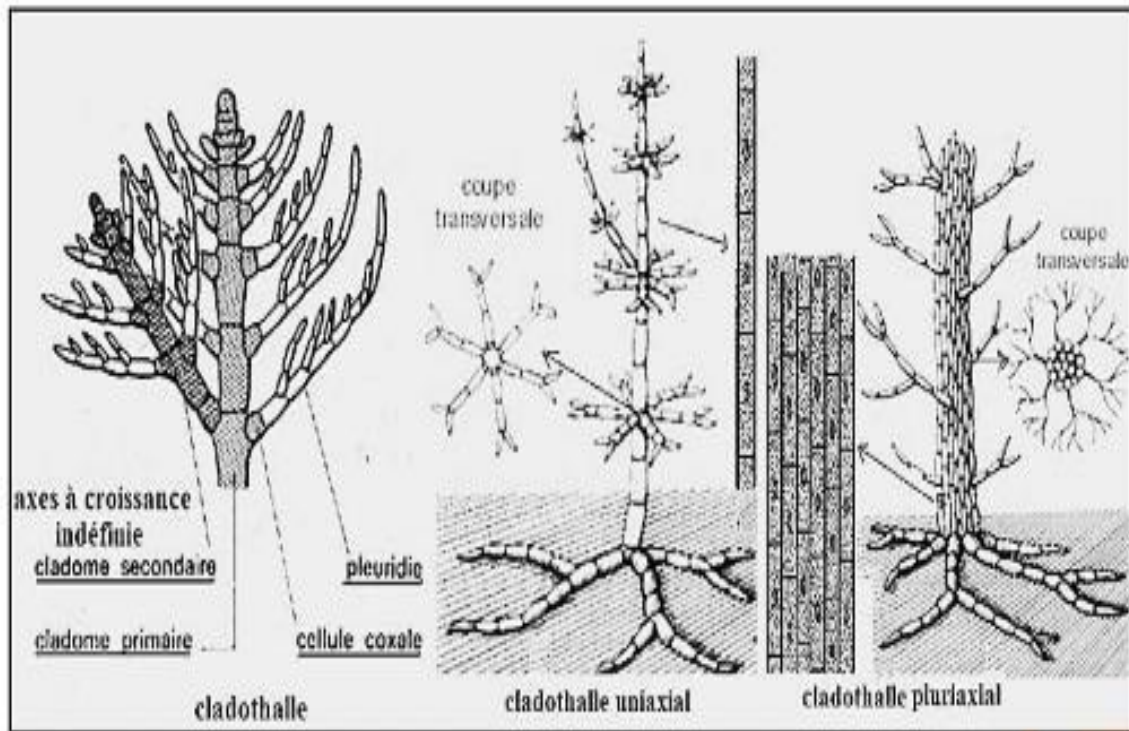


Figure 13. Thalle pluricellulaire cladomien : cladothalle uniaxial et cladothalle pluriaxial.

***Complément de connaissances**

1. Classification des algues

Les phycophytes (algues) sont des organismes autotrophes donc capables d'assurer la photosynthèse. Ils peuvent avoir un mode de vie pélagique c'est à dire mobile dans leur milieu ou fixé. Les algues ont colonisé aussi bien les eaux douces que les eaux marines. Ce sont des cryptogames (étymologie : plante à appareil reproducteur caché) et des thallophytes (étymologie : plante à ramification : pas d'organes, photosynthétiques, leurs habitats sont variés mais leur cycle de reproduction nécessite absolument de l'eau. Leur morphologie est très diversifiée et elles peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires.

- La plupart des algues se développent en milieu aquatique d'eau douce, saline ou saumâtre, mais certaines sont terrestres et sont capables de se développer à même le sol ou sur le tronc des arbres.
- On différencie les microalgues : phytoplancton et les macroalgues : flore benthique.
- Certaines algues se développent sur des rochers humides, sur le tronc des arbres (Pleurococcus, Chlorophyte), ou sur un sol mouillé (Nostoc, Cyanobactérie).

Les algues sont classées en fonction de caractéristiques spécifiques, telles que la composition des parois cellulaires, les pigments présents, le cycle de vie et les types de composés utilisés pour le stockage des aliments. La classification des algues est basée sur plusieurs critères, il existe des critères biochimiques Tels que : les propriétés des pigments photosynthétiques, propriétés des polysaccharides. Autre critères cytologiques tels que la structure nucléaire, le mode de reproduction et la complexité structurelle et la structure des flagelles (Sylvaine, R *et al.*, 2014).

1. 1. 2. La croissance des algues (modes de croissance des algues) Leur développement se fait par :

- Voie végétative : fragmentation ou bouturage
- Voie asexuée : par les spores
- Voie sexuée : -Cycle de vie et alternance de générations.
- Forme des gamètes libres ou nageuses.

- Croissance des thalles pluricellulaires :

Comme tous les êtres vivants, les Algues se développent progressivement. Il y a augmentation de la quantité de matière vivante. Pour l'évaluer on peut suivre, par exemple l'augmentation : du poids frais, ou du poids sec, ou du poids d'azote protéique.

Plus généralement, on mesure les dimensions du Thalle : longueur et épaisseur.

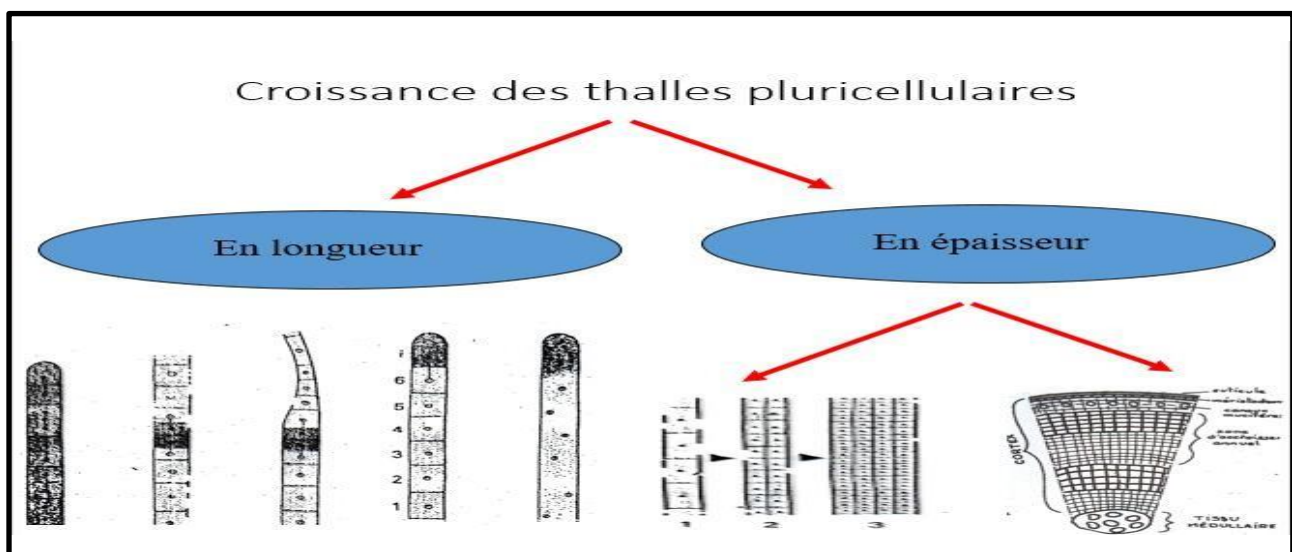


Figure 14. La croissance diffuse chez les Algues.

- Croissance en épaisseur

Elle est assurée par le fonctionnement de l'assise corticale externe appelée méristoderme. Ces cellules sont capables de se diviser parallèlement à la surface, pour produire un « tissu » secondaire formé de files de cellules parallèles (ex. chez *Laminaria hyperborea*)

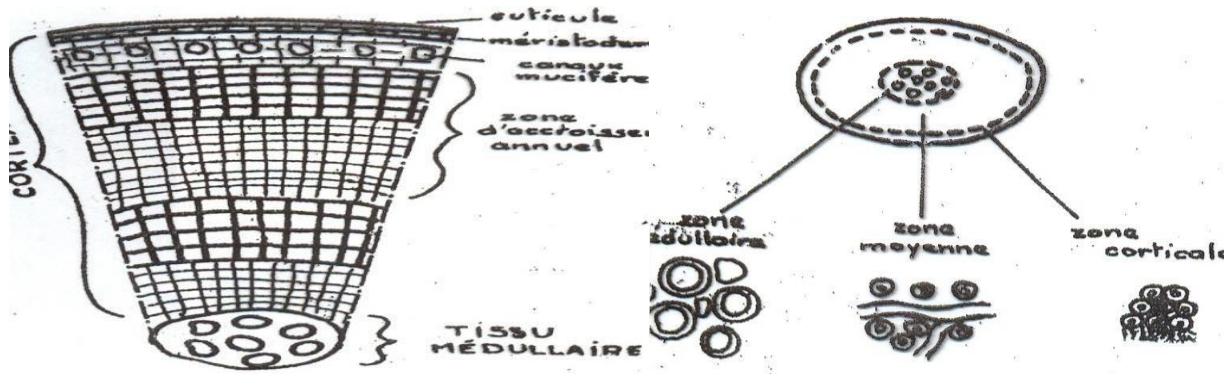


Figure 15. Croissance en épaisseur chez *Laminaria hyperborea*.

-Croissance en longueur

- Croissance apicale :

Cette croissance est réalisée par une cellule apicale et permet la formation de toutes les algues siphonnées. On trouve ce cas chez les Sphacélariales (algues brunes). Si l'on ne trouve qu'une cellule apicale, on aura un cladome uniaxial ; si l'on a plusieurs cellules apicales, le cladome sera multiaxial. La division se fait toujours au niveau de la cellule apicale.

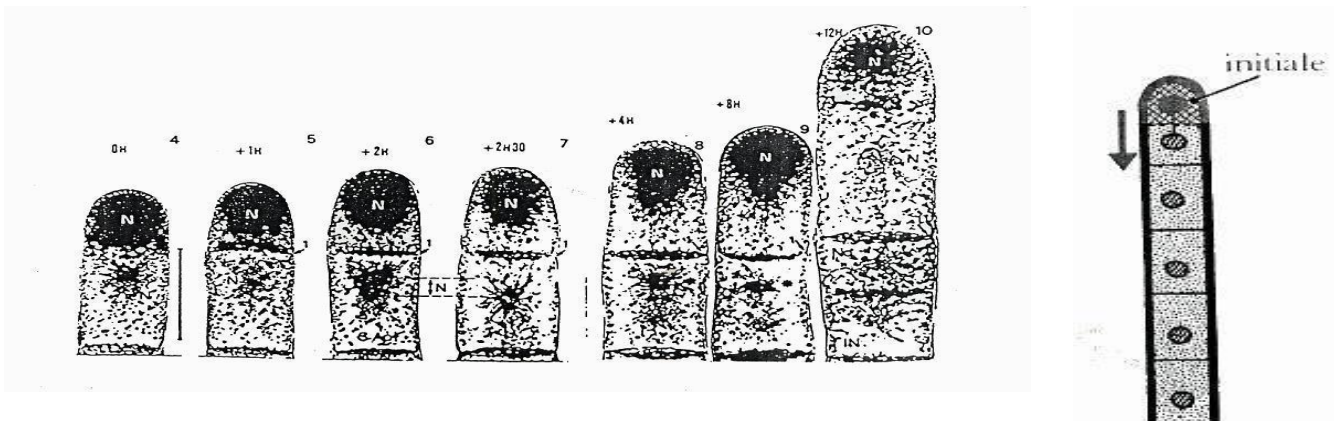


Figure 16. Croissance apicale d'une algue brune (*Sphocelaria*).

Exemple : Sphocelaria

- à $t = 0$, la cellule vient de se diviser,
- entre $t = 0$ et $t = 12h$, la cellule s'allonge 4 fois,
- toutes les 12h, formation d'une cellule supplémentaire : cellule sous apicale,
- la cellule apicale est très structurée et garde cette structuration au cours des divisions.

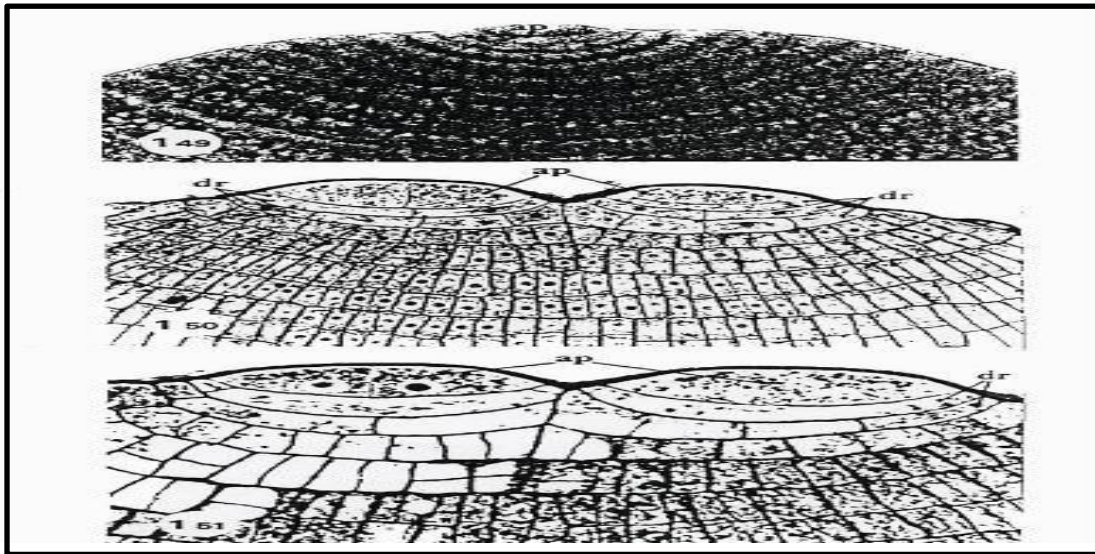


Figure 17. Croissance apicale dichotomique du Fucus.

- **division latérale de la cellule apicale**
 - **formation de 2 axes de même diamètre**
- **Croissance intercalaire** (La croissance localisée (une zone de croissance))

On peut trouver une zone intercalaire qui est contenue dans l'appareil végétatif. La croissance trichothallique se fait par des cellules supérieures plus fines et elle est rencontrée dans plusieurs genres d'algues brunes comme chez Ectocarpus. On peut aussi trouver plusieurs zones de croissance par filament.

- méristème à la frontière stipe-fronde
- dans le cas de *Laminaria*, (nouveau méristème tous les ans)

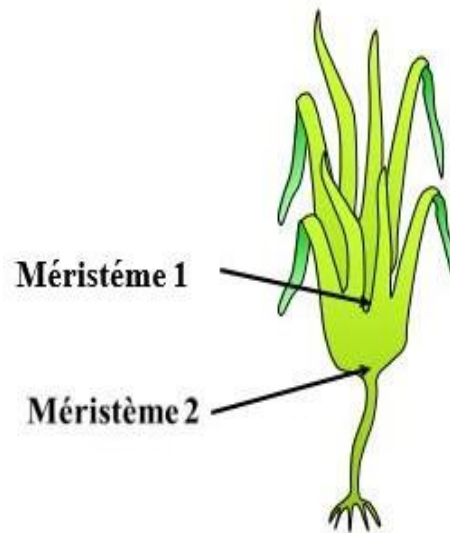


Figure 18. Représentation du méristème de *Laminaria*.

1. 1. 3. Reproduction des algues

Souvent les algues ont des cycles de reproduction sexuée et asexuée alternés.

- Reproduction asexuée :

-**Végétative** : un fragment d'algue permet d'obtenir un nouvel individu,

Où

-**Fragmentation de thalle** :

- Chaque fragment régénère un thalle entier

- **Reproduction asexuée par spores directes** :

- Par sporulation : certaines cellules du thalle se spécialisent en sporocystes afin de former des spores. Celles-ci sont libérées dans le milieu, germent directement ou, lorsque les conditions sont défavorables, génèrent des formes de résistance par enkystement (paroi épaisse et imperméable) appelées akinètes. Ces formes de résistance germent lorsque le milieu redevient favorable.
- donnent individus identiques au parent avec le même nombre de chromosomes.

- Reproduction sexuée :

Le mode le moins fréquent et le plus aléatoire. Un nouvel individu naît de la fusion de deux types de cellules reproductrices (gamètes) distinctes génétiquement, l'une mâle, l'autre femelle. Il y a une Plusieurs modes de fécondation (union de deux gamètes haploïdes générant un zygote diploïde) :

1- Isogamie : fécondation de deux gamètes morphologiquement et physiologiquement identiques.

2- Anisogamie : fécondation de deux gamètes morphologiquement et/ou physiologiquement différents.

3-Oogamie : un gamète petit, mobile, produit en grand nombre, l'autre gros, immobile et chargé en réserve.

4- Cystogamie : Formation d'un pont cytogamique (ou pont de conjugaison) entre deux filaments d'Algues : les gamètes ne sont jamais libérés hors du thalle.

5- Trichogamie : Cette fécondation fait intervenir le « chimiotactisme ». Le gamète femelle reste dans le gamétophyte émet un poil « trichogyne » sur lequel le gamète mâle sans flagelle « spermatie » se colle.

6-Aplanogamie : elle ne fait pas intervenir le chimiotactisme. Le gamète femelle, dans le gamétophyte, est fécondé par la spermatie non flagelle et se dépose au hasard.

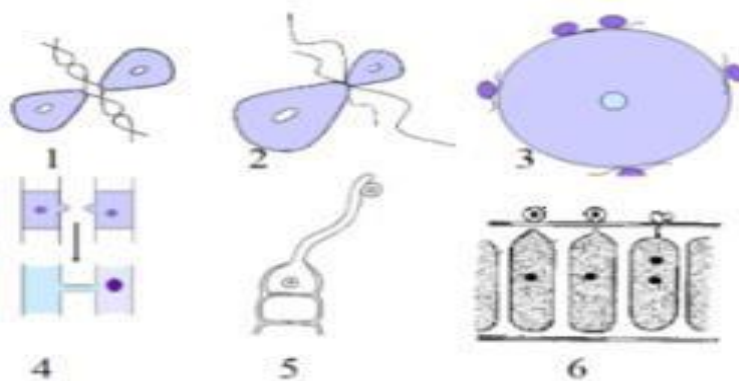


Figure 19. Modes de fécondation.

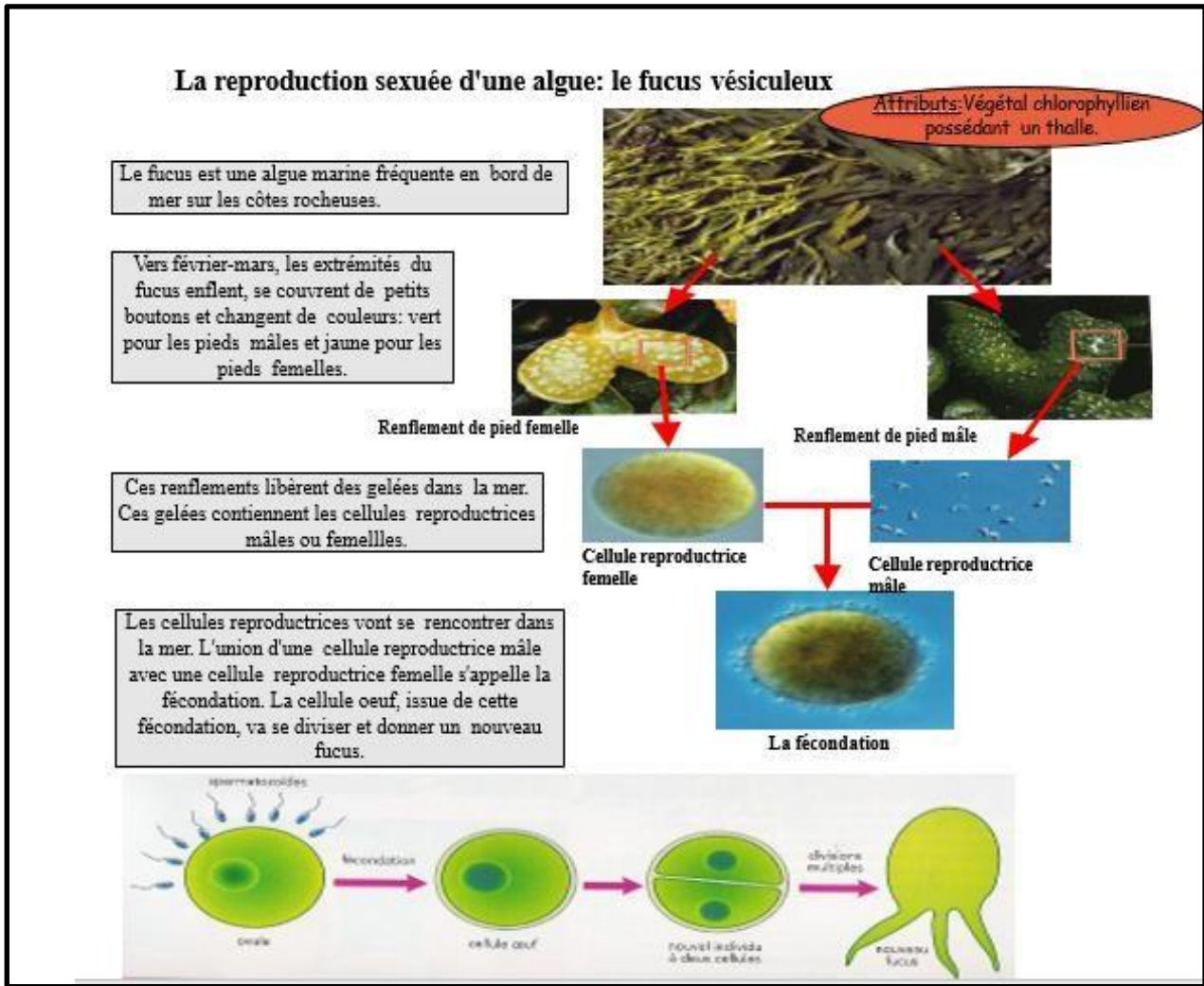


Figure 20. Reproduction sexuée chez le Fucus vésiculeux (Algue brune).

-Le cycle de vie des algues

Le cycle de vie des algues se déroule en général en 2 phases caractérisées chacune par une forme qui lui est propre. Ces 2 formes présentent des différences morphologiques plus ou moins marquées.

La forme sporophyte produit à maturité des spores. Ceux-ci sont libérés dans le milieu et se dispersent. Ils se fixent ensuite au substrat avant de germer pour donner un nouvel organisme. Celui-ci est appelé **gamétophyte** et produit des cellules reproductrices. Les organes mâle et femelle peuvent se trouver sur le même thalle ou sur des individus différents. L'union d'un gamète mâle avec un gamète femelle donne un œuf (zygote). Après germination, cet œuf engendre un nouveau sporophyte.

Ainsi le cycle de vie des algues est caractérisé par l'alternance d'une phase sexuée : **gamétophyte**, et d'une phase **asexuée** : sporophyte. Toutefois selon les espèces d'algues, ce cycle peut présenter de nombreuses variantes. La reproduction asexuée peut également se faire par fragmentation du thalle ou par bourgeonnement : la partie du thalle qui se détache, se fixe et se développe pour donner un nouvel individu.

Exemples de reproduction sexuée :

a- cycle digénétique :

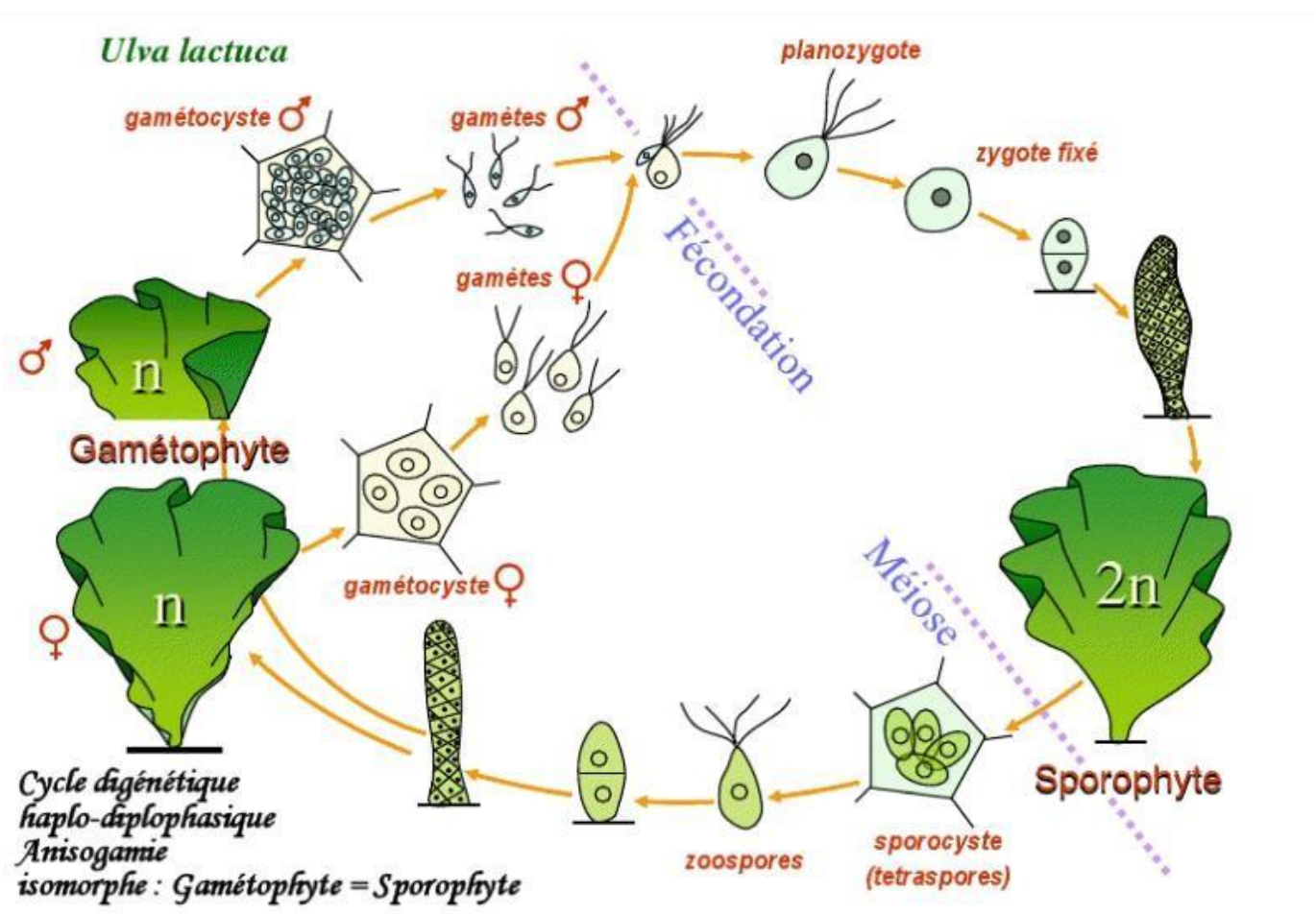


Figure 21. Cycle de vie de l'algue *Ulva lactuca* (Algue verte).

b- cycle trigénétique :

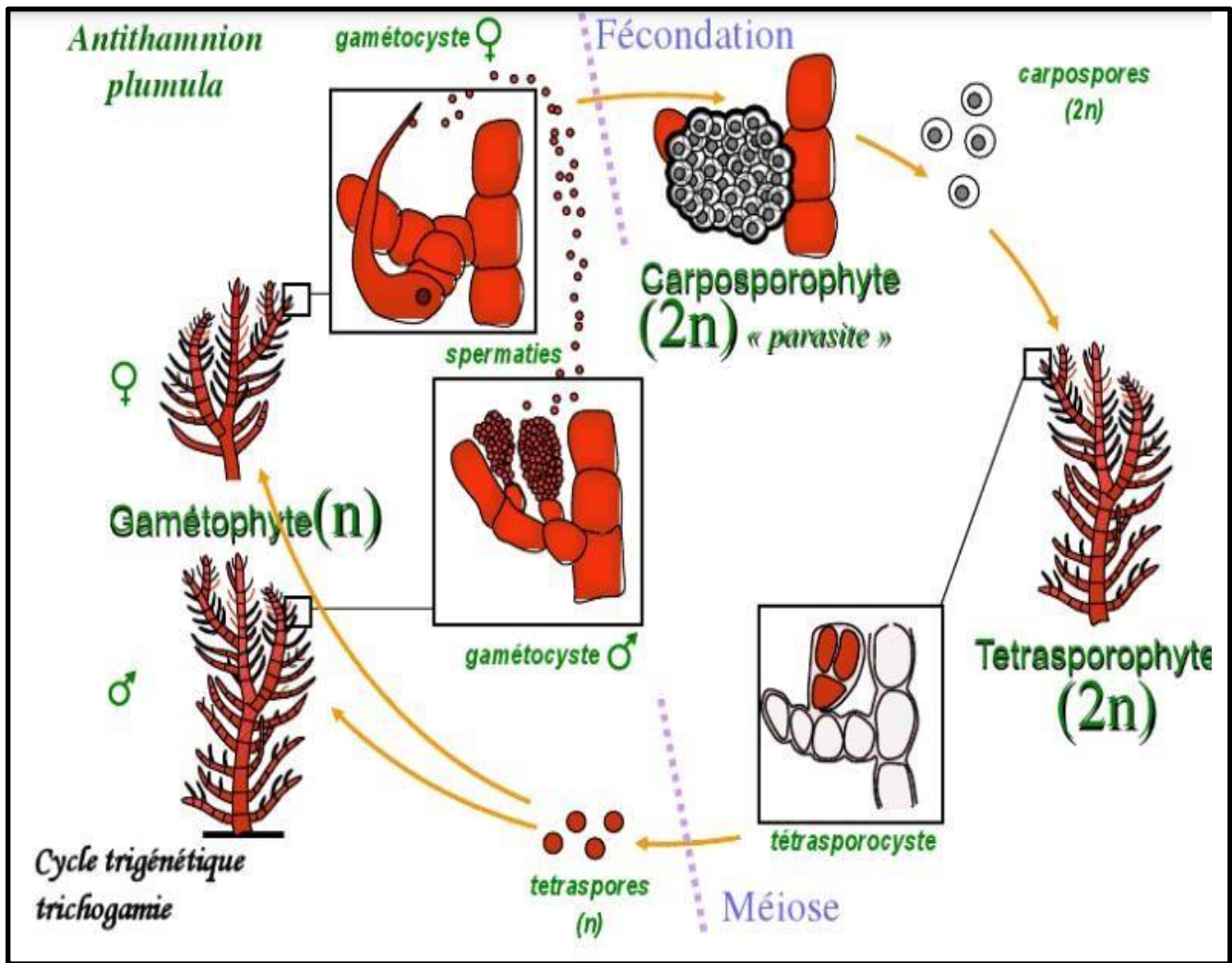


Figure 22. Cycle de vie de l'algue *Antithamnion plumula* (Rhodophycée).

1. 2. Diversité des macroalgues :

Il existe trois groupes principaux :

- 1- **Les Chlorophycophytes** (ce fut les premières plantes terrestres), ce sont les algues vertes,
- 2- **Les Chromophycophytes** (ou phéophycophytes), les algues brunes.
- 3- **Les Rhodophycophytes**, les algues rouges.

Les algues sont des organismes photosynthétiques donc ils contiennent de la chlorophylle qui est à l'origine de la couleur verte et qui est en association avec d'autres pigments qui peuvent la masquer parfois :

-Chez les algues rouges, la chlorophylle est associée à la phycoérythrine qui es responsable de la couleur rouge de ces algues.

-Chez les algues brunes, la chlorophylle est associée à la phycoxanthine qui es responsable de la couleur brune de ces algues.

-Chez les algues bleues, la chlorophylle est associée à la phycocyanhie qui es responsable de la couleur bleue de ces algues.

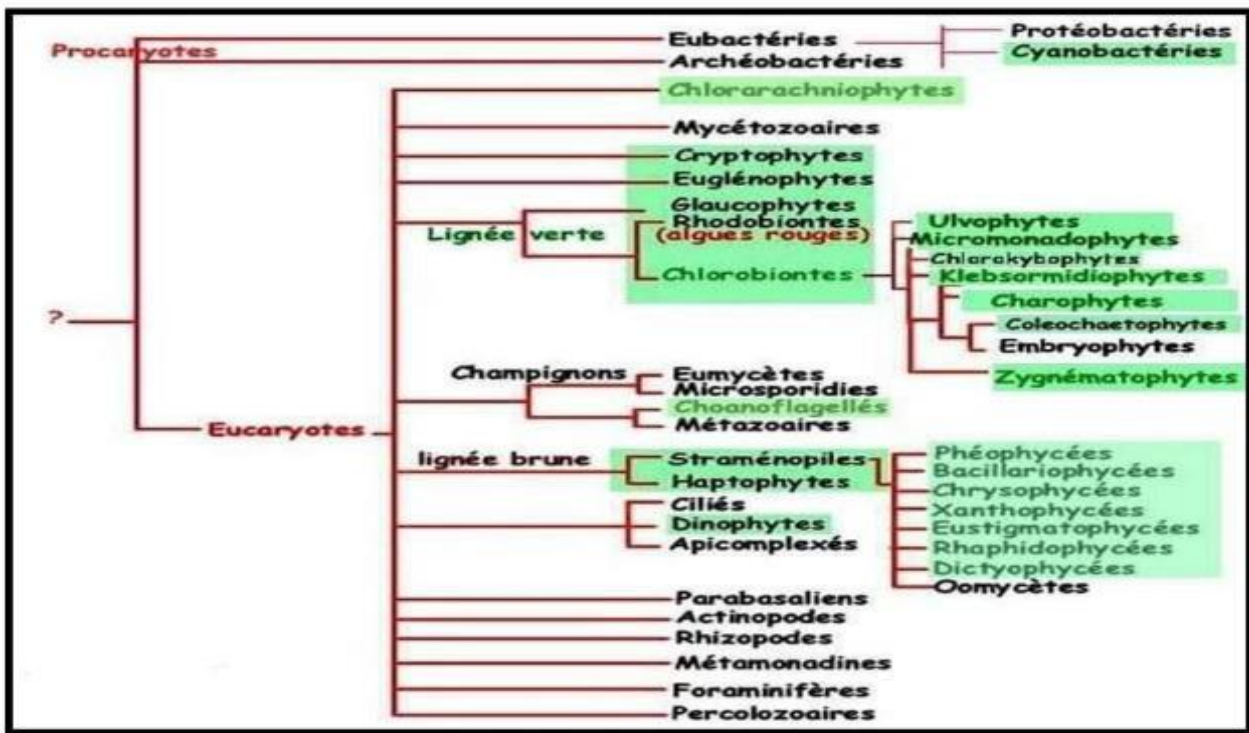


Figure 23. Classification phylogénétique du vivant (Lecointre *et al.*, 2001).

1. 2. 1. Algues vertes ou Chlorophytes

Les algues vertes (Chlorophycées) Les algues vertes, avec 6000 à 7000 espèces, forment le plus grand groupe d'algues. Ce sont généralement des espèces d'eau douce. Il existe des espèces marines et terrestres. Ils sont très répandus partout dans le monde. Ils possèdent deux chlorophylles A et B, mais aussi des carotènes et des xanthophylles. Leurs formes et leurs tailles sont très diverses. Ils peuvent être microscopiques et unicellulaires, ou grands et multicellulaires. D'autres filaments se présentent sous forme de tubes. Ces algues vivent en eau peu profonde ; très sensibles à la contamination par les matières organiques et les nitrates. Les algues vertes sont donc considérées comme un bon indicateur de la contamination par les nitrates (Bouchoukh, 2017).



Figure. Algues vertes (Chlorophycées).



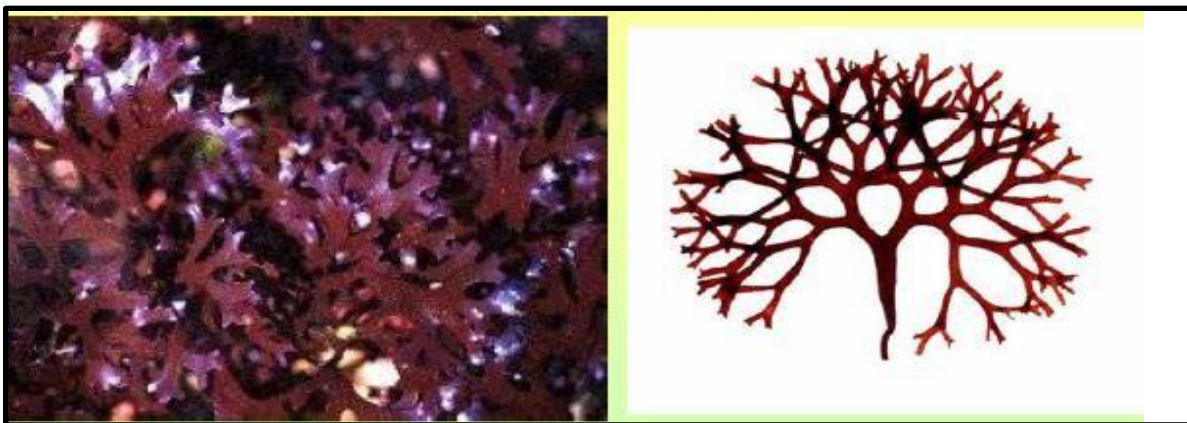
- ✓ fixée sur rochers par crampons
- ✓ découverte à marée basse
- ✓ thalle vert en lames minces aplaties (10-15cm)

Figure 24. Exemple : laitue de mer (*Ulva lactuca*).

1. 2. 2. Algues rouges ou Rhodophytes

La couleur de ces algues est due à la présence de plastides roses dans lesquels le pigment rouge phycoérythrine est associé à plusieurs autres pigments ; dont la chlorophylle. La plupart de ces algues rouges sont multicellulaires et marines, mais certaines sont unicellulaires et vivent en eau douce. Les algues rouges sont importantes pour les écosystèmes marins car elles sont souvent des producteurs primaires clés, formant la base de la chaîne alimentaire pour de nombreuses espèces animales. Elles peuvent également aider à contrôler la qualité de l'eau en absorbant les nutriments excessifs et en régulant la croissance des algues indésirables. De plus, les algues rouges sont utilisées dans diverses industries, notamment la production de produits alimentaires, de cosmétiques, de médicaments et de colorants.

Certaines d'entre elles sont également cultivées pour leur utilisation en aquaculture pour nourrir les poissons et les crustacés. Il est important de noter que certaines espèces d'algues rouges peuvent causer des problèmes écologiques en se développant en abondance, formant ce qu'on appelle des "blooms" d'algues. Cela peut perturber l'équilibre des écosystèmes, entraîner la mortalité des poissons et de la faune marine, et causer des problèmes de qualité de l'eau pour les activités humaines (Bouchoukh, 2017).



- ✓ fixée sur rochers par crampons
- ✓ thalle rouge carminé,
- ✓ côtes de l'Atlantique Nord

Figure 25. Exemple : Carragahen, mousse d'Irlande (*Chondrus crispus*)

1. 2. 3. Algues brunes ou Phaeophytes

Les algues brunes ont principalement des pigments tels que la chlorophylle A et C. En raison de leur taille et de leur abondance, elles jouent un rôle important dans la flore marine et les zones intertidales. Elles forment des structures complexes telles que des attaches, des tiges et des feuilles. Elles peuvent également former de grandes populations dans les zones de turbulence océanique et peuvent jouer un rôle important dans le déplacement de la matière organique vers le fond de l'océan. Les algues brunes sont également utilisées dans diverses industries telles que l'alimentation, les cosmétiques, les produits pharmaceutiques et la production chimique.

Certaines sont cultivées comme engrais pour les plantes. Les algues brunes aident également à lutter contre le changement climatique en absorbant le dioxyde de carbone de l'atmosphère et en le convertissant en matière organique. Cela peut réduire la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. En résumé, les algues brunes jouent un rôle important dans les écosystèmes marins et les moyens de subsistance humains, et leur protection et leur conservation sont essentielles pour assurer la santé et la durabilité (Bouchoukh, 2017).



- ✓ pseudo-tige avec crampons
- ✓ thalle brunâtre très long (plusieurs mètres)

Figure 26. Exemple : Laminaire (*Laminaria digitata*)

*Tableau récapitulatif des macroalgues :

Tableau. Caractéristiques importantes des groupes d'algues
(Géraldine et Céline. 2009)

Embranchement	Nom commun	Nombre d'espèce	Pigment	habitat
Chlorophycées	Algues vertes	7500	Chl a et b Xanthophylle caroténoïde	eau douce, saumâtre, salée et terrestre
Rhodophycées	Algues rouges	3900	Chl a Xanthophylle Caroténoïdes Zéoxanthine Phycocyanine Phycoérythrine	eau douce, saumâtre et salée
Phéophycées	Algues brunes	1500	Chl a et b Xanthophylle Caroténoïde	eau saumâtre et salée

1. 3. Ecologie des algues :

Grâce à leur diversité et leurs exigences écologiques variées, Elles colonisent des milieux très divers :

En Mer	}	Fixées	Benthiques
En eau douce		Libres (dont Phytoplancton)	
Aériennes	}	Sols	
		Rochers, tronc d'arbres (bep en région tropicale)	

Principales responsables de la production Iaire
=
1er chaînon des chaînes alimentaires

- Algues marines fixées (Biocénose benthique) :

Plusieurs facteurs déterminent la répartition géographique et bathymétrique des macroalgues :

-Lumière : les algues dépendent de la lumière pour leur développement. Celle-ci varie en fonction de la profondeur et de la turbidité* de l'eau. Les algues ne se rencontrent donc pas au-delà de 50 à 70 m de profondeur mais se raréfient rapidement au delà de 30 m. Leur aire de distribution ne dépasse donc pas 1% de la surface des océans. Les algues qui ont besoin de beaucoup de lumière (photophiles) vivent près de la surface. Celles ayant besoin de peu de lumière (sciaphiles) se développent en profondeur, sous les surplombs ou les autres algues. La présence de pigments chez les algues brunes et les algues rouges explique pourquoi elles peuvent vivre à des profondeurs plus importantes que les algues vertes là où la lumière n'est plus représentée que par des ondes bleues ou violettes. Ces ondes n'étant pas utilisables par la chlorophylle, ce sont les autres pigments qui les absorbent et lui transmettent ensuite l'énergie lumineuse qui sera utilisée pour la photosynthèse.

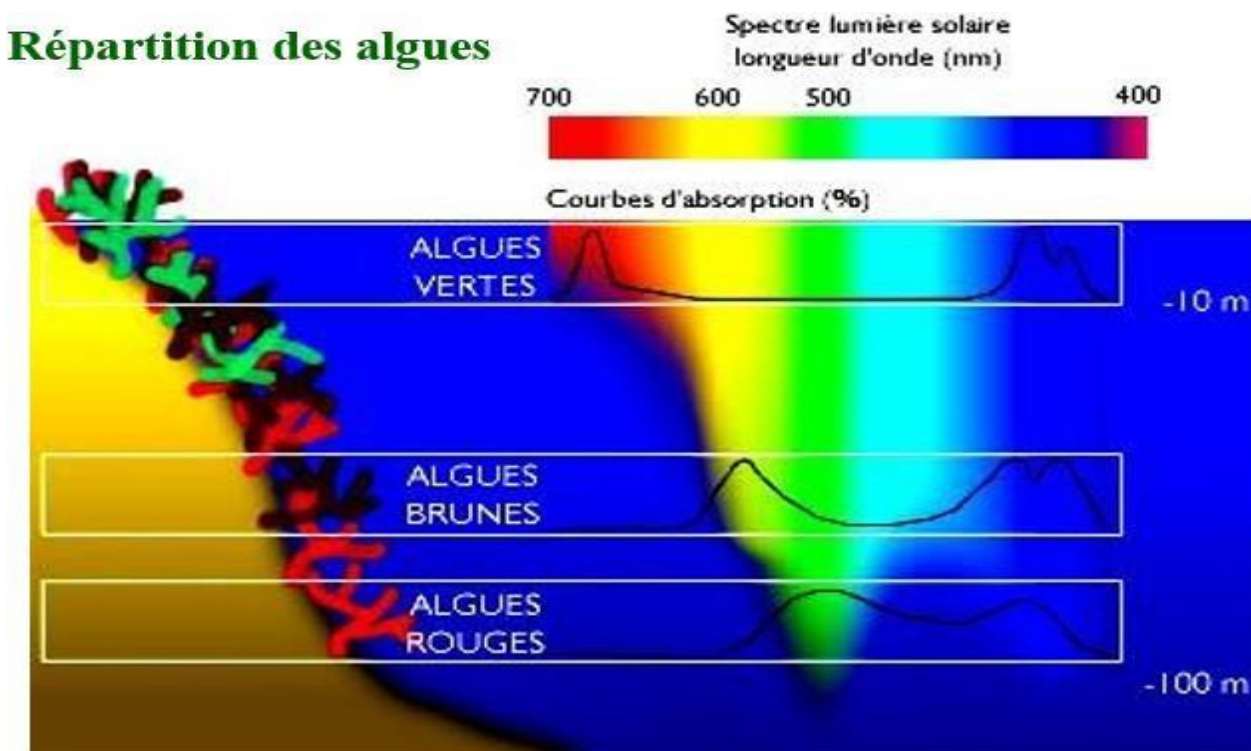


Figure 27. Répartition des algues en profondeur en fonction de la longueur d'onde.

• **Algues vertes** **Surface** Chlorophylles
 (utilise rouge et bleu)

• **Algues brunes** **Milieu** Caroténoïdes
 (entre bleu et vert)

• **Algues rouges** **Bas** Phycoérythrine
 (vert et jaune)



Figure 28. Répartition des algues.

-**Température** : les températures (moyenne et extrême) sont déterminantes dans la répartition géographique de tous les êtres vivants. Dans le cas des macroalgues, les températures aériennes et aquatiques exerceront une influence. Toutefois, l'eau ayant une forte inertie thermique, les variations quotidiennes et saisonnières seront d'autant moins marquées que les algues sont implantées profondément.

Comme sur terre, les processus biologiques dans le milieu marin se déroulent plus rapidement à haute température qu'à basse température. La richesse des eaux en phytoplancton dépend donc de la latitude et de la saison. Toutefois, dans les régions tropicales et subtropicales, la grande différence de température entre l'eau de fond et l'eau de surface constitue une véritable barrière. Les eaux riches en sels minéraux restent piégées au fond et inaccessibles aux microalgues. Ce phénomène explique la pauvreté des eaux tropicales en phytoplancton. Dans les meilleures conditions de développement, le phytoplancton peut doubler sa biomasse.

- **Nature du fond** : Les algues puisent leurs éléments nutritifs dans l'eau de mer et non dans le sol. La nature chimique de ce dernier intervient donc peu dans leur implantation. En revanche la texture joue un rôle important. Les algues ne se développent que sur les substrats durs.

- **Salinité** : au cours de la marée basse, l'évaporation due au vent et à l'augmentation de température, les pluies, font varier considérablement la teneur en sels de l'eau retenue entre les thalles émergés et dans les cuvettes rocheuses. Les espèces situées en haut de l'estran ou dans les cuvettes sont celles qui résistent le mieux à ces variations. Elles sont dites euryhalines. La combinaison de tous ces facteurs conduit à une répartition par bandes horizontales qui forment des ceintures d'algues. En revanche, les eaux océaniques ne peuvent bénéficier de ses remontées d'eau et constituent donc de véritables déserts.

***Complément de connaissances**

- Principales utilisations des algues

- Algine et sels dérivés (alginates) Extraction industrielle à partir des Laminaires en Europe et des *Macrocystis* en Californie : 20.000 tonnes/an.

-La viscosité du colloïde peut être ajustée à volonté, elle dépend de sa concentration, de son degré de polymérisation, de la proportion des résidus ac. mannuronique et guluronique et est affectée par l'addition de différents sels de calcium.

- Les sels solubles forment des solutions incolores et inodores, ne coagulant pas à l'ébullition et restant stables à la congélation. Utilisation dans les industries alimentaires : liants, épaississants et stabilisateurs (additifs alimentaires E 401 - 402 - 403 - 404 : sirops, crèmes, potages, sauces, etc.). Industrie du papier : encollage et glaçage. Produits cosmétiques : crèmes, savons, shampooings. Industries chimiques : peintures et vernis, cirages, etc., pharmaceutiques, chimiques (peintures et vernis, enduits divers) (producteurs : Californie, Grande-Bretagne : 20.000 T/an).

- Les sels insolubles servent à fabriquer des pellicules protectrices lavables pour toutes sortes d'objets. Industrie pharmaceutique : enrobage des gélules.

- Jadis : Extraction industrielle d'iode et de potassium. Les algues brunes sont extrêmement riches en sels minéraux divers (jusqu'à 30% de K et Na dans les cendres).

- Agriculture : épandage sur les terres cultivées comme fertilisant ("goémon » ; surtout jadis) ; fabrication de farines pour bétail et pour volailles (richesse en sels minéraux)
- Alimentation humaine, surtout en Extrême-Orient (Kombu: aliment à base de *Laminaria japonica*); contenu énergétique faible (polysaccharides non assimilables), mais apport minéral important - La laminarine et la fucoïdine (produits du métabolisme photosynthétique) sont des anticoagulants efficaces utilisés en pharmacie.

Les algues brunes ont une productivité primaire très élevée et sont à la base de nombreuses chaînes trophiques en milieu océanique. Des tentatives de plantation ont été réalisées sur les côtes californiennes dans l'espoir d'y accroître la productivité secondaire (crustacés, poissons).

- Au niveau mondial, 75% des algues produites sont consommées dans l'alimentation humaine directe notamment dans la cuisine asiatique. La production mondiale d'algues alimentaires s'élèverait à 15,5 millions de tonnes dont 90% sont cultivés, 10% sont des algues sauvages récoltées. En Europe et en Amérique du nord en revanche, ce sont surtout les usages industriels qui prédominent. Les algues sont recherchées dans l'industrie en raison de la présence de substances utilisées comme gélifiants ou épaississants. Ainsi il est possible d'extraire :

- des alginates E401 à E405 à partir de laminaires ou de fucus.
- de l'agar-agar E406 à partir d'algues rouges appartenant au groupe des gélidiacés et des gracilariacées -des carraghénanes E407 à partir de *Chondrus crispus* et diverses algues rouges Ces substances entrent dans la composition de nombreux produits alimentaires mais aussi cosmétiques et pharmacologiques. Les algues sont toujours utilisées dans l'agriculture comme amendement ou comme complément alimentaire pour le bétail sous forme de farine ou de tourteau. Leur utilisation comme source d'énergie (fermentation pour l'obtention de bioalcool et de biogaz) fait l'objet de nombreux projets en recherche et développement.

2. Les hydrophytes (Les plantes aquatiques)

Les milieux aquatiques sont sujet à de nombreuses variations physico-chimiques comme le niveau d'eau, la turbidité, la température, la luminosité, la salinité, la teneur en nutriments et d'autres paramètres encore.

Les hydrophytes ou plantes aquatiques, colonisant de tels milieux, répondent à ces variations par une grande plasticité. Cette dernière s'applique aussi bien à leur morphologie qu'à leur physiologie. En effet, la plasticité de ces végétaux permet une adaptation à l'hétérogénéité des milieux aquatiques, qu'elle soit spatiale ou temporelle.

Aussi, malgré une faible considération, les hydrophytes participent activement aux fonctionnements écologiques des milieux aquatiques et modifient leurs écosystèmes.

2. 1. Organisation et Classification

Les plantes aquatiques sont des plantes adaptées à la vie dans l'eau. Ces plantes aquatiques se rencontrent dans les milieux marin et d'eau douce, que ce soit les eaux stagnantes (lac, étang, mare, marais) ou eaux courantes (fleuve, rivière ruisseau, canaux).

Les plantes aquatiques correspondent aux végétaux que l'on va trouver dans les plans d'eau et les marais, d'une part, et les cours d'eau, d'autre part. Classiquement, les plantes aquatiques comprennent des hydrophytes, des héliophytes.

On peut distinguer :

-**Les hygrophytes** : sont des plantes de milieu humide,

-**Les hydrophytes** : vivent submergées comme les Myriophylles ou bien présentent des organes flottant à la surface de l'eau, que les plantes soient enracinées comme les Nénuphars, ou soient libres flottantes comme les Lentilles d'eau,

-**Les héliophytes** : sont les plantes de marais qui « vivent les pieds dans l'eau et la tête hors de l'eau », comme le Roseau commun ou les Massettes.

Notons qu'entre les hydrophytes (en grec, hudôr = l'eau, phuton = plante) – ce sont les plantes entièrement aquatiques – et les hélophytes (en grec helos = marécage) – plantes dont seule la base pousse dans l'eau –, il existe une gamme infinie d'intermédiaires. Il existe d'ailleurs aussi des plantes dites amphibies, présentant des formes terrestres et des formes aquatiques. Les hydrophytes (en grec hygro = mouillé) étant quant à elles des plantes de terre ferme qui vivent dans un milieu saturé d'eau en permanence.

Les plantes aquatiques peuvent être subdivisées en deux grands groupes : Les **hydrophytes** et les **hélophytes**.

2. 2. Reproduction

Les hydrophytes possèdent deux modalités de reproduction : sexuée et asexuée. Ces modalités leur permettent, en premier lieu, de se reproduire, mais favorisent aussi la survie de ces végétaux dans un milieu changeant et sujet à de fortes variations de ses paramètres physico-chimiques.

- La reproduction sexuée des végétaux aquatiques, des similitudes avec les plantes terrestres :

La reproduction sexuée des hydrophytes montre souvent des similitudes avec celle des plantes terrestres. Bien que le milieu aquatique y soit peu favorable, les hydrophytes possèdent des fleurs ayant les mêmes caractéristiques et attributs que leurs voisines terrestres. Néanmoins, un problème existe : celui du maintien des inflorescences au-dessus du niveau de l'eau. Ce dernier affecte la pollinisation croisée de ces végétaux qui ne s'effectue que rarement dans de bonnes conditions. Pour pallier ce problème, certaines plantes ont su s'adapter. En effet, la rigidité du pédoncule floral favorise le maintien de la fleur au-dessus du niveau de l'eau (fig. 1). Ainsi, une pollinisation entomophile ou anémophile peut avoir lieu. De plus, la formation de fleurs dites cléistogames peut être une solution à ce problème : ces fleurs restent fermées permettant une autopolinisation dans le bouton floral. La Renoncule aquatique est un exemple d'hydrophyte ayant ce type de reproduction sexuée. Puis, une pollinisation aquatique est observable chez des plantes dioïques, possédant des fleurs mâles et femelles séparées comme *Ceratophyllum demersum*.



Figure 29. Renoncule aquatique, *Ranunculus aquatilis* L.

Cependant, même si la fécondation a lieu, il est à noter que le rendement de la germination reste faible. Aussi, beaucoup d'hybrides sont moins fertiles que les espèces dont ils sont issus. Il est même possible que la reproduction sexuée soit inexistante chez certains végétaux aquatiques telle l'Élodée du Canada (*Elodea canadensis*) pour qui, seuls des plants femelles semblent être présents sur notre territoire. Ainsi, à défaut de pouvoir assurer une descendance par reproduction sexuée, certaines hydrophytes pratiquent un mode de reproduction basé sur une multiplication dite végétative.

-La reproduction asexuée des plantes aquatiques et des modalités variées de multiplication végétative :

La multiplication végétative ou reproduction asexuée présente des modalités très variées à la fois entre les espèces et au sein même d'une espèce. En effet, il est possible d'observer des fragments végétatifs de tige feuillée comme chez la Renoncule aquatique, mais aussi de tige souterraine ou rhizome tel chez *Nuphar lutea* par exemple.



Figure 30. Élodée du Canada (*Elodea canadensis*)

De plus, des organes spécialisés dans la dissémination existent chez beaucoup d'hydrophytes. En détails, il s'agit de stolons, de tubercules, de rejets au niveau de rameaux latéraux comme chez l'Élodée du Canada (fig. 30), de bourgeons, ou encore de turions, aussi appelés hibernacles, étant les organes de multiplication végétative les plus spécialisés. En somme, la reproduction asexuée est définie par un détachement de la plante mère des différents organes cités précédemment.

L'ensemble de ces modalités de multiplication végétative permettent aussi aux hydrophytes de coloniser des milieux et ainsi d'accroître leur aire de répartition, notamment par dispersion de propagules. Par ailleurs, cette fonction de reproduction est fondamentale et essentielle dans l'aptitude de certains végétaux à envahir le milieu. C'est par exemple le cas pour l'Élodée du Canada ainsi qualifiée d'espèce invasive.

Enfin, pratiquer un tel mode de reproduction montre aussi un tout autre intérêt biologique : celui de l'adaptation aux contraintes de l'habitat. De ce fait, la reproduction asexuée apparaît comme un facteur important dans la résistance aux perturbations du milieu environnant.

Les turions ne sont pas seulement des organes de reproduction, mais sont également des organes de résistance aux conditions défavorables. Ainsi, ces derniers permettent à certains végétaux aquatiques de recoloniser rapidement leur milieu après que celui-ci ait subi des dérèglements.

2. 3. Les types de plantes aquatiques

2. 3. 1. Les héliophytes

- Ce sont les végétaux qui vivent les « pieds » dans l'eau mais leurs feuilles et fleurs sont émergées. La reproduction est aérienne.
- Ce sont des plantes qui croissent au bord des eaux, enracinées dans le fond. Leur base est submergée tandis que les organes assimilateurs sont, du moins partiellement portés au-dessus du plan d'eau.

Exemples : le roseau commun (*Phragmites australis*), les massettes (*Typha sp.*)

Les plantes émergées, ont une partie de leur appareil végétatif et reproducteur aérien tout en développant un système racinaire dans un substrat vaseux gorgé d'eau.

Exemple : *Typha australis*.

Héliophytes



Roseau (*Phragmites australis*)



massette (*Typha angustifolia*)
Feuillage plus étroit et épis distants



Massette (*Typha latifolia*)
la plus courante



rubanier (*Sparganium erectum*)



Iris faux acore (*Iris pseudo acorus*)

Figure 31. Exemple de plantes héliophytes.

2. 3. 2. Les hydrophytes

Ce sont les végétaux qui se développent entièrement sous l'eau (tiges, racines, feuilles) soit enracinés comme le nénuphar, soit libres et flottantes comme la lentille d'eau.

***Hydrophytes :** plantes aquatiques dont l'appareil végétatif se développe entièrement dans l'eau ou à sa surface.

Ces plantes présentent des formes très diverses. Et on peut même distinguer aisément quatre catégories :

1- Celles qui flottent librement à la surface de l'eau.

2- Celles qui sont enracinées dans les sédiments au fond de l'eau et dont les feuilles sont flottantes.

3 -Celles qui sont enracinées dans les sédiments au fond de l'eau et dont les feuilles restent immergées.

4- Celles qui sont complètement immergées sous l'eau.

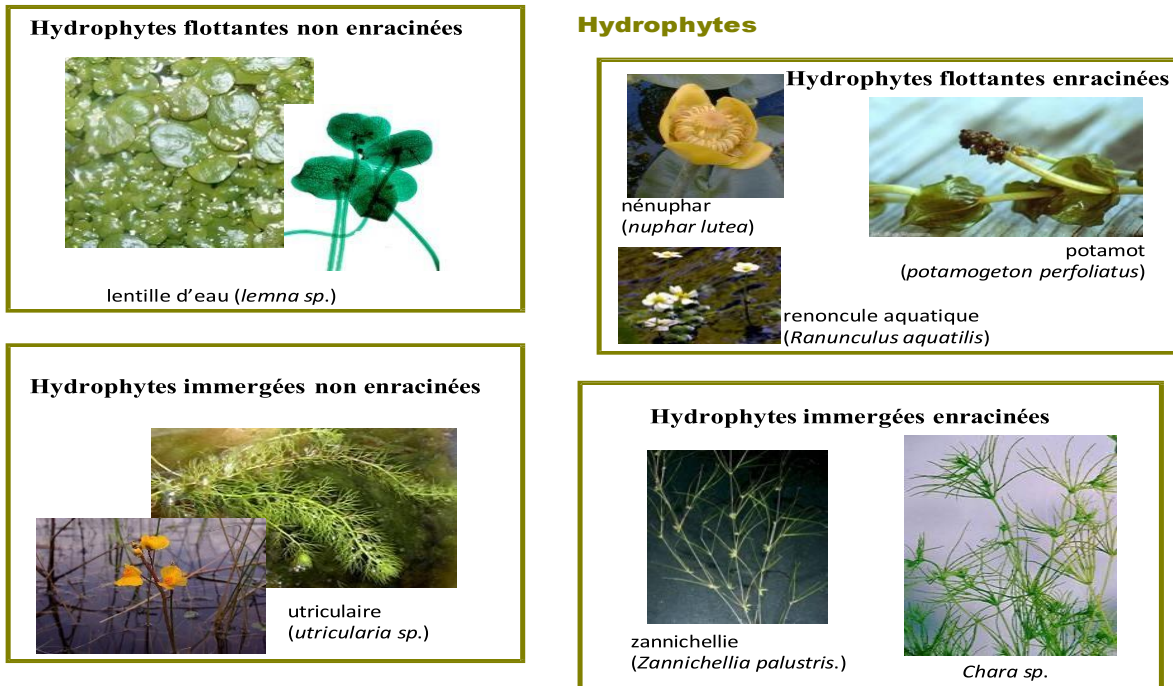


Figure 32. Les types de plantes aquatiques.

a- Les hydrophytes flottantes libres : (Celles qui flottent librement à la surface de l'eau)



Figure 33. La laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) et la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*).

b- Les hydrophytes fixées à feuilles flottantes : ce sont des plantes fixées dont les limbes flottent à la surface de l'eau. En période de floraison, les fleurs émergent de l'eau et sont portées par un pédoncule qui peut atteindre 20 cm de hauteur.

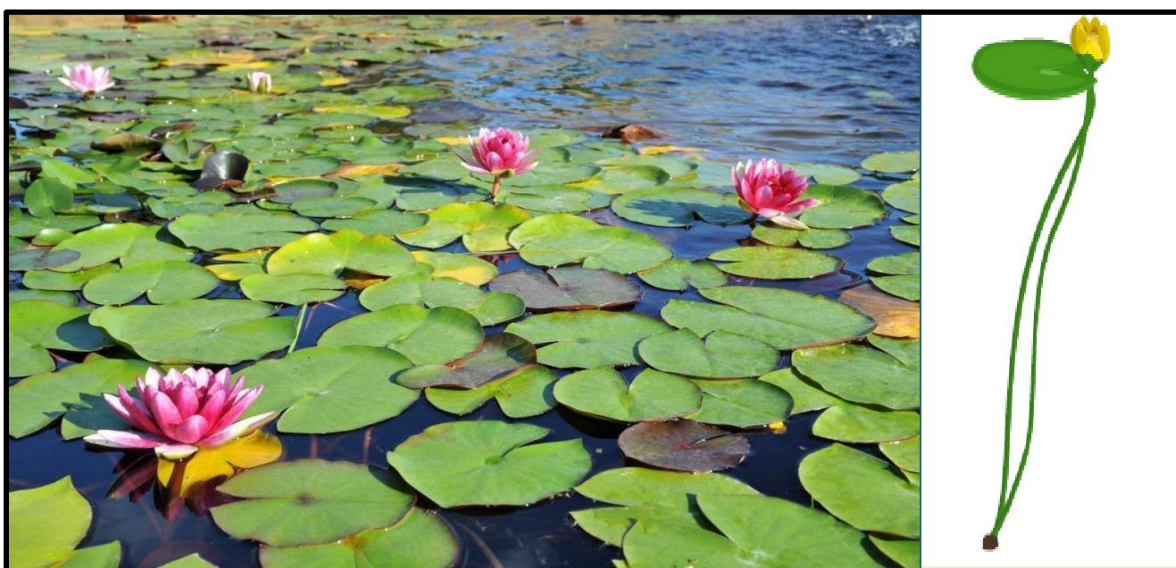


Figure 34. Nénuphar (*Nymphaea sp*) (*Lys d'eau*).

c- Les hydrophytes fixées et immergées : Celles qui sont enracinées dans les sédiments au fond de l'eau et dont les feuilles restent immergées.



Figure 35. L'élodée du canada (*Elodea canadensis*).

***Complément de connaissances**

Ecologie des hydrophytes

- **Les hydrophytes, des plantes aquatiques à haut potentiel de régénération et de colonisation des milieux :**

Les hydrophytes ont une importante capacité de régénération et de colonisation des milieux. En cela réside leur haut potentiel adaptatif vis-à-vis des contraintes biotiques et/ou abiotiques de leur habitat. De nombreuses études ont été menées à propos. Ces dernières ont particulièrement concerné des banques de graines, les stratégies de germination, la date de reproduction, les efforts reproducteurs ainsi que la tolérance à la salinité.

De plus, les espèces soumises à de telles études étaient des hydrophytes de marais permanents en totalité submergées comme le Potamogeton nageant (*Potamogeton natans*).

Aussi, des végétaux de marais temporaires et des héliophytes (végétaux non immergés vivant sur des substrats gorgés d'eau) ont fait l'objet d'études sur les stratégies de régénération et de colonisation des milieux. Par exemple, chez les héliophytes, a été étudié la capacité de croissance clonale ainsi que les conséquences sur le succès de la reproduction asexuée en lien avec la colonisation spatiale du milieu.

En outre, les capacités de colonisation et de régénération de fragments végétatifs ont été fréquemment observées chez les hydrophytes. Plus précisément, en fonction des espèces de plantes aquatiques, ces fragments végétatifs développent rapidement un système racinaire, ou parfois, produisent des diaspores (ou disséminules) favorisant la dispersion de ces organismes.



Figure 36. Potamot nageant, *Potamogeton natans* L.

Ces diverses stratégies montrent les différentes modalités de recolonisation des espèces et permettent d'expliquer, en partie, la répartition des plantes aquatiques dans leur milieu en fonction de l'impact des perturbations écosystémiques comme les crues par exemple.

Outre ces stratégies de régénération et de colonisation, les hydrophytes, étant souvent envisagées comme des nuisances, participent activement aux fonctionnements écologiques des milieux aquatiques.

*** Les hydrophytes : des êtres vivants indispensables aux milieux aquatiques**

Organismes indispensables à la pérennité des écosystèmes aquatiques, les hydrophytes possèdent des rôles et fonctions encore mal connus du grand public.

- Des hydrophytes à la base des écosystèmes aquatiques

En tant que producteur primaire de matière organique, les hydrophytes sont à la base du fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Cette matière organique, produite par photosynthèse, possède deux principaux devenir. Tout d'abord, celle-ci peut être directement consommée par des organismes phytophages, ou consommée sous forme de matière organique morte par des décomposeurs. Ces derniers vont transformer la matière organique morte afin de produire des éléments minéraux et des molécules inorganiques. Une partie de ces éléments et molécules peut stagner dans le biotope et conduire à la formation de sédiments.

De plus, les hydrophytes établissent des relations plus ou moins étroites avec les autres espèces des écosystèmes aquatiques. En effet, une compétition interspécifique peut exister. Dans de nombreux cas, elle permet le maintien local d'un équilibre dynamique favorisant ainsi la coexistence d'espèces de plantes aquatiques appartenant souvent à des types biologiques différents. Cette compétition interspécifique peut également provoquer, dans certains habitats, la dominance d'une seule espèce d'hydrophyte à l'origine de l'élimination des autres espèces de plantes aquatiques. Pour exemple, nous pouvons citer le cas de la Jussie (*Ludwigia sp.*) dominant certains milieux. Il est aussi possible de trouver des interrelations avec des organismes de petite taille telles des Algues, des Champignons ou des Bactéries, pour qui les hydrophytes servent de supports physiques mais sont également une source de nutriments.

Aussi, la matière organique produite par les hydrophytes est consommée par de nombreux animaux aquatiques comme des Invertébrés et quelques Poissons. Des animaux inféodés aux milieux aquatiques tels certains Oiseaux et Mammifères comme le Ragondin par exemple consomment également cette matière organique (fig. 4). Les plantes aquatiques font office d'habitats permanents pour quelques Invertébrés (notamment pour les Eumollusques) en offrant un lieu de vie, un support pour la ponte, etc. À propos des Poissons, les hydrophytes servent d'habitats temporaires, de supports de ponte (Carpe, Gardon et Brochet) ou encore de refuges pour les alevins.

Cependant, outre leurs rôles biologiques au sein des biotopes aquatiques, les hydrophytes impactent également les eaux en modifiant leur chimie ainsi que leurs propriétés physiques.

***Les hydrophytes, des plantes aquatiques modifiant leur milieu**

Les hydrophytes modifient leur environnement de par la densité des herbiers formés, la rigidité de leurs tiges et feuilles, puis de par la résistance de leur système racinaire. L'occupation du milieu par ces plantes aquatiques peut diminuer les effets mécaniques des mouvements des eaux circulantes et, de ce fait, réduire les phénomènes d'érosion locale des berges des cours d'eau ou des plans d'eau. Cela a été compris depuis plusieurs années et utilisé pour protéger voire restaurer certaines berges.

Les modifications physico-chimiques des eaux sont fonction des types biologiques de plantes aquatiques. En effet, la production d'oxygène photosynthétique dans les eaux environnantes peut, dans certains cas, engendrer une sursaturation de l'eau en oxygène, dépassant les 200% en fin de journée ! *A contrario*, la respiration de ces plantes peut conduire, au cours de la nuit, à des sous-saturations significatives en oxygène dans le milieu ambiant.

Cette variation nyctémérale de la concentration en oxygène des eaux est corrélée à la variation du potentiel d'hydrogène ou pH pouvant atteindre deux unités. La variation du pH aquatique peut impacter la survie de certaines espèces de Poissons.

Aussi, de par la consommation d'éléments nutritifs et autres éléments indispensables à la croissance, les hydrophytes jouent un rôle non négligeable dans les cycles biogéochimiques des milieux qu'elles occupent. Les plantes aquatiques sont caractérisées par des teneurs moyennes en phosphore et azote valant respectivement 0,5% et 1,5% des matières sèches. En élargissant ceci à une biomasse maximale de 1 kg par mètre carré, ces teneurs correspondent par conséquent à 5 et 15 g.m⁻², soit des réservoirs peu importants à l'échelle des écosystèmes aquatiques, laissant à penser que les plantes aquatiques n'interviennent pas de manière significative dans le fonctionnement biogéochimique des milieux.



Figure 37. Herbier de *Elodea canadensis* Michx.

Néanmoins, en sachant que des sédiments fins sont souvent retenus par les herbiers d'hydrophytes, une diminution temporaire des particules en suspension et un accroissement des éléments nutritifs stockés sous et dans les herbiers de plantes aquatiques participent au fonctionnement des cycles biogéochimiques du phosphore et de l'azote dans ces milieux.

En conclusion, les hydrophytes s'adaptent à leur environnement ambiant en modifiant leur stratégie de reproduction. Ces adaptations portent aussi bien sur la morphologie que sur la physiologie de ces végétaux aquatiques. De plus, les recherches menées durant ces dernières décennies ont permis de définir et caractériser les rôles et fonctions des plantes aquatiques comme indicateurs d'état et de fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Ainsi, il est fondamental de préserver ces espèces, sans qui, tout un monde aquatique ne serait pas possible.

-Multiples fonctions des hydrophytes

***Oxygénation de l'eau :**

Lors de la photosynthèse, les plantes transforment le gaz carbonique en sucres. Ce processus libère de l'oxygène, indispensable à la respiration des êtres vivants.

***Nourriture :**

Toujours lors de la photosynthèse, les végétaux emmagasinent l'énergie solaire en énergie nutritive. Cette énergie est indispensable aux autres êtres vivants, et circule des herbivores jusqu'aux prédateurs. Ainsi, dans le milieu aquatique, les hydrophytes sont, avec le phytoplancton, la base des chaînes alimentaires.

***Épuration de l'eau :**

Les hydrophytes consomment certains composés polluants dissous dans l'eau (azote, phosphore, métaux lourds...), dont certains constituent pour eux des éléments nutritifs. Elles absorbent ces nutriments à travers les parois cellulaires de leurs tiges et de leurs feuilles très ramifiées, et produisent de l'oxygène nécessaire à la décomposition des matières organiques et à l'oxydation de l'azote ammoniacal.

Elles abritent aussi des micro-organismes tels que les bactéries, qui font une grosse part du travail d'épuration.

***Cachettes salutaires :**

Dans la lutte acharnée entre proies et prédateurs, les plantes aquatiques sont les bienvenues pour servir de cachettes aux uns et aux autres.

***Support de pontes :**

De nombreux animaux utilisent les végétaux aquatiques au moment de la reproduction. Les plantes peuvent servir de matériaux pour la construction des nids chez certains oiseaux. Elles constituent aussi un support direct pour la défense du territoire ; de nombreuses espèces de libellules y insèrent leurs œufs ; mollusques, poissons et autres amphibiens y fixent aussi leurs pontes.

***Se maintenir et s'ancrer dans le milieu :**

Pour les hydrophytes ancrées dans le substrat, la réduction des tissus de soutien est assez générale, le xylème primaire étant partiellement remplacé par des lacunes aérifères (par exemple chez le Nénuphar blanc), l'eau assurant le support des organes et ses mouvements imposant à la fois une résistance à la traction, mais aussi une possibilité de « suivre » le courant, comme pour la Renoncule flottante.

- Pour les hélophytes, notamment les hélophytes sociales comme le Roseau commun, à l'inverse, les tissus de soutien sont bien développés, mais flexibles. La flottaison peut aussi être assurée par des organes spécialisés comme les flotteurs de la Jacinthe d'eau.
- Les racines des hydrophytes sont souvent restreintes (comme pour la Lentille), et assurent essentiellement une fonction d'ancrage, un ancrage traçant dans le substrat permettant de résister au courant.
- Les hélophytes présentent très souvent des rhizomes abondants qui assurent à la fois une forte prospection et une stabilisation des substrats meubles qu'elles colonisent.

3. Les phanérogames marines

3. 1. Organisation et classification des phanérogames marines (herbiers marins)

En milieu terrestre, 80% des végétaux ont des fleurs. Il n'en est pas de même dans le milieu marin. Si on rencontre quelques plantes à fleurs dans nos plongées (Posidonie), les Cryptogames sont les plus représentés (algues).

Les phanérogames marines :

- plantes à fleurs colonisant les fonds marins
- disséminées dans tous les océans du monde

***Définition des phanérogames marines**

Plantes à fleurs vivant complètement submergées en eau salée, ancrées sur le substrat et capable dans ces conditions de croître et de se reproduire.

Les phanérogames marines font partie des Plantes supérieures ou Cormophytes (par opposition aux Algues : Thallophytes). Elles possèdent des fleurs et des graines : ce sont des Phanérogames (par opposition aux mousses et aux fougères qui sont des Cryptogames ou plantes sans fleurs). Les graines mûrissent dans une cavité close qui se transforme en fruit : ce sont des Angiospermes (par opposition aux Gymnospermes dont les graines sont à nu).

Leur embryon n'a qu'un seul cotylédon, ce sont des Monocotylédones (par opposition aux Dicotylédones).

Le groupe des phanérogames se divise en **gymnospermes** et en **angiospermes**. Nous trouvons des plantes marines dans le second groupe. Le terme angiosperme vient du grec angi (enveloppe) et sperma (graine), et s'appelle également le groupe des plantes à fleurs.

Les plantes à fleurs constituent le groupe le plus évolué du règne végétal. Les organes des plantes à fleurs sont véritablement différenciés. Ce sont les feuilles, les tiges et les racines. Les fleurs sont les organes reproducteurs des plantes supérieures.

Il en existe une **cinquantaine d'espèces** dans le monde, tropicales pour la plupart. **Zostera** en Atlantique, **Cymodocea** et **Posidonia** en Méditerranée sont les genres les plus importants. Ces plantes **photophiles** s'installent sur les substrats meubles et riches en matière organique entre la surface et 20 à 30 m de profondeur (jusqu'à 40 m en eau claire en Méditerranée).

Les herbiers marins sont des angiospermes de type herbacé, monocotylédones aquatiques confinées au milieu marin. Ils représentent un groupe écologique et non un groupe taxonomique (Larkum et al, 2006). Les taxons constituant les herbiers marins représentent un nombre très limité de familles, toutes classées dans le super-ordre des Alismatiflorae.

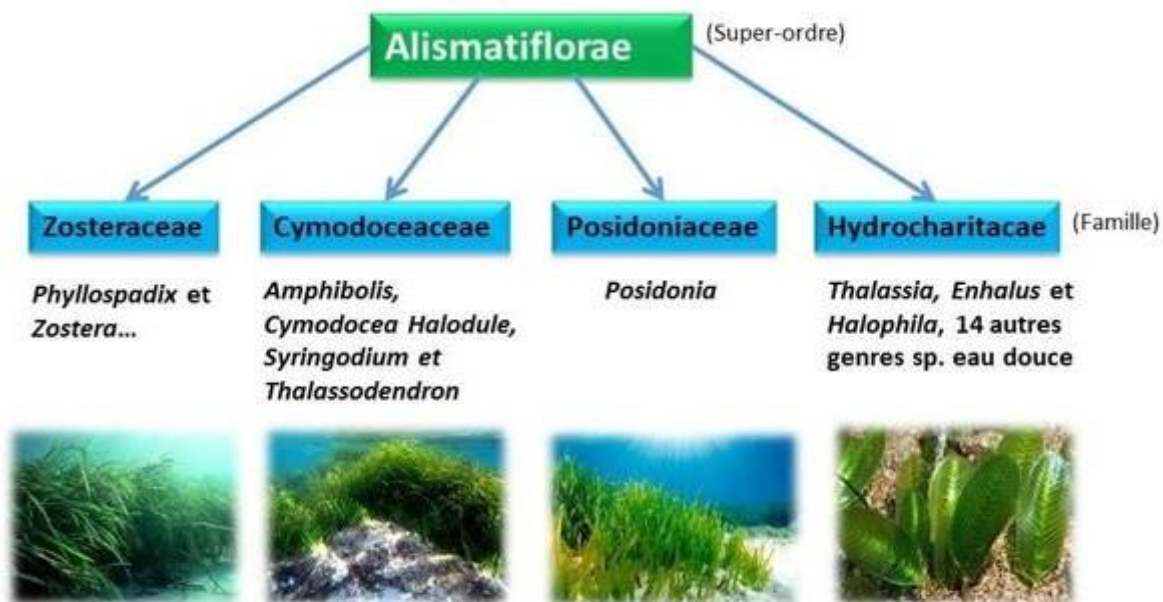


Figure 38. Illustration de la classification des angiospermes marines (familles en bleu, genres en noir).

3. 2. Reproduction et multiplication des phanérogames marines

- Les phanérogames marines possèdent de petites fleurs. Celles-ci sont fertilisées par du pollen, non pas transporté par des insectes, des oiseaux ou le vent, mais par les courants marins. De plus, il arrive que des fragments de plantes se détachent, soient emportés par les courants et poussent dans d'autres zones propices. Les phanérogames marines se propagent rapidement grâce à leur réseau de tiges horizontales formant ainsi de vastes lits qui ressemblent à des prairies ou des champs sous-marins.
- La croissance, rythmée par un cycle annuel, se traduit par une production de feuilles saisonnières. Le nombre et les dimensions de ces feuilles dépendent de l'espèce, de la richesse du fond et de l'éclairement.
- Les feuilles anciennes se détachent et s'échouent sur les plages où elles forment des mattes, banquettes de feuilles entassées caractéristiques de certaines plages méditerranéennes.
- Les racines forment un enchevêtrement sur le fond qui gagne 1 mètre d'épaisseur par siècle. Dans certains herbiers, cette épaisseur peut atteindre 8 mètres.

3. 3. Ecologie des herbiers marins

- Nutrition des phanérogames marines

Comme toutes les plantes, les phanérogames marines se nourrissent grâce à la photosynthèse. Elles prélèvent les différents sels minéraux dont elles ont besoin par les racines. Ayant besoin de lumière, on ne les retrouve que jusqu'à 30-40m selon la limpidité de l'eau.

- Biologie des phanérogames marines

- Les phanérogames marines peuvent couvrir de grandes surfaces avec des **densités importantes**, formant alors de véritables prairies sous-marines communément nommées "**herbiers**".
- Les **herbiers marins** sont des prairies sous-marines qui poussent dans la plupart des mers du globe, en environnement strictement salin. Ils sont composés de plantes à fleurs (phanérogames marines) et non d'algues.



Figure 39. Herbier marin.

***Complément de connaissances**

- Caractéristiques des Phanérogames marines

- Seules les phanérogames marines et les algues Chlorophycées du Genre *Caulerpa* sont susceptibles de constituer des végétations denses et persistantes sur substrat meuble.
- Les herbiers de Phanérogames constituent des écosystèmes très riches en faune associée.
- Il n'existe qu'une cinquantaine d'espèces de phanérogames marines dans le monde.

- Morphologie des Phanérogames marines

- Les phanérogames sont toutes bâties selon le même modèle : racines - tiges - feuilles-organes reproducteurs
- des racines qui puisent dans le sol l'eau et les nutriments dissous (sels minéraux),
- des tiges horizontales (rhizomes), et/ou verticales enfouies ou à la surface du sédiment,
- des feuilles qui assurent la fonction chlorophyllienne.

- Rôle des phanérogames marines

Les herbiers constituent des écosystèmes hautement diversifiés et productifs :

- Les herbiers hébergent de nombreuses espèces d'invertébrés (Echinodermes, mollusques, éponges, coraux) et de poissons (60 espèces observées).
- Les phanérogames marines et leurs épiphytes (bactéries, champignons, protozoaires, algues, invertébrés) sont une source de nourriture pour de nombreux herbivores et détritivores.

- Les tortues marines et les dugongs sont les principaux consommateurs de plantes marines. Ces deux espèces emblématiques et vulnérables sont très dépendantes de l'état de santé des herbiers pour la survie de leurs populations.
- Les herbiers sont des sites privilégiés de **reproduction**, de nurserie et de **développement des juvéniles** (abondance de petites proies facilement accessibles et couvert végétal dense qui protège des prédateurs).
- Les feuilles des phanérogames marines **ralentissent les courants et atténuent l'impact des vagues**. Elles contribuent également à **accélérer la sédimentation des particules** en suspension et à réduire leur remise en suspension.

- Liste d'informations intéressantes sur les herbiers marins :

Ci-dessous sont listé un ensemble d'information, records intéressant à connaître pour la culture des « herbiers marins » (Mckenzie & Yoshida 2009) :

- ✓ Plus d'un milliard de personnes vivent à moins de 50 km des herbiers marins. Plusieurs millions obtiennent des protéines animales provenant de la faune associée aux herbiers.
- ✓ La couverture globale des herbiers marins représente entre 0,1 à 0,2% de la surface des océans.
- ✓ Un hectare d'herbier peut absorber 1,2 kilo de nutriment par année, équivalent aux rejets de 200 personnes.
- ✓ Un hectare d'herbiers peut séquestrer 830 kilos de carbone par an, soit l'équivalent de l'émission en CO₂ d'une voiture sur 3350 kilomètres. Ils seraient responsables de 12% du carbone organique stocké dans les océans.
- ✓ Un mètre carré d'herbier marin peut produire plus de 10 litres d'oxygène par jour.
- ✓ Certaines espèces sont capables de remplacer toutes leurs feuilles en moins de 14 jours (turnover).
- ✓ La productivité de certaines zones d'herbiers marins dans le nord de l'Australie est supérieure à la productivité des forêts de mangrove, des forêts terrestres ou des prairies.
- ✓ La seule espèce de phanérogame marine classée en danger est *Halophila johnsonii* en Floride (Etats unis).
- ✓ Un plant d'herbier marin en Méditerranée aurait 6000 ans (*Posidonia oceanica*).
- ✓ Le record de profondeur est de 86 mètres pour l'espèce *Halophila decipiens*. Ce record a été observé au nord de Maurice sur l'île de Saint Brandon (Cargados Carajos Shoals).

- ✓ Certaines espèces peuvent perdre jusqu'à 50% de leur teneur en eau (marée basse) et survivre tout de même.
- ✓ Les herbiers marins produisent les plus longs grains de pollen du règne végétal.
- ✓ En Alaska, les herbiers marins restent gelés et dans un état de dormance pendant l'hiver. Ils commencent à croître à nouveau lors du dégel.
- ✓ Le plus grand plant d'herbier mesurerait 7.3 mètres (*Zostera caulescens*, Japon)
- ✓ 40.000 graines d'*Halodule uninervis* ont été trouvées dans seulement 1 mètre carré (Floride, Etats- Unis).
- ✓ Même si la totalité des parties foliaires est consommée ou arrachée, la plante pourra repousser.

Chapitre II :

Diversité structurale et fonctionnelle

des

Microphytes

***Complément de connaissances**

Les microalgues sont des micro-organismes de formes et de tailles variées, allant de quelques à plusieurs dizaines de micromètres (Cadoret et Bernard, 2008), photosynthétiques, eucaryotes (ex : algues vertes, rouges et brunes) ou procaryotes (ex : cyanobactéries). Elles peuvent être unicellulaires ou multicellulaires. Elles ont la capacité de se développer rapidement dans des milieux et elles peuvent croître dans des conditions extrêmes (espèces halophiles dans les milieux très salés, espèces thermophiles dans les milieux très chauds). Les microalgues sont présentes dans quasiment tous les écosystèmes terrestres, et il en existe une grande variété d'espèces 50 000 à 1 million d'espèces estimées pour 30 000 étudiées (T. M. Mata et al, 2010). La majorité des microalgues croissent à une température de 25-35°C avec un pH neutre (Zeng et al, 2011).

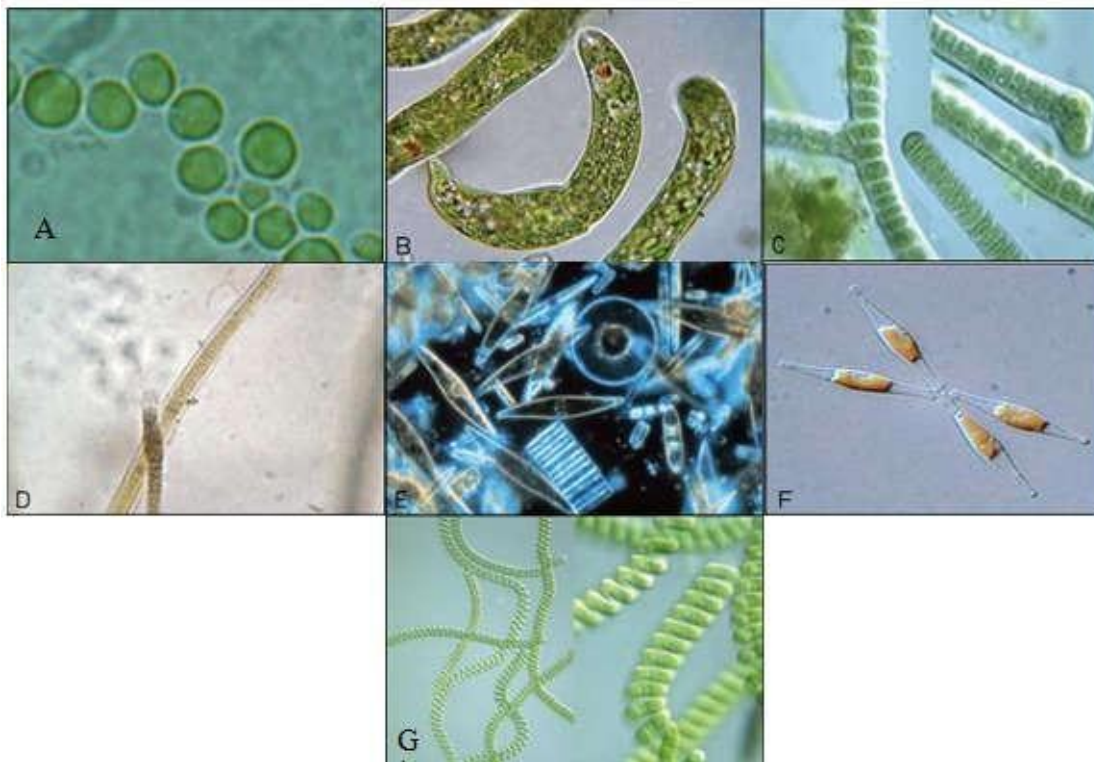


Figure 40. Diversité des formes des microalgues.

A) *Chlorella vulgaris*, B) *Euglena*, CD) *Cyanobacteria*, E) *Thalassiosira pseudonana*, F) *Phaeodactylum tricornutum*, A) *Chlorella vulgaris* G) *Cyanobactérie: Spirulina platensis* (Jack Legrand., 2002).

- Structure des microalgues

La structure interne d'une micro-algue est particulièrement ressemblante à celle d'un quelconque autre végétal. Elle possède un noyau avec son information génétique, une double membrane plasmique et de très nombreux organites. On y dénombre des mitochondries (apport d'énergie) et des plastes, organites spécifiques aux végétaux.

Il y a donc des chloroplastes (photosynthèse) et des oléoplastes, qui sont souvent des plastoglobules pour le stockage éventuel de lipides.

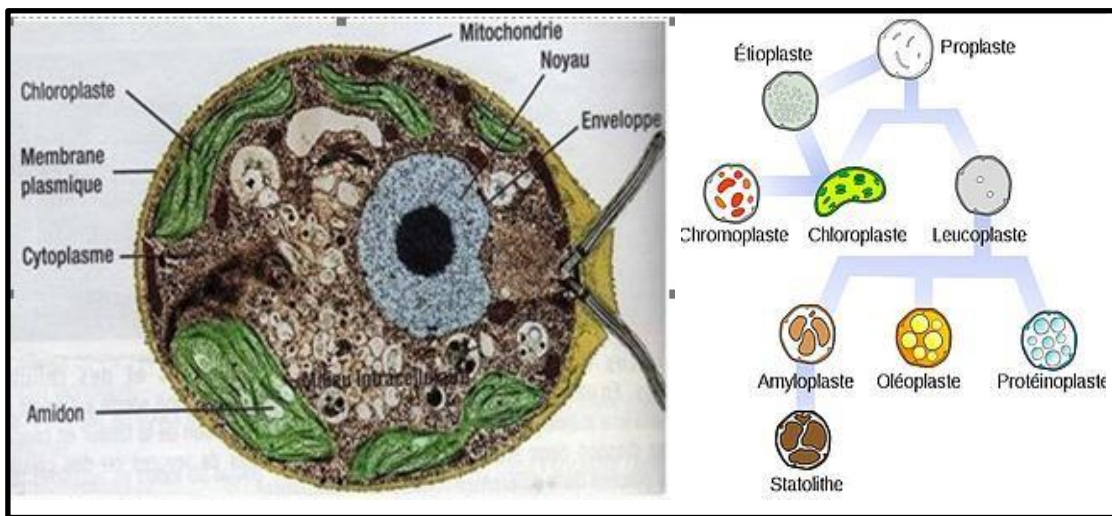


Figure 41. Structure d'une algue unicellulaire (Chlamydomonas).

Les cellules des microalgues sont délimitées par une membrane plasmique le plus souvent associée à une paroi polysaccharidique. Elles contiennent dans leur cytoplasme de nombreux organites nécessaires à leur fonctionnement et à leur métabolisme. Les compositions intracellulaire et membranaire des microalgues varient avec le type de microalgue. Cependant, il existe des caractéristiques communes entre les grands groupes de microalgues.

Une grande majorité des espèces de microalgues possède un ou plusieurs flagelles. Les **microalgues eucaryotes** possèdent un noyau généralement excentré et un pyrénôïde (parfois deux) disposé au centre du chloroplaste. Les cellules possèdent des molécules de réserve carbonée, principalement extraplastidiales, présentes dans le cytosol sous forme de grains de glucanes, ou de gouttelettes lipidiques. Dans le cytoplasme, il y a également des vacuoles et les mitochondries ont la plupart du temps des crêtes aplaties.

REMARQUE :

Certaines algues peuvent se déplacer lorsqu'elles sont munies de flagelles (maximum 2). On en trouve principalement chez les chrysophycées, les pyrophytes et évidemment chez les euglénophycées célèbres pour leur mobilité. En voici une espèce : des chlamydomonas.

Ainsi toutes les micro-algues ont à peu près le même matériel vivant mais ce n'est pas le cas des différentes formes qu'elles peuvent prendre.

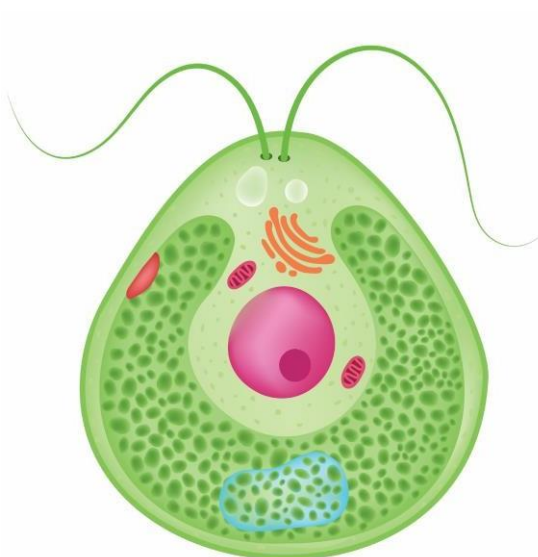
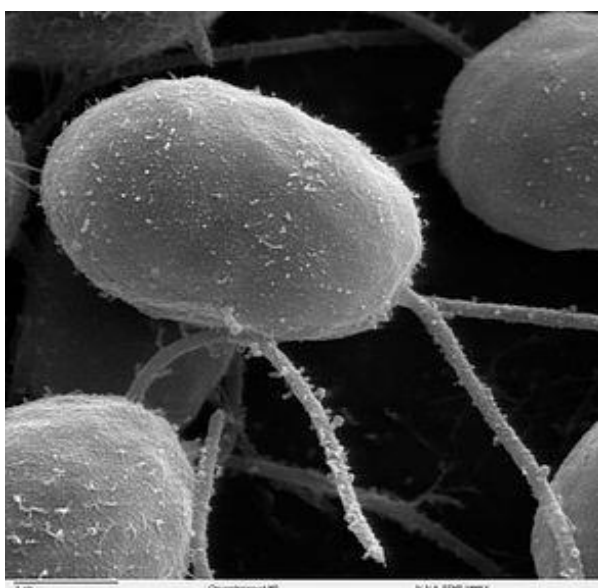


Figure 42. Les chlamydomonas.

1. Classification des microalgues

Les microalgues constituent un groupe extrêmement hétérogène rassemblé autour d'une cohérence physiologique : la photosynthèse oxygénique (Andersen, 1992). Cette famille rassemblerait de plusieurs centaines de milliers à plusieurs millions d'espèces selon les estimations, parmi lesquelles 47000 espèces sont décrites (Andersen *et al*, 1997 ; Sharma and Rai, 2011). Par comparaison, la diversité des plantes supérieures est de l'ordre de 400 000 espèces. La classification (Tableau 2) de cette diversité est complexe et la taxonomie est sujette à de fréquents bouleversements du fait notamment de l'utilisation des techniques de phylogénie moléculaire.

Tableau. Diversité des microalgues eucaryotes et procaryotes, marines et d'eau douce.

Règne	Embranchement/Classe
Procaryotes	Cyanophytes
Eucaryotes	Bacillariophytes
	Charophytes
	Chlorophytes
	Chrysophytes
	Cryptophytes
	Dinophytes
	Euglenophytes
	Glaucophytes
	Haptophytes
	Phaeophytes
	Rhodophytes

Les micro-algues sont donc très diversifiées et il existe encore d'autres familles. On peut également préciser une chose ; 3 MILLIARDS d'années, C'est l'apparition des premières micro-algues. Et depuis, elles résistent. De nombreux extrêmophiles et l'étendue des différents milieux de vie présentés montrent bien leur résistance ; eaux douces, salées, saumâtres et également eaux acides, glaces. Ce sont donc des êtres vivants avec une très bonne capacité d'adaptation.

Les microalgues sont très rarement regroupées en fonction de leur métabolisme énergétique ou encore en fonction de leur habileté à synthétiser les métabolites nécessaires, mais plutôt en fonction de leurs propriétés morphologiques. Il existe donc différentes classes taxonomiques de micro algues dont les principales sont les cyanophycées, les chrysophycées, les rhodophycées, les euglenophycées, les chlorophycées et les bacillariophycées (Barberousse, 2006).

- Les micro-algues présentent une diversité plus grande que celle de toutes les plantes terrestres.
- Ces organismes constituent un groupe polyphylétique et très diversifié de procaryotes et eucaryotes. La définition des embranchements et des classes des micro-algues est complexe et de très nombreux autres critères.

Tableau. Espèces principales des microalgues.

Embranchement	Type de micro algue	Nom Commun	Nbre Sp	Représentants	Pigment	Réserve	Habitat
Chlorophytes	Eucaryote	Algues vertes	7500	Chlorella, Scenedesmus	chloro a;b, xanthophylles, Carotènes	sucres, amidon, fructose	Eau douce, saumâtre, salée
Chrysophytes	Eucaryote	Algues brun-jaune, vert-jaune et diatomées	6000	dinobryon, Surtrella	chloro a;C1;C2, xanthophylles, carotènes, fucoxanthine	huiles	Eau douce, saumâtre, salée
Pyrrhophytes	Eucaryote	Dinoflagells, dinophysis	1100	Gymnodinium, Ceratium, Alexandrium	Chloro a;C1;C2, carotènes, fucoxanthie	amidon, glycanes, huiles	Eau douce, saumâtre, salée
Cyanophytes	Procaryote	Cyanobactéries, algues bleues	inconnu	Anabaena, Nostoc, Microcystis	chloro a, allophycocyanines phycoérythrocyani	inconnu	Eau douce, salée

1. 1. Les Eucaryotes

A. Les bacillariophycées (diatomées)

Les diatomées sont des microalgues unicellulaires dont la taille varie entre 2 µm et 1 mm. Elles font partie du phylum de Chrysophycophyta (ou algues jaunes et brunes) et de la classe des Bacillariophycées (ou Diatomophycées).

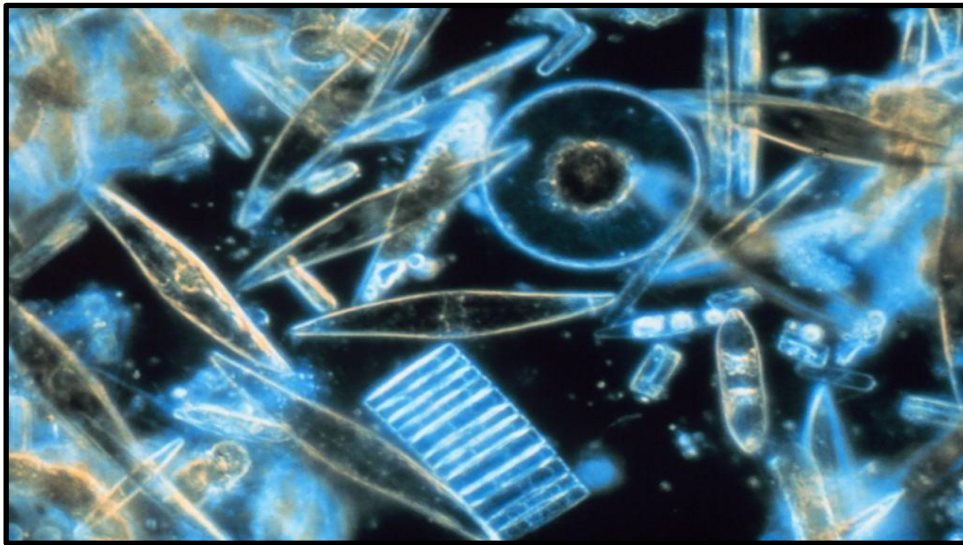


Figure 44. Vue au microscope de diatomées de différentes espèces.

- ❖ Elles vivent dans l'eau, isolées ou en colonies, soit en suspension (pélagiques), soit sur le fond (benthique) ou encore fixées à des supports divers. Les diatomées sont un constituant majeur du phytoplancton participant à 50 % de la production primaire océanique globale.
- ❖ Ces micro-algues produisent à elles seules un quart de l'oxygène que nous respirons et jouent un rôle primordial dans la vie des écosystèmes marins, puisqu'elles sont à la base des réseaux alimentaires de nombreuses espèces. Plus de 200 000 espèces sont répertoriées.
- ❖ Les diatomées sont des algues jaunes et brunes unicellulaires caractérisées par le fait qu'elles sont les seuls organismes unicellulaires à posséder une structure externe siliceuse enveloppant totalement la cellule. Transparente et rigide, cette enveloppe, appelée frustule.
- ❖ Le frustule est formé de deux thèques emboîtées à symétrie remarquable.
- ❖ Comme toute cellule végétale, la cellule d'une diatomée possède des chloroplastes pour sa photosynthèse.

On distingue deux types de diatomées. Les premières sont dites centrales, leur frustule a une forme de disque ou de tube et leur symétrie est radiale (voir fig). Les autres sont dites pennales ou pennées. Elles ont une forme plus ou moins allongée et leur symétrie est, en général, bilatérale

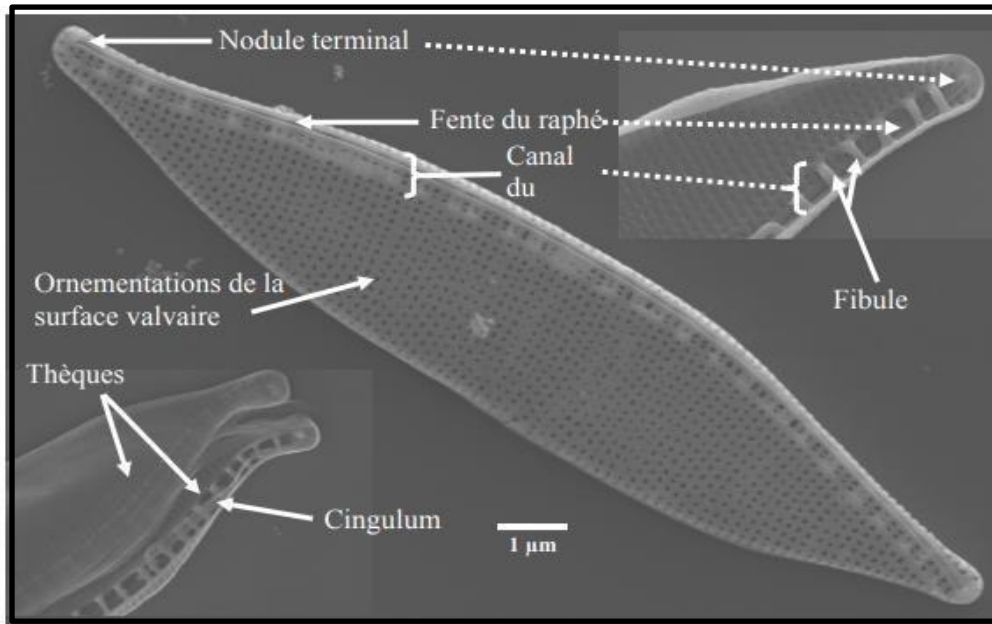


Figure 45. Diatomées pennales ou pennées.

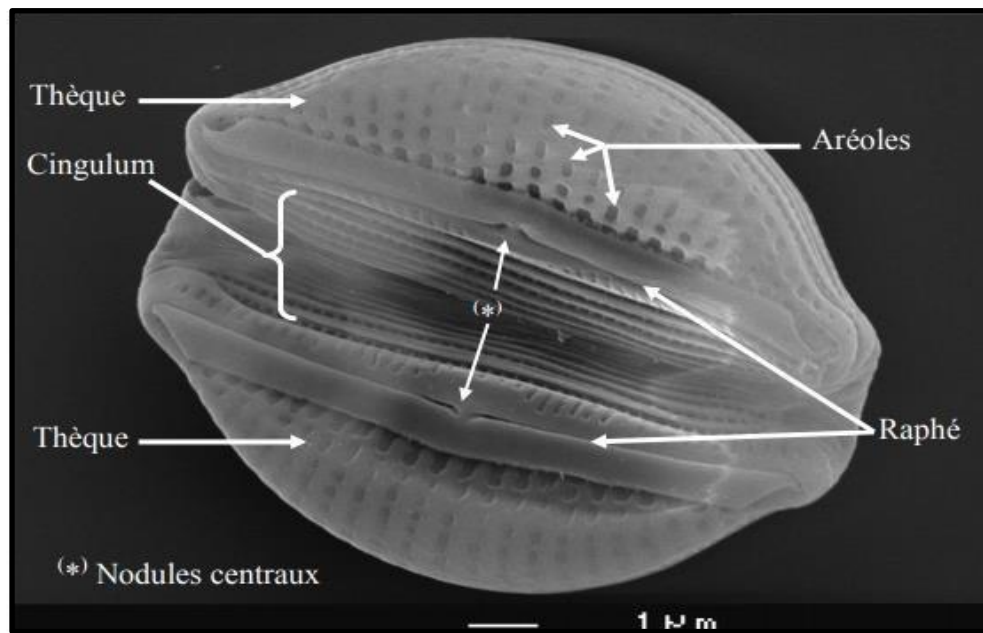


Figure 46. Diatomées centrales.

B. Dinophycées (Dinoflagellés) :

Les Dinoflagellés sont des eucaryotes unicellulaires faisant anciennement partie du règne des protistes, ils sont retrouvés dans les eaux douces aussi dans l'eau marines (90%). On note la présence de deux flagelles eucaryotiques provoquant des déplacements tournoyants (« dino » = toupie). Particuliers, les Dinophytes contiennent les chlorophylles a et c, les pigments surnuméraires sont principalement le β , β -carotène et le péridinien

Les dinoflagellés sont un groupe très hétérogène. Ce groupe possède des espèces toxiques, soit pour la faune aquatique soit pour l'homme.

***Systématiques des Dinoflagellés :**

Cet embranchement contient quatre classes et 14 ordres et 4000 espèces réparties dans 550 genres.



Figure 47. Quelques exemples des Dinoflagellés.

1-*Borghiella tenuissima*, 2-*Biecheleria baltica*, 3-*Symbiodinium voratum*, 4-*Herdmania litoralles*,
5- *Amphidinium bipes*, 6- *Nannoceratopsis gracilis*

C. Rhodophycées (microalgues rouges) :

Les Rhodophyta ou micro-algues rouges forment un groupe très diversifié. Ces micro-algues doivent caractériser par la présence de plastes roses dans lesquels un pigment rouge, la phycoérythrine, est associé à plusieurs autres pigments dont les chlorophylles.

La plupart de ces micro-algues rouges sont pluricellulaires et marines, mais il existe quelques formes unicellulaires et quelques unes vivent également en eau douce.

***Systématique des Rhodophyta :**

On dénombre environ deux classe set 700 genres, il existe plus de 10000 espèces.

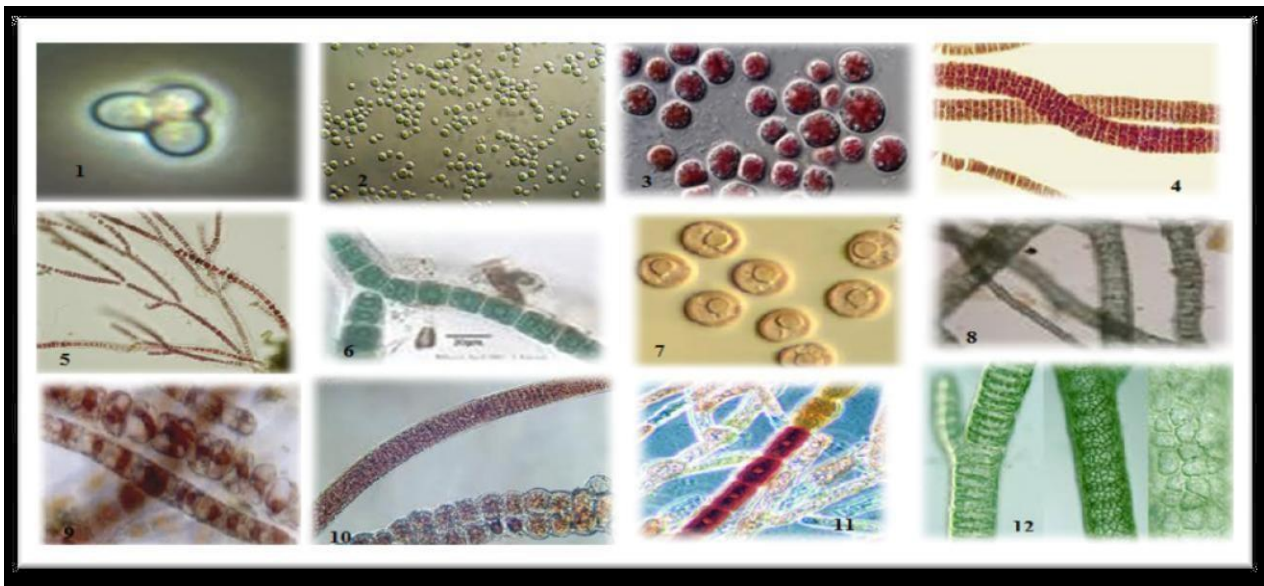


Figure 48. Quelques exemples des Rhodophytes.

- 1- *Cyanidioschyzon merolae*, 2- *Cyanidium caldarium*, 3- *Porphyridium cruentum*, 4- *Porphyrostromium ciliar*, 5- *Stylonema alsidii*, 6- *Chroodactyl onornatum*, 7- *Rhodosorus marinus*, 8- *Compsopogonopsis sp.*, 9- *Erythrotrichia ceramicola*, 10- *Porphyrostromium ciliar*, 11- *Rhodochaete parvula*, 12- *Compsopogon sp.*

D. Chlorophycées (microalgues vertes)

Les micro-algues Vertes constitue la majeure des algues, sont des organismes eucaryotes photosynthétiques caractérisés par la présence de chloroplaste et des chlorophylles a et b. Les Chlorophytes sont très abondantes en eaux douces, elles peuvent se développer en mode unicellulaire ou en colonies.

Les chlorophycées forment ponctuellement des blooms, colorant l'eau en vert.

*Systématiques des Chlorophyta :

Cet embranchement compte quatre classes et 14 ordres et environ 520 genres.

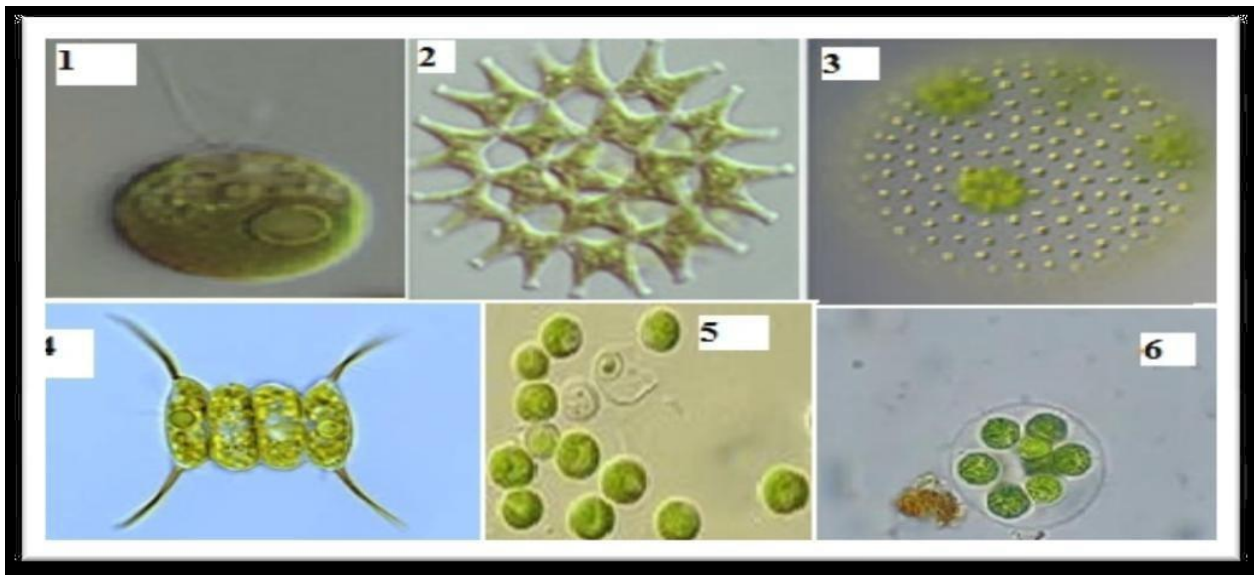


Figure 49. Quelques exemples des Chlorophytes.

1- *Chlamydomonas reinhardtii*, 2- *Pediastrum boryanum*, 3- *Volvox aureus*, 4- *Scenedesmus protuberans*, 5- *Chlorella vulgaris*, 6- *Palmella miniata*

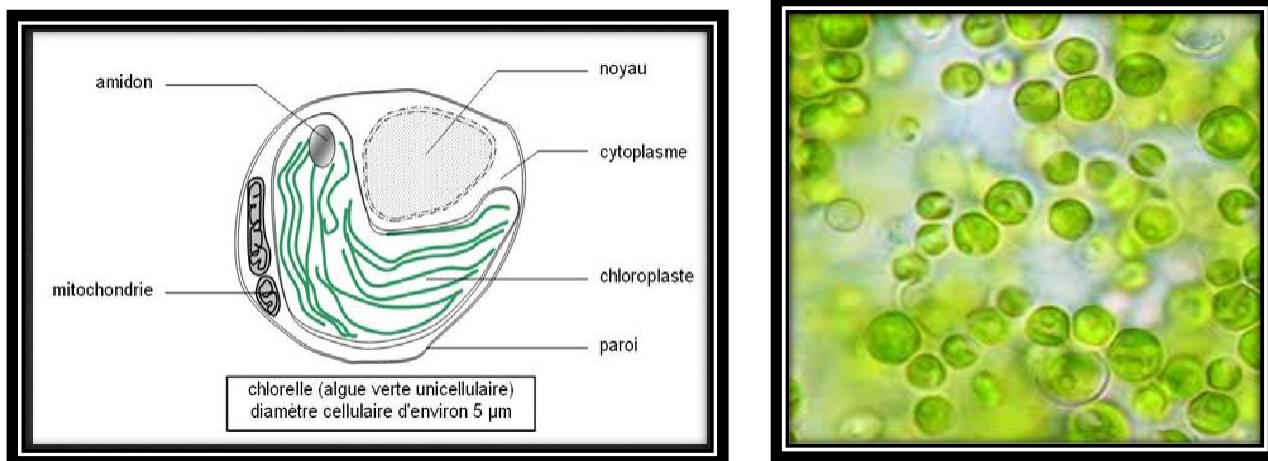


Figure 50. Algues vertes (chlorella).

E. Eustigmatophycées

Ces micro-algues sont unicellulaires, flagellées, rarement coloniales. Les euglènes sont retrouvées généralement dans les eaux saumâtres, douces et marines. Le plaste contient les chlorophylles a et b, associée à du β,β -carotène et desxanthophylles. Ils sont pourvus d'une structure péricellulaire caractéristique appelée pellicule.

***Systématiques des Euglenophyta :**

Cet embranchement composant une seule classe, trois ordres et environ 40-50 genres, 650 à 1050 espèces.

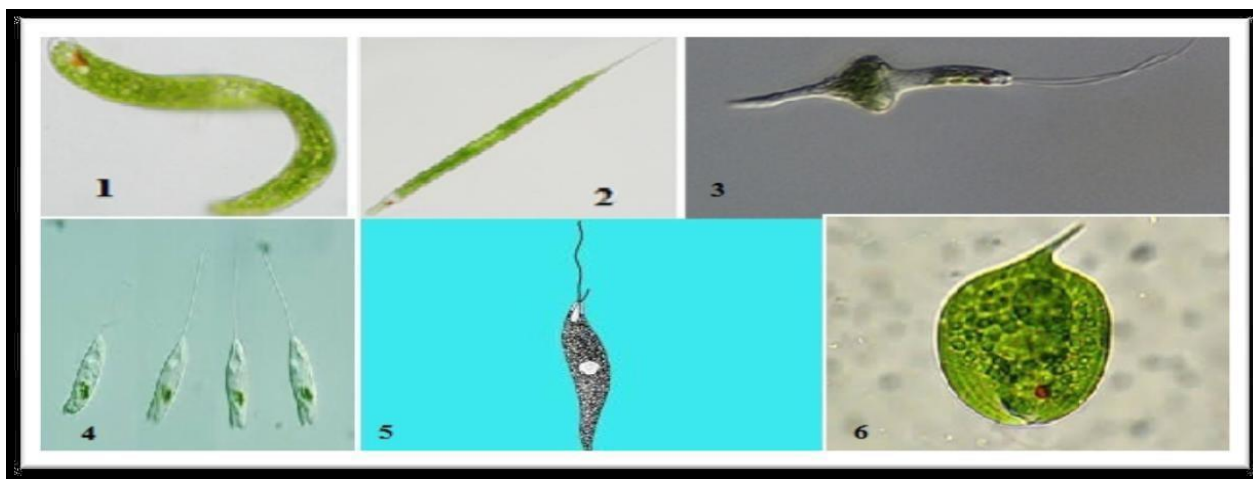


Figure 51. Quelques exemples des Euglenophytes.

1-*Euglena ehrebergii*, 2- *Euglena acus*,3- *Eutreptia pertyi* 4- *Peranema trichophorum*,
5- *Distigma proteus* ,6 –*Phacus triqueter* .

1. 2. Procaryotes (les Cyanobactéries)

Les cyanobactéries, plus communément appelées cyanophycées ou algues bleues, sont des microorganismes aquatiques qui présentent à la fois des caractéristiques provenant des bactéries et des algues. Les pigments présents dans la cellule sont nombreux : **Chlorophylle a et c**, phycocyanine, phycoérythrine, et les pigments d'accompagnements β -carotène et des xanthophylles. Ces pigments ne sont pas portés par des plastes mais sont diffusés dans le cytoplasme et donnent aux cellules une coloration homogène généralement bleu-vert.

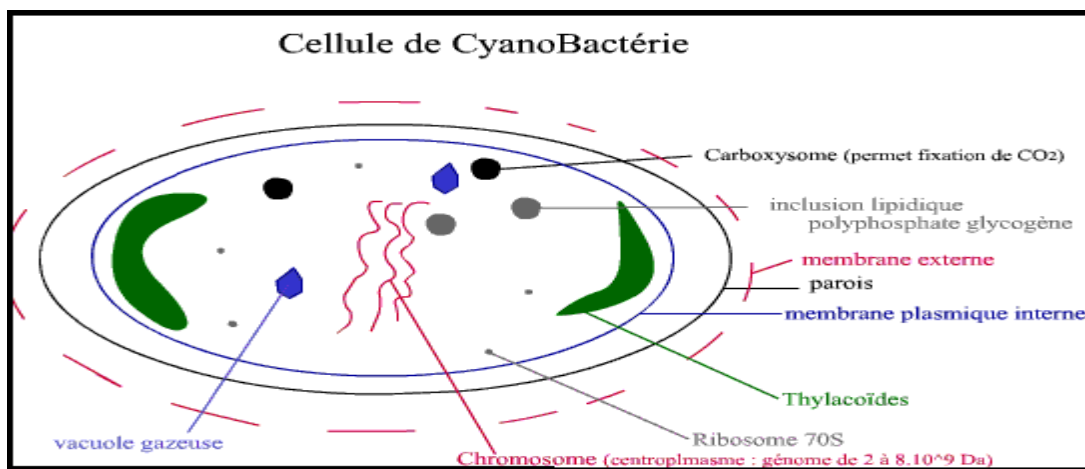


Figure 52. Organisation cellulaire d'une cyanobactérie.

Les cyanobactéries sont présentes de façon naturelle dans les milieux aquatiques. Leur présence devient problématique lorsque certaines espèces se multiplient rapidement et forment une masse visible à l'œil nu (à la surface ou dans l'eau) que l'on nomme fleur d'eau ou « bloom » de cyanobactéries.

***Systématique des Cyanobactéries :**

On dénombre deux classes, 5 ordres divisés en 27 familles qui comportent 150 genres et 2000 espèces.

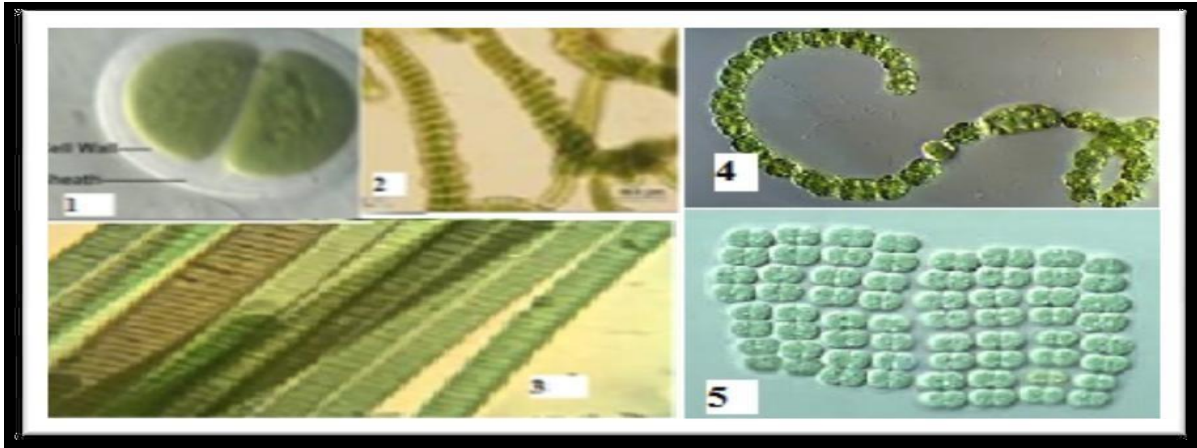


Figure 53. Quelque exemple de Cyanophytes.

1-*Chroococcus turgidus*, 2- *Stigonema mamillosum* 3- *Oscillatoria margaritifera*, 4-*Anabaena spiroides*,
5- *Merismopedia elegans*

2. Biologie des microalgues

Les micro-algues peuvent vivre sous forme libre ou en colonie. Leur cellule unique et indifférenciée assure toutes les fonctions. Ce sont des micro-organismes appartenant à deux groupes : les eucaryotes et les procaryotes. Les micro-algues eucaryotes possèdent une structure cellulaire végétale classique compartimentée, avec ou sans paroi cellulosique, et, avec des pigments photosynthétiques renfermés dans des plastes. Les micro-algues procaryotes, appelées aussi cyanobactéries, ont une structure bactérienne classique sans compartiment, les pigments photosynthétiques étant contenus dans des membranes lamellaires.

En ce qui concerne la multiplication des micro-algues, elles ne grandissent pas. Par contre, certaines d'entre elles, comme les diatomées, peuvent voir leur taille diminuer. Comme toutes les micro-algues, elles colonisent leur milieu en se divisant par mitose, rapidement et activement, si les conditions physico-chimiques et nutritives sont favorables. Lors de cette reproduction asexuée, leur taille diminue jusqu'à ce qu'elles ne puissent plus se diviser.

Les micro-algues présentent une diversité plus grande que celle de toutes les plantes terrestres. Il existerait sur le globe au moins 200 000 espèces différentes. Ces organismes constituent un groupe polyphylétique et très diversifié de procaryotes et eucaryotes. La définition des embranchements et des classes des micro-algues est complexe et de très nombreux autres critères.

NB : Les pigments constitué un critère important dans la classification des micro-algues. Le rôle physiologique de ces molécules est de capter l'énergie lumineuse.

Selon la nature des pigments surnuméraires associés à la chlorophylle, les plastes sont tantôt :

- Verts (Chlorophytes),
- Jaunes ou bruns (Chromophytes),
- Rouges (Rhodophytes).

3. Reproduction des microalgues

2. 1. Reproduction asexuée : peut-être de 3 types :

- **Fragmentation** : Le thalle se sépare en deux parties qui redonneront chacune un nouveau thalle (Baldauf, 2008).
- **Sporulation** : Des spores peuvent être formées dans les cellules végétatives ordinaires ou dans des structures spécialisées appelées sporanges (Baldauf, 2008).
- **Scission binaire** : Division du noyau puis du cytoplasme. La forme caractéristique du cénobe de *Scenedesmusquadricauda* provient de deux divisions successives par scission binaire. Les divisions suivantes provoquent la fragmentation de cette forme coloniale. Chez les cyanobactéries (*Oscillatoria*), des zones plus sensibles aux cassures sont présentes et favorisent ce mode de reproduction asexuée (Baldauf, 2008).

2. 1. 2. Reproduction sexuée : Dans la reproduction sexuée, il y a fusion de gamètes mâle et femelle pour produire un zygotediploïde. Des œufs se forment dans les cellules réceptrices identiques aux cellules somatiques (*Spirogyra*) ou dans des cellules végétatives femelles peu modifiées nommées oogones (*Fucus*). Les spermatozoïdes sont produits dans des structures mâles spécialisées appelées anthéridies (Baldauf, 2008).

2. 1. 3. Croissance : Les microalgues comme tous microorganismes ont une croissance se faisant en quatre phases : une phase de latence (1), une phase exponentielle (2), une phase stationnaire (3) et une phase de déclin (4).

- ✓ Une phase de latence (1), pendant laquelle la croissance des cellules est lente. La durée de cette phase dépend des volumes respectifs d'inoculum et de milieu de culture, et surtout de l'acclimatation de la culture mère aux nouvelles conditions dans le récipient de culture. Cette phase serait davantage un artefact de transfert plutôt qu'une étape inhérente à la croissance.
- ✓ Une phase exponentielle (2), justement définie par le caractère exponentiel de la croissance. L'augmentation du nombre de cellules par unité de temps est alors proportionnelle au nombre de cellules présentes à l'instant.

- ✓ Une phase stationnaire (3) qui perdure jusqu'à ce qu'un élément, dit « limitant » (le plus souvent un élément nutritif comme l'azote ou le phosphore), dont la concentration est plus faible par rapport aux besoins du phytoplancton, atteigne une valeur qui ne peut plus satisfaire la demande des cellules.
- ✓ Une phase de déclin (4), aussi appelée phase de sénescence, se traduisant par la mort des cellules, lesquelles ne trouvent plus dans le milieu de culture les éléments nécessaires à leur survie. Elles libèrent alors leurs constituants cellulaires.

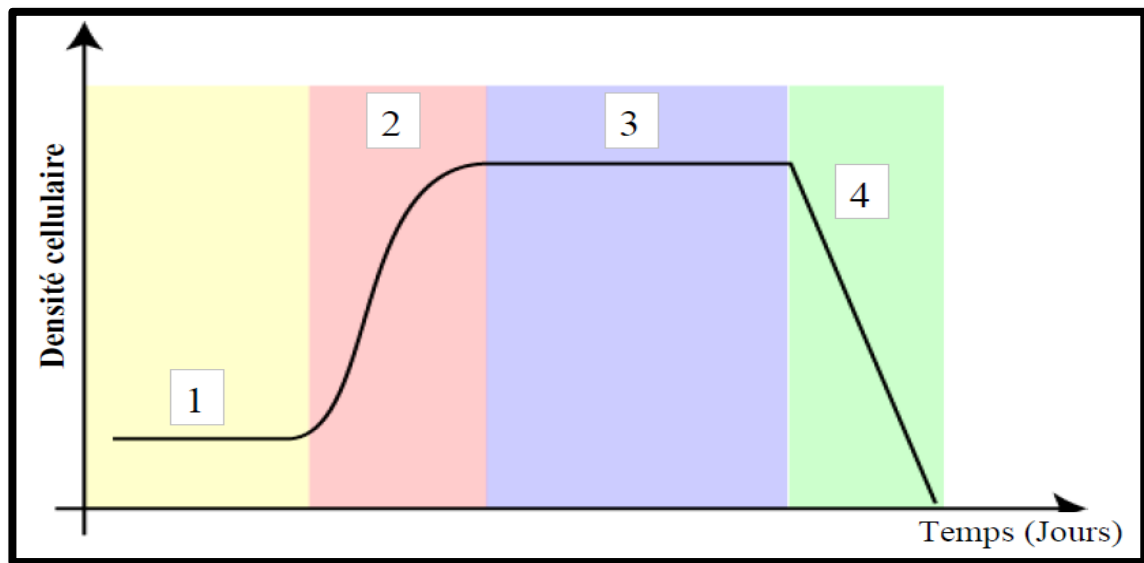


Figure 54. Courbe de croissance des microalgues.

(1) : Phase de latence (2) : Phase exponentielle (3) : Phase stationnaire (4) : Phase de déclin

*Complément de connaissances

-Multiplication des microalgues

Exemple : Les diatomées

- Caractères généraux :

- Appelées Bacillariophycées, les Diatomées sont des microorganismes unicellulaires photosynthétiques, qui comprend aussi, en particulier, les algues brunes (Phéophycées).
- Leur taille varie de 20 à 200 µm environ, quoique certaines puissent atteindre 2 mm. Elles peuvent se présenter en cellules isolées ou regroupées en colonies.

- Elles se caractérisent par une paroi rigide faite de silice hydratée insérée dans une matrice organique, le frustule. Cette paroi est divisée en deux valves emboîtées de taille différente : l'hypothèque, la plus petite des deux valves, vient s'emboîter dans l'épithèque (à la façon d'une boîte de Pétri). La bordure verticale de l'épithèque, appelé l'épicingulum, recouvre et cache le bord de l'hypothèque, ou hypocingulum.
- Chaque frustule renferme une cellule constituée d'un noyau baignant dans le cytoplasme. Ce dernier contient des aliments de réserves sous forme de gouttelettes huileuses (les pyrénoides) et des chromatophores permettant la fonction chlorophyllienne et donnant la couleur brun-verdâtre caractéristique de l'algue
- On distingue deux types de diatomées. Les premières sont dites centrales, leur frustule a une forme de disque. Les autres sont dites pennales ou pennées. Elles ont une forme
- plus ou moins allongée et leur symétrie est, en général, bilatérale.

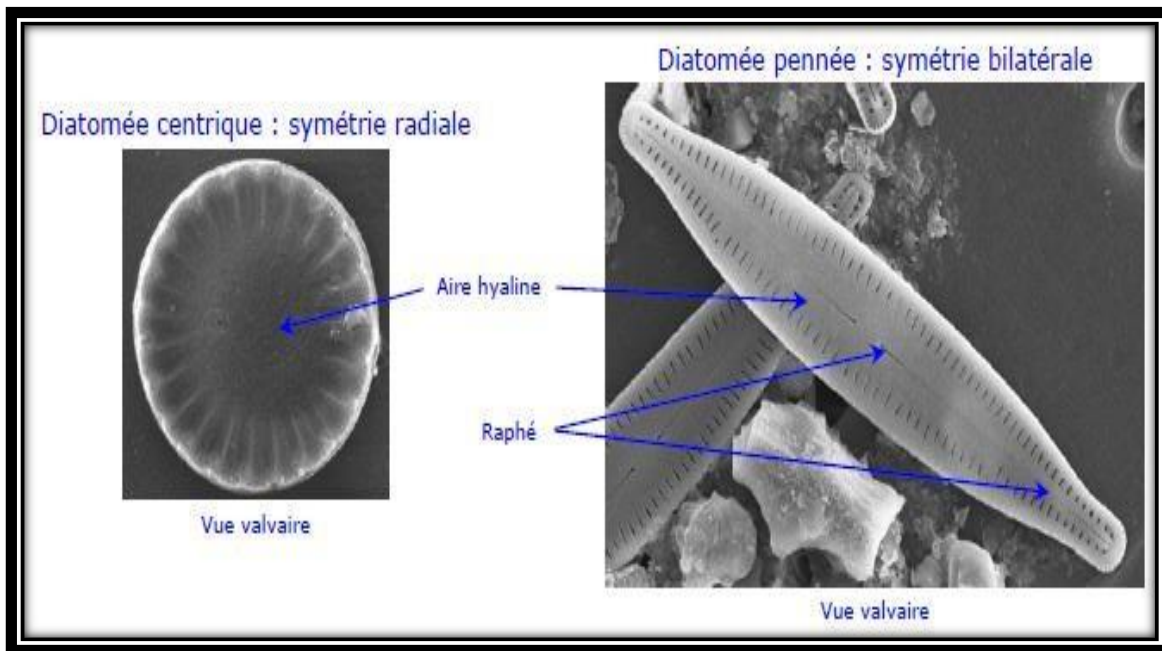


Figure 55. Vue valvaire d'une diatomée.

- Cycle de vie des diatomées :

- ⊙ Les Diatomées ont un cycle de vie essentiellement diplophasique. Les cellules diploïdes se multiplient par mitose pendant plusieurs mois, voire plusieurs années. Chacune des valves de la cellule parente devient l'épithèque d'une cellule-fille, qui secrète l'hypothèque correspondante.
- ⊙ En conséquence, l'une des deux diatomées-filles est de taille inférieure à la diatomée initiale, alors que l'autre fille est de même taille. Par conséquent, au cours des divisions successives, des Diatomées plus petites apparaissent et l'une des lignées de descendantes voit sa taille diminuer à chaque génération. Cette diminution ne dure pas indéfiniment.

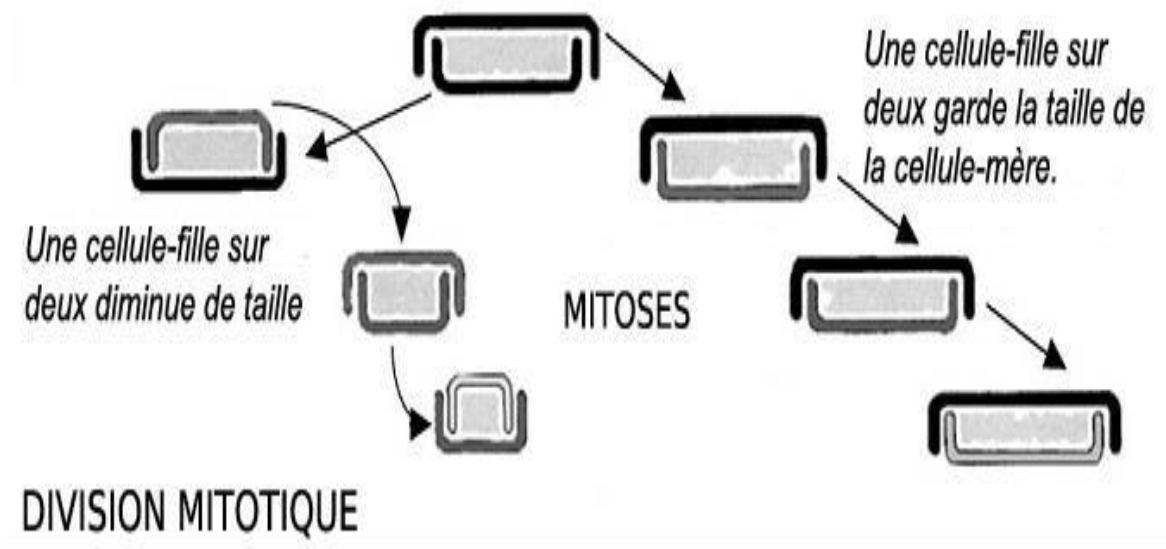


Figure 56. Division cellulaire de la diatomée.

- En dessous d'un certain seuil (30% de la taille initiale), ces cellules entrent en méiose et produisent des gamètes, dont la paroi cellulaire ne comporte pas de frustule siliceux. Le zygote issu de la fusion des gamètes (auxospore) croît jusqu'à la taille maximale propre à l'espèce ou à la population avant de former un nouveau frustule.

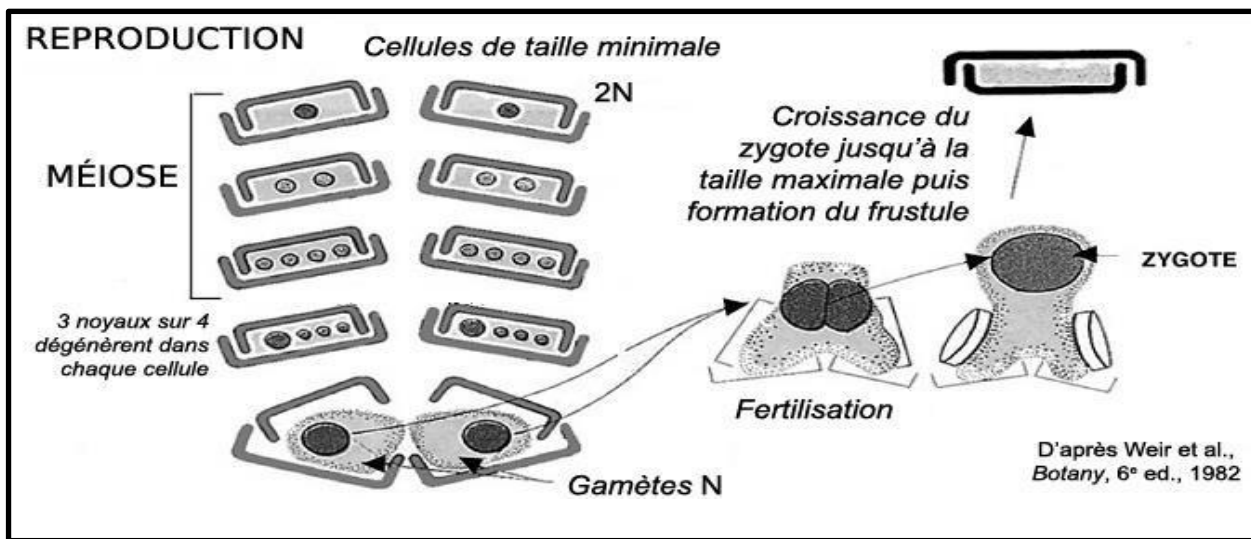


Figure 57. Reproduction de la diatomée.

***Distribution/Habitats : des océans aux milieux extrêmes**

Les microalgues occupent la plupart des niches écologiques. Si elles sont surtout présentes dans les environnements aquatiques, elles ont su également coloniser les sols et une vaste gamme de supports comme les rochers, les arbres ou encore les édifices architecturaux (Macedo et al., 2009). Preuve de leur diversité d'habitats, certaines microalgues se développent dans les eaux de fonte de la glace ou de la neige et on les rencontre également dans les déserts arides à semi-arides. L'atmosphère constitue également un environnement dans lequel une diversité notable de microalgues eucaryotes et de cyanobactéries est signalée (Sharma *et al.*, 2007). Enfin, cette capacité à coloniser l'ensemble de la biosphère est une propriété qui, comme pour les bactéries non photosynthétique, leur permet de se développer dans des conditions dites « extrêmes ».

C'est grâce à l'absence de structure complexe autre que la cellule et à un métabolisme orienté principalement vers la production d'énergie que les microalgues ont cette capacité à être notablement ubiquistes (Falkowski et Raven, 1997).

***Les micoalgues et la photosynthèse**

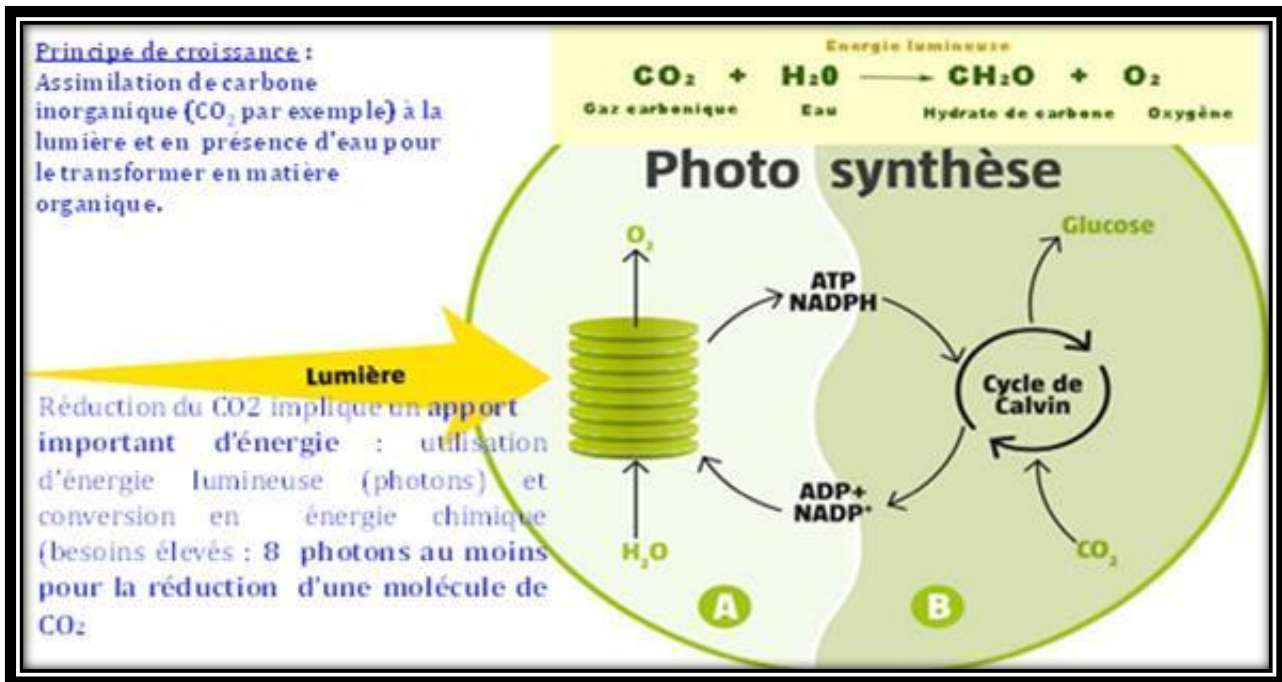


Figure 58. Transformation de l'énergie minérale en matière organique.

La photosynthèse est un processus indispensable à la vie en permettant l'utilisation de l'énergie solaire (énergie lumineuse) pour la formation de la matière organique. Les microorganismes photosynthétiques sont responsables de plus de 50% de la photosynthèse et sont à la base de la chaîne alimentaire.

Chez les plantes, la photosynthèse a organites intracellulaires d'une dizaine de microns (qui délimite le stroma où se trouvent énergétiques sous forme d'amidon indéterminé. C'est au niveau des contenants les pigments photosynthétiques qu'a lieu la photosynthèse.

REMARQUE : Le Rendement photosynthétique des micro-algues :

Le choix des micro-algues pour faire du biocarburant est basé sur plusieurs critères, dont le rendement photosynthétique. En effet, 1 g de biomasse algale produit environ 1 g de glucides par hectare, soit, pour l'ensemble de la végétation terrestre, un gain annuel d'environ 73 milliards de tonnes de carbone, ce qui équivaut à vingt fois la production mondiale de charbon, par contre les micro-algues sont d'une plus grande efficacité photosynthétique soit 10 à 100 fois plus que les plantes.

L'utilisation des micro-algues pour la production d'algo-carburants nécessite à la fois une culture intensive d'algues et une maîtrise des conditions de culture pour garantir un rendement en biomasse optimum et une production de lipide suffisamment élevée. Durant notre projet pro, nous avons donc de nous pencher sur les modes et les paramètres de culture afin de comprendre certains enjeux et limites de l'utilisation d'algues pour la production de biocarburants.

***Utilisations, importance et nuisances**

Les algues ont des utilisations très diverses selon les groupes. Des algues rouges, vertes et brunes sont consommées comme légume. Des cyanobactéries comme les spirulines, ou des algues vertes comme les chlorelles, sont vendues comme complément alimentaire riche en protéines et en vitamines. Les algues brunes et rouges ont un réel intérêt économique, en raison des gélifiants ou des épaississants qu'on extrait industriellement de leurs parois cellulaires.

Les algues vertes produisent des lipides à partir desquels on envisage d'obtenir des biocarburants. Les diatomées sont utilisées pour le verdissement des huîtres ou comme nourriture en aquaculture. Recouvertes d'une enveloppe en verre (silice) nommée frustule, elles sont à l'origine d'un sédiment fossile (la diatomite) qui est utilisé par de nombreuses industries (indicateur pour l'exploration pétrolière, filtration du vin...).

Leur capacité à utiliser la silice a inspiré la création de divers matériaux comme des plastiques recouverts d'une fine couche de verre pour éviter qu'ils ne se rayent. D'autres algues qui ont des représentants fossiles abondants, comme les dinophytes, sont utilisées comme marqueurs stratigraphiques. L'emploi traditionnel des macroalgues comme engrais riche en éléments minéraux est encore pratiqué localement ; c'est un engrais qui présente l'avantage de se décomposer lentement et donc de libérer progressivement ses éléments fertilisants.

Chapitres III :

Les Biomasses marines

Introduction

Les combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, etc.) paraissaient être inépuisables. Les différentes crises pétrolières ont mis en évidence l'utilité des énergies renouvelables en substitution aux produits pétroliers. L'une d'elle, la biomasse est souvent décrite comme étant « L'ensemble de toutes les matières premières renouvelables d'origine végétale ou animale destinées à des utilisations non alimentaires ». La biomasse est un combustible varié. Au sens large, elle comprend « l'ensemble des êtres vivants, animaux ou végétaux, ainsi que leurs productions, sous- produits ou déchets (déjections, etc.) ». La biomasse forme les différents écosystèmes de la planète et participe à leurs équilibres naturels. Elle a d'abord été cultivée et élevée par l'homme pour son alimentation, mais elle fournit également des matériaux de construction et est utilisée comme matière première pour certains procédés industriels et pour la production d'énergie, on parle alors de bioénergie.

Le terme de biomasse regroupe l'ensemble des matières organiques d'origine végétale ou animale pouvant devenir des sources d'énergie.

Ces matières organiques qui proviennent des plantes sont une forme de stockage de l'énergie solaire, captée et utilisée par les plantes grâce à la chlorophylle. La biomasse correspond à la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales, des produits, déchets et résidus provenant de la sylviculture et des industries connexes, des déchets et résidus végétaux de l'industrie (bois, issu de l'exploitation forestière, déchets organiques des industries agro-alimentaires...).

Le bois énergie, matérialisé par les bûches, les granulés et les plaquettes, est de très loin la première source d'énergie biomasse. Les principales formes de l'énergie de biomasse sont le chauffage domestique (alimenté au bois), la combustion de bois et de déchets dans des installations produisant de la chaleur et/ou de l'électricité ou les deux et les biocarburants pour le transport (produits essentiellement à partir de céréales, de sucre, d'oléagineux et d'huiles usagées).

1. Définition et catégories

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant se transformer en énergie. On entend par matière organique aussi bien les matières d'origine végétale (résidus alimentaires, bois, feuilles) que celles d'origine animale (cadavres d'animaux, êtres vivants du sol).

Il existe trois formes de biomasse présentant des caractéristiques physiques très variées :

- les solides (ex : paille, copeaux, bûches) ;
- les liquides (ex : huiles végétales, bioalcools) ;
- les gazeux (ex : biogaz).

La biomasse est une réserve d'énergie considérable née de l'action du soleil grâce à la photosynthèse. Elle existe sous forme de carbone organique. Sa valorisation se fait par des procédés spécifiques selon le type de constituant.

La biomasse n'est considérée comme une source d'énergie renouvelable que si sa régénération est au moins égale à sa consommation. Ainsi, par exemple, l'utilisation du bois ne doit pas conduire à une diminution du nombre d'arbres.

La **biomasse** (matière végétale) est une **source d'énergie renouvelable**. Grâce au processus de **photosynthèse**, les plantes captent l'énergie du soleil. Quand les plantes sont brûlées, elles libèrent l'énergie du soleil qu'elles contiennent. De cette façon, la biomasse fonctionne comme une sorte de stock naturel de l'énergie solaire. Tant que la biomasse est produite de manière durable et que l'utilisation n'excède pas l'exploitation, le **stock est inépuisable**.

En général, il existe deux approches principales concernant les plantes utilisées pour la production d'énergie :

- Les **plantes cultivées** spécialement pour l'utilisation d'énergie.
- L'**utilisation des résidus de plantes** utilisés pour autre chose.

En fonction du climat, du milieu naturel et d'autres facteurs, la méthode préconisée peut varier.

Pour faire simple, il existe deux façons d'utiliser la biomasse :

- Soit **convertir directement la biomasse en énergie** sous forme de chaleur ou d'électricité.

- Soit **convertir la biomasse en biocarburants liquides** ou en **biogaz combustible**. Les

possibilités d'actions dépendent de la nature de la ressource de biomasse.

1- La biomasse et l'homme

Cela fait bien longtemps que l'on utilise la biomasse pour produire de l'énergie : il y a 400 000 ans, l'homme a appris à maîtriser le feu en brûlant du bois. Depuis, il s'en est toujours servi pour se chauffer, s'éclairer ou encore cuire sa nourriture. La biomasse est aujourd'hui encore la source principale, voire unique, d'énergie pour près de la moitié de l'humanité !

La biomasse est une énergie renouvelable directement produite par de la matière végétale.

2. D'où provient la biomasse ?

Les principales provenances de la biomasse sont :

- l'agriculture,
- la forêt,
- les milieux marins et aquatiques,
- les haies, les parcs et jardins (déchets verts),
- les industries et activités humaines ayant traité de la matière d'origine vivante, y compris du bois (industries agro-alimentaires, papetières, de transformation du bois, etc...) et générant des co-produits, des déchets organiques (notamment les boues de stations d'épuration) ou des effluents d'élevages.

On distingue trois sources principales de biomasse :

- ⊙ **La biomasse ligneuse**, comme le bois, les feuilles mortes, la paille ou le fourrage qui peuvent être utilisés pour le rendement énergétique de la biomasse. En règle générale, la biomasse ligneuse est convertie par voie sèche.
- ⊙ **La biomasse à glucide** comme les céréales, la betterave sucrière et la canne à sucre dont la valorisation se fait par conversion biologique, c'est-à-dire par fermentation ou distillation.
- ⊙ **La biomasse oléagineuse** qui regroupe les plantes riches en lipide comme le colza et le palmier à huile. La biomasse oléagineuse est principalement destinée à servir de biocarburants.

2. 1. Que peut-on faire à partir de la biomasse ?

La biomasse comme biocombustible pour produire de la chaleur et de l'électricité :

- ⊙ Le bois, sous la forme traditionnelle de bûches mais aussi de plaquettes forestières (sous-produits d'exploitation forestière broyés), d'écorces, de bois de récupération. Densifié, notamment pour les particuliers, le bois peut être présenté parfois sous forme de granulés ou de briquettes.
- ⊙ La paille, mais aussi des résidus de culture et des productions dédiées, peuvent être utilisés comme combustibles.
- ⊙ On peut également brûler à l'échelle industrielle du marc de raisin, des noyaux de fruits, des déchets d'usines papetières (liqueurs noires, boues papetières), des déchets de collectivités, etc. et aussi du biogaz issu de la fermentation de déchets divers mis en décharge ou traités dans des méthaniseurs (déchets verts, effluents d'usines agroalimentaires, déjections animales...).

2. 2. La biomasse est-elle toujours renouvelable ?

En principe oui, tant que le milieu où prospèrent les espèces vivantes qui la produisent n'est pas dégradé et que la production de biomasse y est renouvelée. Toutefois, la durée du cycle concerné est extrêmement variable (quelques heures dans un fermenteur industriel ; un an pour du blé, du colza ou de la betterave ; 30 à plus de 200 ans pour les arbres forestiers), ce qui n'est pas sans conséquence en termes de disponibilité et de gestion durable. C'est le caractère renouvelable de la biomasse qui lui confère son intérêt pour réduire les émissions de gaz carbonique (CO₂) car le bilan net de celles-ci est théoriquement nul sur la durée d'un cycle de production-consommation.

2. 3. Enjeux et contraintes de l'utilisation de la biomasse

Rappelons quelques faits :

- La population mondiale est croissante et vieillissante. Sa consommation alimentaire et énergétique se développe à un rythme élevé.
- Les ressources fossiles pétrolières et gazières s'épuisent.
- La surface agricole productive par habitant se réduit à l'échelle de la planète.
- Le réchauffement climatique se poursuit, perturbant l'environnement et les activités humaines. Dans ce cadre général, le développement des usages de la biomasse répond à de nombreux enjeux mais se heurte à différentes contraintes.

2. 4. Utilisation de la biomasse dans le monde

La biomasse est de plus en plus utilisée car les carburants deviennent de plus en plus rares et chers mais la vague écologique permet à cette production d'énergie renouvelable d'être de plus en plus utilisée. Dans le monde, l'électricité provient de 1,1 % de la biomasse et elle représente 6% des énergies renouvelables.

Cette énergie ne pourrait pas subvenir à la consommation d'énergie mondiale mais pourrait en couvrir 3,3 %.

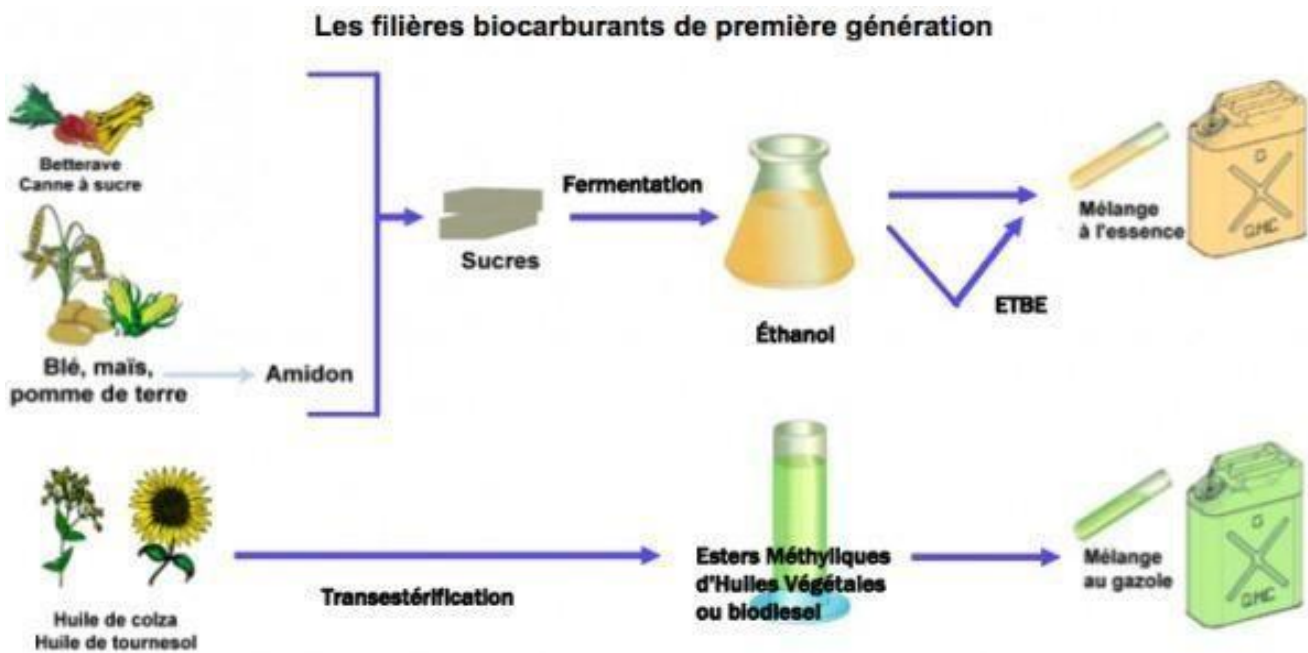


Figure59. Les filières des biocarburants de première génération.

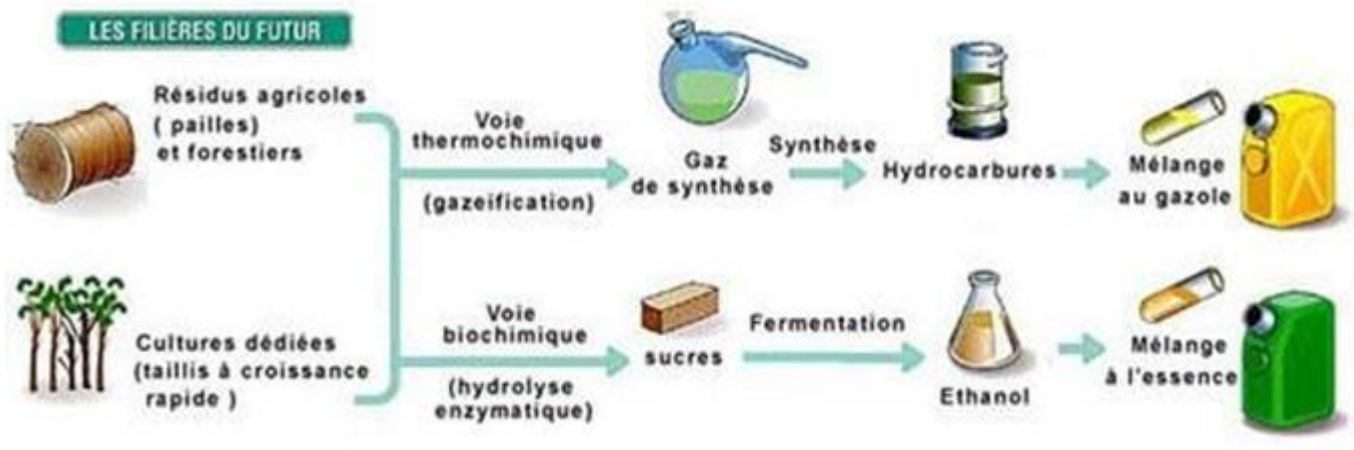


Figure 60. Les filières des biocarburants de deuxième génération.

2. 5. Comment valoriser la biomasse ?

Il existe plusieurs méthodes valables pour transformer la biomasse en forme d'**énergie utilisable**. La valorisation de la biomasse dépend directement de sa nature, c'est pourquoi il existe trois grandes méthodes de conversion : la **conversion thermique**, la **conversion biologique** et la **conversion chimique**.

La **conversion thermique** s'effectue par combustion, gazéification, torréfaction et pyrolyse. L'exemple le plus connu est celui du bois dont la combustion produit une chaleur non négligeable et utilisée par l'homme depuis la nuit des temps.

La **conversion biologique** est obtenue soit par fermentation soit par distillation. Un des cas les plus marquants de la conversion biologique est celui des biogaz comme le méthane qui est créé par la matière organique en décomposition. L'intérêt d'utiliser le méthane est double. Dans un premier temps, l'utilisation de ce puissant gaz à effet de serre évite sa dispersion dans l'atmosphère. Ensuite, le méthane est très énergétique. Il est à son tour transformé par combustion pour obtenir soit de la vapeur soit de la chaleur, selon les utilisations.

La dernière est la **conversion chimique** où l'on utilise des produits chimiques pour transformer la biomasse en produit énergétique.

2. 6. Avantages et inconvénients de la biomasse

*Les avantages de la biomasse

Le plus grand avantage de l'**énergie de la biomasse**, c'est qu'elle est **renouvelable**. Les plantes et les arbres peuvent être cultivés afin d'être utilisés.

Un autre avantage majeur de la biomasse est qu'elle aide à la **gestion des déchets solides**. Chaque jour, des millions de tonnes de déchets solides sont produits, dont notamment les **déchets biodégradables**. Lorsque les déchets sont utilisés comme biomasse, on répond à deux demandes : la baisse de la pollution et l'augmentation des ressources énergétiques.

***Les inconvénients de la biomasse**

Par rapport aux **combustibles fossiles**, l'**énergie de la biomasse** est très chère. C'est avant tout dû au coût de la recherche. Avec le temps et les avancées techniques, l'énergie de la biomasse devrait être plus abordable.

Ensuite, il est important de distinguer les différentes sources de biomasse. Certains procédés de combustion, notamment avec le bois sont de forts producteurs de CO₂, donc aussi nocifs que les **énergies fossiles**.

Certaines sources, bien que dites « renouvelables » nécessitent une gestion raisonnée. C'est le cas des forêts. Une sur utilisation de la **biomasse ligneuse** augmenterait le phénomène de déforestation croissante et est considérablement nuisible pour l'équilibre environnemental naturel.

***Complément de connaissances**

-Qu'est-ce qu'une énergie marine ?

Les énergies marines dépendent des ressources naturelles des eaux de la mer et des océans. Elles permettent de produire de l'électricité grâce aux flux naturels d'énergie des courants et des marées, et à la matière marine, exploités dans différents types d'installations.

L'eau recouvre en grande partie notre planète, principalement à travers les mers et les océans. Elle constitue donc une source d'énergie importante, aujourd'hui encore peu exploitée.

Les énergies marines n'émettent aucun gaz à effet de serre et leur matière première est disponible dans de nombreux pays du monde.

-Les différentes énergies marines

➤ L'énergie des marées :

Dans une usine marémotrice, la force du flux et du reflux de la marée est utilisée pour produire de l'électricité en temps réel.

Le fonctionnement d'une usine marémotrice est un peu identique à celui d'une centrale hydroélectrique de basse chute :

- ✚ En montant et en descendant, la marée fait tourner des turbines.
- ✚ Les turbines font à leur tour fonctionner un alternateur qui produit un courant électrique alternatif.
- ✚ Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à très haute et haute tension.

➤ L'énergie des courants marins :

L'énergie des courants marins est captée pour produire de l'électricité grâce à des hydroliennes, comme les éoliennes le font avec la force des vents.

Leur fonctionnement est aussi simple que celui d'une éolienne :

1. La force des courants marins actionne les pales d'une ou plusieurs hélices.
2. L'énergie mécanique produite par la rotation des pales est transmise à un alternateur.
3. L'alternateur produit de l'énergie électrique, acheminée par des câbles sous-marins jusqu'au rivage.

Ce mode de production d'énergie possède de nombreux atouts : il est prévisible : les marées, donc le mouvement des courants, peut être calculées à l'avance il occupe peu d'espace : du fait de la densité de l'eau, les machines peuvent donc être plus compactes il possède un gros potentiel du fait des courants qui baignent les côtes de nombreux pays dans le monde.

➤ **Les autres sources d'énergies marines :**

D'autres modes de production d'électricité, actuellement en recherche ou expérimentation à des stades plus ou moins avancés, utilisent les richesses de la mer telles que :

→ **l'énergie thermique des mers** qui exploite la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans.

→ **l'énergie des vagues et de la houle.**

→ **l'énergie osmotique**, qui exploite le phénomène d'osmose entre l'eau douce et l'eau salée, par exemple au voisinage des estuaires, où ces deux eaux se mélangent.

→ **la biomasse marine**, qui exploite les algues et le phytoplancton par gazéification, fermentation ou combustion.

La Biomasse marine

- La vie sur Terre est apparue dans le milieu marin il y a environ 3,8 milliards d'années alors que les premières espèces terrestres remontent, quant à elles, à 400 millions d'années à grande diversité des espèces marins importante.
- 220 000 substances naturelles répertoriées, seules 10 % sont d'origine marine à les organismes marins ont été moins étudiés que leurs analogues terrestres.
- Existence de milliers d'espèces marines.

1. Définition :

Le terme de biomasse désigne dans le domaine des bioénergies l'ensemble des matières organiques (ici les algues) ayant la possibilité de devenir des sources d'énergie de diverses manières notamment par combustion, par méthanisation (dans le cas des biogaz) et par transformation chimique.

2. Application à la production d'énergie :

La grande diversité existante au niveau des algues pourrait permettre de créer des agro-carburants en extrayant les sucres et les huiles. En effet il existerait entre 200 000 et un million d'espèces d'algues.

Le potentiel théorique de cette énergie est extrêmement important ; il serait 10 fois supérieur à celui des espèces oléagineuses terrestres.

3. Limites :

Comme pour bien des énergies le principal frein à son développement se situe au niveau financier ; en effet les scientifiques sont actuellement à la recherche des algues les plus rentables en fonction des saisons et des lieux où elles sont cultivées afin d'en faire une énergie accessible à tous mais aussi une énergie stable. Toutefois il n'y a que peu d'étude sur la surface nécessaire à la culture de ses algues ainsi qu'à leurs éventuels impacts sur l'environnement.

-Importance des microalgues

Outre l'intérêt écologique considérable comme agents épurateurs des eaux usées, les algues microscopiques jouent un rôle important dans de nombreux domaines (voir Figure en dessous) :

Elles sont utilisées en agriculture comme engrais biologique pour la fertilisation des sols pauvres, en particuliers les sols sahariens squelettiques dont la structure est amoindrie par l'abondance des ions sodium dans l'eau d'irrigation, ce qui engendre des conditions asphyxiantes très défavorables ; ainsi l'apport d'algues microscopiques riches en azote à ce type de sol, peut corriger l'insuffisance en matière organiques. Par ailleurs, ces mêmes algues représentent une source potentielle de protéines alimentaires non négligeable (50 à 60 % du poids sec) pour l'homme et l'animal qu'il soit terrestre ou aquatique. En effet, ces organismes sont considérés comme le premier maillon de la chaîne alimentaire (phytoplancton) pour les producteurs secondaire (poissons, crustacés, ...) ; elles représentent indéniablement le nutriment essentiel en aquaculture (croissance et développement des poissons).

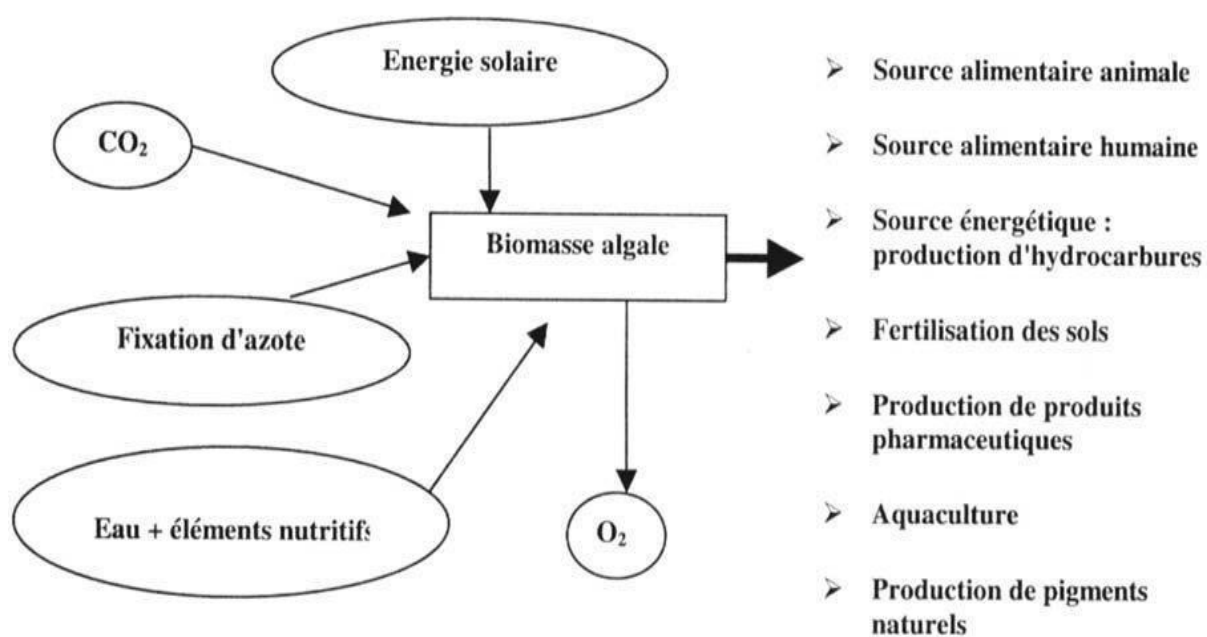


Figure 61. Domaines d'application des algues microscopiques.

A titre indicatif, pour une superficie de 3/8 de celle de l'hydrosphère, la végétation terrestre représente un stock de biomasse 1000 fois plus supérieur à celui des végétaux aquatiques : 10^9 t en poids sec convertie en tep (tonne équivalent pétrole) (Fig. 2). La productivité énergétique de ces végétaux est importante du fait des vitesses de croissance et des successions des populations dans le temps.

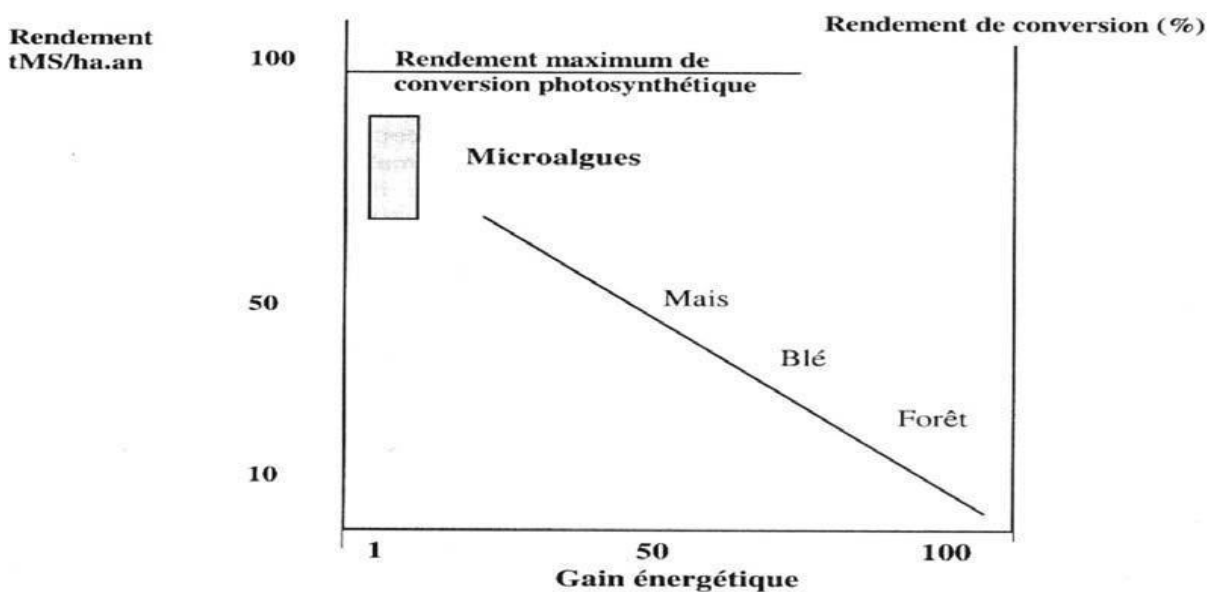


Figure 62. Place de la biomasse algale par rapport aux autres biomasses.

Le rendement maximum de conversion photosynthétique est égal au produit du rendement photochimique par rendement absorption diminué de l'énergie de maintenance.

- Pour les plantes vertes et les algues, ce rendement est de 6,6 %.
- Pour les Cyanobactéries, il est supérieur ou égal à 12 %.

Les microalgues fabriquent aussi une certaine catégorie de produits chimiques qui leurs sont propres : agar-agar, alginates, carraghénanes et bien d'autres polysaccharides. Certaines sont capables de s'adapter à des salinités importantes en accumulant dans leurs cellules du glycérol (Dunaliella), du sorbitol (Stichococcus), du mannitol (platymonas).

Les microalgues sont des espèces aquatiques à structures relativement molles. Elles sont totalement dépourvues de lignines, ce qui pourrait en faire une biomasse très avantageuse pour un certain nombre de fermentations telles que la production de méthane ou même d'alcools à des fins énergétiques. D'autres fabriquent des hydrocarbures (*Botryococcus*, *Dunaliella*), des lipides (*Neochloris*, *Chlorococcum*), d'autres encore des antibiotiques (*Stichochrysis*).

Parmi les espèces d'algues autochtones riches en protéines et en acides gras essentiels, à intérêt agroalimentaire, nous citerons tout particulièrement les spirulines : algue halotolérante extrême du groupe des Cyanobactéries et deux chlorophytes : *Chlorella* et *Scenedesmus*.

La présence de ces algues a été localisée dans de nombreux sites : milieu marin, eaux douces, sebkhas et chotts. La disponibilité de ces ressources nous amène à développer un programme permettant leurs valorisations et leurs mises en œuvre industrielle.

Conclusion

A l'heure où l'utilisation des **énergies fossiles** et **nucléaires** est remise en question, la biomasse apparaît comme une solution durable et positive, du moins sur certains points. La recherche est en cours et il est indéniable que certains procédés tels que les **biogaz** ou les **biocarburants** sont de réelles solutions. Par contre, il est tout aussi important de réaliser que dans l'**énergie de biomasse**, certains procédés comme la surexploitation du bois représentent un danger environnemental majeur auquel il faut également trouver une alternative.

Chapitre IV :

Mesure et conservation

de

la Biodiversité

Introduction

Depuis quelques décennies, on constate une dégradation de la biodiversité à tous les niveaux. Nous sommes au sein de la sixième grande vague de destruction de l'histoire de la vie sur terre. Cette fois la menace qui plane sur notre planète, ne vient pas d'un volcan ou de la chute d'une météorite. Pour la première fois, un être humain détruit massivement la vie qui l'entoure, des fois délibérément mais le plus souvent inconsciemment. Et cet être vivant, c'est l'homme. Aujourd'hui les espèces meurent 100 à 1 000 fois plus vite qu'avant l'entrée en scène de l'homme.

Au niveau international, cinq causes majeures d'atteinte à la biodiversité sont aujourd'hui identifiées :

- *la fragmentation et la destruction des habitats,*
- *les invasions biologiques,*
- *les changements climatiques,*
- *la pollution et la surexploitation des ressources.*

Face aux ampleurs de l'érosion de la biodiversité et à toutes les menaces pesant sur elle, il est important de prendre des mesures de protection et de conservation.

Cependant, suite à une prise de conscience générale, les hommes ont mis en œuvre divers moyens pour protéger et conserver ce patrimoine naturel et génétique. En effet, préserver la biodiversité c'est aussi préserver ce qui apporte nourriture, santé, sources d'énergie, vêtements, etc.

La conservation est donc l'ensemble de pratiques comprenant la protection, la restauration et l'utilisation durable et visant la préservation de la biodiversité, le rétablissement des espèces ou le maintien des services écologiques pour les générations actuelles et futures. Contrairement à la préservation, la conservation assure le maintien à long terme des communautés naturelles. Elle a trois principaux objectifs (Primack *et al.*, 2012) :

- Promouvoir une exploitation rationnelle des richesses de la nature et une utilisation durable des ressources biologiques (*sans réduire les espèces ni les habitats*).
- Protéger la valeur économique de la diversité biologique : la biodiversité est un réservoir de

molécules d'intérêt (*pharmaceutiques, biotechnologiques, etc.*).

○ Maintenir les grands équilibres de la biosphère : la biodiversité est la base du fonctionnement des écosystèmes (*cycle de l'eau, cycles biogéochimiques, etc.*).

- Quelques solutions pour la préservation de la Biodiversité 1. Protéger les zones humides:

- Eviter d'assécher les zones humides (pour en faire, par exemple, des terres agricoles).
- Les marécages sont des zones humides retenant l'eau lorsque surviennent de fortes pluies. S'ils ne sont plus là pour jouer leur rôle d'éponge, il y aura beaucoup plus d'inondations.
- Des **réseaux d'alerte et de lutte spécifique** sont mis en place pour protéger les zones humides des **espèces exotiques envahissantes** introduites par l'homme.

2. Préserver les haies :

- La destruction des haies est la cause de nombreux bouleversements.
- Elles jouent un rôle dans l'atténuation des vents violents, retiennent l'eau en cas de forte pluie et servent d'habitat à de nombreuses espèces d'oiseaux ou de rongeurs. Aujourd'hui, dans de nombreuses régions, les agriculteurs créent de nouvelles haies.

3. Campagnes de sensibilisation :

- Affichages et cours dans les écoles.....
- Expositions (dans les moyens de transport...).

4. Voyager responsable :

- Le commerce, notamment international, est une des causes principales de la disparition des espèces.
- A l'occasion d'un voyage à l'étranger, d'une manière générale, il est interdit de ramener un animal, de rapporter une plante ou un produit dérivé (souvenir, objet de décoration,). Il pourrait s'agir d'une espèce menacée.
- Interdiction du commerce des espèces menacées.

- Les espèces menacées sont inscrites sur des listes rouges (liste rouge de l'IUCN ...) et interdites d'exportations.

***IUCN** : Union internationale pour la conservation de la nature / International Union for Conservation of Nature.



Figure 63. Quelques exemples d'animaux menacés.

5. Adopter le passeport vert :

Lancé par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, il a pour but de sensibiliser les voyageurs à certains principes qui font du tourisme une activité respectueuse de l'environnement.

6. Le bon choix :

- Certaines essences de bois proviennent de forêts lointaines ou protégées.
- Choisissez de préférence un bois local et vérifiez qu'il est labellisé **PEFC** ou **FSC**.

*Le label **PEFC** (Pan European Forest Certification) et le label **FSC** (Forest Stewardship Council) sont attribués aux forêts gérées de manière durable.

7. Le recours à l'agriculture et la lutte biologique :

- Dans les jardins comme dans les prairies et les champs, la richesse de la faune et de la flore est considérable et doit être préservée.
- Pour lutter contre les "nuisibles" (insectes ravageurs), qui ravagent les cultures, le recours aux produits chimiques n'est pas nécessaire.
- Les pesticides de synthèse tuent la biodiversité, y compris la microfaune du sol.
- Les vers de terre sont essentiels à la fertilisation et au maintien des sols cultivés. En s'enfonçant à plus d'un mètre, ils renouvellent les minéraux de la couche superficielle et leurs déjections améliorent l'humus.

8. Conserver toutes les variétés des plantes cultivées :

- Il est important de conserver la diversité génétique des plantes qui nous sont utiles, y compris les variétés rares ou anciennes, **pour nous assurer la sécurité alimentaire et rendre les plantes plus résistantes à toutes formes d'agressions (maladies, sécheresses etc. ...)**.
- Il est important de conserver toutes les espèces de plantes (utiles ou en danger), et leurs variétés dans des jardins, arborétums et vergers conservatoires. Méli-mélo de tomates : 438 variétés de tomates sont inscrites au catalogue français du GNIS (Groupement National Interprofessionnel des Semences et Plants). Les variétés de tomates sont aussi diverses que les tomates ananas, les noires de Crimée, les pomodoris de Corbara de Naples ...

9. Lutter contre les feux d'origine humaine :

- Il est important de sensibiliser les hommes aux dégâts causés par les feux d'origine humaine répétés et qu'il existe des solutions alternatives à la culture sur brûlis et aux brûlages incontrôlés de pâturages.

10. Mise en place des réseaux d'observateurs de la biodiversité - Vigie-Nature ...

- On ne peut préserver que ce que l'on connaît bien. Or nous connaissons plus de 2 millions d'espèces, mais il reste probablement 10 à 30 fois plus d'espèces à découvrir.
- Les réseaux d'observateurs volontaires de la biodiversité - **Vigie-Nature** - jouent un rôle fondamental dans la collecte d'information sur la Nature.

***Vigie-Nature** est un programme de sciences participatives ouvert à tous les curieux de nature, du débutant au plus expérimenté.

11. Rôle des zoos dans la préservation de la biodiversité :

Les zoos sont des centres de conservation, de recherche et de protection d'espèces menacées, ayant pour premier objectif leur préservation. Des programmes d'élevages en captivité sont mis en place afin de réintroduire certaines espèces disparues dans leur milieu d'origine. Par exemple, La reproduction en captivité de l'**Oryx** a permis de sauver cette antilope d'une disparition certaine.



Figure 64. Premier petit oryx algazelle né le 15 avril 2010 à l'Institut de conservation biologique Smithsonian (SCBI, USA). (Les oryx algazelles ont disparu à l'état naturel).



Figure 65. Tortue rayonnée très menacée à Madagascar et élevée au zoo de Mulhouse.

12. Soutenir les associations de protection de la nature :

Il est également loisible à chacun de soutenir et de rejoindre des associations de protection de la nature comme France Nature Environnement, WWF, la Ligue pour la protection des oiseaux (LPO) ou encore les Amis de la Terre, GREENPEACE etc., qui œuvrent au quotidien pour la sauvegarde de la biodiversité.

13. L'éducation à l'environnement :

Le recyclage de nos déchets, les économies d'énergie et la lutte contre le gaspillage sont indispensables à la sauvegarde de la biodiversité. Par exemple, le recyclage d'une tonne de papier permet de faire l'économie de 2 tonnes de bois, de 100 000 litres d'eau et de 200 kg de pétrole. Le tri sélectif des déchets permet donc de faire de nombreuses économies et limite la destruction de certains habitats.

Vous aussi, contribuer à sauvegarder la biodiversité : par exemple en triant vos déchets, en évitant le gaspillage de l'eau, en respectant votre environnement.

14. Mettre en place une gouvernance écologique mondiale :

Qui doit :

1. Lutter contre le dérèglement climatique,
2. Agir ensemble pour sauvegarder la biodiversité,
3. Combattre les pollutions et préserver la santé,
4. Faire de l'eau un enjeu partagé,
5. Inventer la croissance écologique au travers du changement des mentalités, des modes de production et de consommation.

***La biodiversité c'est :**

1. Une priorité scientifique (comprendre sa genèse, ses fonctions et enrayer son érosion,
2. Un enjeu économique (ressources biologiques et génétiques à valoriser et partager),
3. Un enjeu éthique (droit à la vie des espèces),
4. Un enjeu social (partage des valeurs et des avantages).

15. Les Conventions, traités et protocoles :

- La Convention de Ramsar (1971).
- La Convention de Washington ou CITES (1973).
- La Convention de Berne (1979).
- La Convention de Bonn (1982).
- Le "Sommet de la Terre" de Rio (1992) et la CDB (1993).
- Le "Sommet de la Terre" de Johannesburg (2002).
- Les Protocoles de Kyoto (1997), Copenhague (2009) et Cancún (2010).

- La Convention de Ramsar (1971)

« La Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971) - connue sous le nom de « Convention de Ramsar » - est un traité intergouvernemental qui incarne les engagements de ses États membres à maintenir les caractéristiques écologiques de leurs zones humides d'importance internationale et à planifier « l'utilisation rationnelle », ou utilisation durable, de toutes les zones humides se trouvant sur leur territoire. »

- La Convention de Washington ou CITES (1973)

*CITES signifie Convention on International Trade of Endangered Species.

« La Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, connue par son sigle CITES ou encore comme la Convention de Washington, est un accord international entre États. Elle a pour but de veiller à ce que le commerce international des spécimens d'animaux et de plantes sauvages ne menace pas la survie des espèces auxquelles ils appartiennent. »

- La Convention de Berne (1979)

C'est une convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe :

« Cette Convention a pour objet d'assurer la conservation de la flore et de la faune sauvages et de leur habitat naturel. Elle accorde une attention particulière aux espèces (même migratrices) menacées d'extinction et vulnérables.

Cette convention a un triple objectif :

- assurer la conservation de la flore et de la faune sauvages et de leurs habitats Naturels,
- assurer et encourager la coopération entre États,
- accorder une attention particulière aux espèces, dont les espèces migratrices, menacées d'extinction et vulnérables.

- La Convention de Bonn (1982)

« La convention de Bonn a pour objectif la conservation des espèces migratrices à l'échelle mondiale. La faune sauvage doit faire l'objet d'une attention particulière, en raison de son importance mésologique, écologique, génétique, scientifique, récréative, culturelle, éducative, sociale et économique.

- Le « Sommet de la Terre » de Rio (1992) et la CDB (1993)

- La Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement s'est tenue à Rio de Janeiro au Brésil du 3 au 14 juin 1992. Plusieurs documents sont ainsi issus de cette conférence, dont :
- le programme Action 21 ou « agenda 21 »,
- la Convention des Nations Unies sur la diversité biologique (CDB).

« La CDB (...) cherche à anticiper et prévenir les causes de la réduction ou de la perte sensible de la diversité biologique à la source et s'y attaque, en raison de sa valeur intrinsèque et de la valeur de ses éléments constitutifs sur les plans environnemental, génétique, social, économique, scientifique, éducatif, culturel, récréatif et esthétique. »

"Sommet de la Terre" ou "Sommet de Rio" 1992: Des rencontres décennales entre dirigeants mondiaux sont organisées depuis 1972 par l'ONU, le deuxième à Nairobi (Kenya) en 1982, l'objectif principal est de définir les moyens de stimuler le développement durable au niveau mondial. Les 178 pays démontrent leur capacité collective à gérer les problèmes naturels (Réchauffement planétaire, déforestation, désertification) et affirment la nécessité du respect, la préservation et la restauration de l'environnement.

- Le « Sommet de la Terre » de Rio (1992) et l'Agenda 21

Avec ses 40 chapitres, ce plan d'action pour le XXI^e siècle décrit les secteurs où le développement durable doit s'appliquer partout où les activités humaines ont un impact sur l'environnement (eau, agriculture, déchet, pauvreté, santé...), que ce soit au niveau global, national, local. Les acteurs sont multiples : organisations des Nations Unies, gouvernements, associations, etc.

- Le « Sommet de la Terre » de Johannesburg (2002)

Ce sommet - aussi appelé « Sommet mondial sur le développement durable » (SMDD) - s'est tenu du 26 août au 4 septembre 2002 à Johannesburg (Afrique du Sud) sous l'égide des Nations unies.

Le sommet a adopté un plan d'action en 153 articles, avec des préoccupations sociétales évidentes : pauvreté, consommation, ressources naturelles, globalisation, respect des Droits de l'Homme...

Les thèmes prioritaires sont l'eau (évolution de la ressource, potabilisation/consommation, assainissement, distribution, l'énergie (état et évolution de la consommation, répartition, développement des énergies renouvelables), la productivité agricole (appauvrissement de la ressource en sol), la biodiversité et la santé.

- Les Protocoles de Kyoto (1997), Copenhague (2009) et Cancún (2010)

Ces protocoles invitent les États signataires à se donner des objectifs contraignants de réduction de leurs émissions de GES (« gaz à effet de serre ») : il s'agit donc de se donner un dispositif visant à une réduction du réchauffement climatique (réchauffement de 2°C par rapport à l'ère préindustrielle).

La Conférence des parties à la convention sur les changements climatiques (ou « COP 16 »), s'est tenue à Cancún (Mexique) du 29 novembre au 10 décembre 2010 : elle fait suite à l'accord de Copenhague de 2009 (non contraignant), lui-même élaboré pour préparer les suites du Protocole de Kyoto...

- Le Protocole de Cancún (2010) : principaux résultats

- A la suite des accords de Copenhague, Cancún rappelle aux pays les plus industrialisés qu'ils se sont engagés à verser 22 milliards € aux pays les moins avancés d'ici 2012. Cette aide financière doit permettre à ces pays de diminuer leurs émissions au profit d'alternatives moins polluantes afin de limiter le réchauffement climatique moyen à 2°C. Dès 2020, les pays les plus riches se sont engagés à verser annuellement 75 milliards € pour aider les pays en développement face aux problèmes climatiques.

Aujourd'hui, de nombreuses structures agissent à l'échelle planétaire, nationale ou locale en faveur de la diversité biologique : Instance internationales, collectivités locales, associations, etc; elles marquent une réelle prise de conscience depuis une cinquantaine d'années de la nécessité de préserver la biodiversité

- UICN / IUCN : Union internationale pour la conservation de la Nature (Fontainebleau, 1948).
- WWF (World Wildlife Fund for nature) - Fond Mondial pour la Nature (1961).
- Greenpeace (1971).
- WCMC / UNEP: World Conservation Monitoring Centre (2000).

16. Conservation de la biodiversité (in situ et ex situ)

Gérer les ressources génétiques consiste à inventorier, caractériser et évaluer, conserver, régénérer et diffuser. Trois stratégies globales de gestion sont utilisées.

16. 1. La conservation in situ :

Consiste à maintenir les organismes vivants dans leur milieu naturel. Ce type de conservation permet aux communautés animales et végétales de poursuivre leur évolution en s'adaptant aux changements de l'environnement. Exemple : les parcs nationaux et parc régionaux.

16. 2. La conservation ex situ :

C'est la préservation des espèces en dehors de leur habitat naturel dans des jardins zoologiques et botaniques des aquariums publics.



Figure 66. Exemples de conservation *in situ*.

A : Réserve naturelle de Penalara (Espagne), **B :** Réserve naturelle de Kaza, **C :** Réserve naturelle des Babors (Algérie), **D :** Aire protégée Tour de diable (Etats Unis).



Figure 67. Exemples de conservation *ex situ*.

A : Parc national de Groenland (Danemark), **B :** Parc national de Yellowstone (Etats Unis).

Certains matériels biologiques (semence, ovocytes, embryons, cellules somatiques, ADN, etc.) sont prélevés à une époque donnée sur des animaux vivants et conservés congelés, en général dans l'azote liquide à -196°C : c'est le principe des cryobanques (Lévêque et Mounolou, 2008).

- Les aires protégées

Une aire protégée (AP) *protected area, (PA) est « un espace géographique clairement défini, reconnu, géré, par des moyens légaux (juridiques) ou autres, afin de favoriser la conservation à long-terme de la nature et des services éco systémiques et des valeurs culturelles qui y sont liés »*

NB/ Aire marine protégée (AMP) quand l'espace géographique bénéficiant d'un statut de protection comprend en majorité ou en totalité une zone marine

Le concept a été généralisé par la Convention sur la diversité biologique (CDB), qui recommande de protéger par des mesures spécifiques les zones marines et côtières particulièrement menacées, En 1992, à Rio de Janeiro (Brésil) s'est déroulée la conférence des nations unies pour l'environnement et le développement. Les 178 pays présents, démontrent leur capacité collective à gérer les problèmes naturels (réchauffement planétaire, 51 déforestation, désertification...) et affirment la nécessité du respect, la préservation et la restauration de l'environnement

Exemples :

Plus de 100 000 aires protégées existent dans le monde et leur nombre ne cesse d'augmenter, les dix aires protégées les plus vastes sont :

1. D'une superficie de 972 000 kilomètres carrés, le Parc national du Groenland est le plus vaste,
2. L'Aire de gestion de la faune sauvage Ar-Rub'al-Khali en Arabie Saoudite qui s'étend sur 640 000 kilomètres carrés vient en seconde place,
3. Le Parc marin du récif de la Grande-Barrière en Australie (345 000 km²) est la troisième aire protégée la plus vaste,

4. Réserve de l'écosystème du récif corallien des îles Hawaïennes du Nord-Ouest (Etats-Unis) avec plus de 345 000 kilomètres carrés,
5. La Réserve de forêt amazonienne en Colombie (320 000 km²),
6. La Réserve naturelle de Qiang Tang en Chine (près de 250 000 km²),
7. L'Aire de gestion de la faune sauvage de Cape Churchill au nord du Canada (140 000 km²)
8. L'Aire de gestion de la faune sauvage du Nord en Arabie Saoudite (100 000 km²),
9. Réserve biosphère de Alto Orinoco-Casiquiare au Venezuela et en Bolivie (80 000 km²) ,
10. L'Aire autochtone de Valo do Javari au Brésil (80 000 km²) (23,24).

- **Les aires protégées en Algérie :**

Par son extrême diversité écologique, l'Algérie se situe parmi les pays méditerranéens les plus originaux, sans égal sur les plans bioclimatique, floristique et faunistique. Cette diversité a engendré une richesse de paysages et de milieux naturels de grandes qualités, qui lui confère une valeur patrimoniale exceptionnelle dans le domaine de l'environnement naturel. Afin de protéger ce patrimoine, l'Algérie a identifié un réseau d'aires protégées constitué de 11 parcs nationaux et 5 réserves naturelles qui englobent des écosystèmes uniques et représentatifs de la diversité biologique du pays.

1. Parc National de Taza:

Ce parc a pour objectif de protéger la flore et la faune surtout les espèces en voie de disparition ainsi que les sites géomorphologiques (Grottes et falaises). Sa superficie est de 3807ha de type côtier, il fait partie de la wilaya de jijel.

2. Le parc national d'El Kala:

Il englobe une zone humide unique en son genre et est classé réserve de la biosphère en 1990 par le programme MAB (Man and biosphère) de l'UNESCO (United nations Educationnal, scientific and cultural organisation (ONU)).

1- Le parc National de Gouraya :

Il s'étend sur une superficie de 2080ha de type côtier, il est situé au Nord -Est de Bejaïa.

2- Parc National de Theniet El Had :

- Protéger et développer le patrimoine faunistique et floristique (forêt de Cèdre)
- Sensibiliser les visiteurs aux différents aspects de la protection de la nature
- Développer et organiser la recherche scientifique liée au milieu naturel. Il s'étend de 3435ha, il fait partie de la wilaya de Tissemsilt.

3- Parc national de Belezma :

A pour objectif de sauvegarder les 15000hectares de cèdre (menacée de disparition, de permettre et de maintenir la remontée des espèces animales, de développer le tourisme tout en privilégiant les études techniques et la recherche scientifique en collaboration avec des instituts spécialisés.

4- Parc national de Chréa :

Il a pour objectif la protection des paysages naturels exceptionnels, des espèces animales et végétales menacées de disparition, offrir des possibilités de loisir et développer la recherche scientifique avec une superficie de 1351ha.

5- Parc National de Tlemcen : avec une superficie de 8225ha.

6- Le parc National de Djurjura :

Ce parc a été créé pour la sauvegarde de la faune en particulier le singe magot, de la flore , du sol, du sous-sol tous les écosystèmes présentant un intérêt particulier à préserver. Il se trouve dans la partie nord de l'Algérie à 150Km à l'Est d'Alger, il intègre des portions de territoires de Bouira et de Tizi Ouzou.

7- Parc National de Djebel Aïssa :

S'étend sur une superficie de 24400ha et situé dans la wilaya de Naama. Le Djebel Aïssa fait partie de l'ensemble des monts de Ksour, partie occidentale extrême de l'Atlas Saharien, il culmine à une altitude de plus de 2200m.

8- Le Parc National de l'Ahaggar :

Proposé sur la liste du patrimoine mondial de l'humanité par l'UNESCO en 1988 ; Il couvre une superficie de 450000 Km² , il se trouve à l'extrême Sud de l'Algérie. Il fait partie de la wilaya de Tamanrasset et possède un poste de contrôle à Timiaouine à Adrar.

9- Parc National du Tassili :

Les célèbres gravures rupestres, préhistoriques lui ont valu d'être inscrit parmi les biens du patrimoine mondial auprès de l'UNESCO et d'être classé comme première réserve saharienne de la Biosphère en 1986 auprès de la MAB (Man and Biosphère), Avec une superficie de 80000 Km².

- Les réserves naturelles d'Algérie :

1. Les réserves naturelles Marines des îles Habibas :

Sa superficie est de 2684 ha au large de la côte Algérienne, à l'ouest de la Baie d'Oran et de Mersa El Kebir.

2. La réserve naturelle de la Macta :

Elle a pour objectif de protéger et de maintenir l'équilibre écologique des espèces faunistiques et floristiques menacées d'extinction. Elle s'étale sur une superficie de 19750ha, les Marais de la Macta sont situés au Nord-Ouest de l'Algérie à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest de Mostaganem.

3. La réserve naturelle des Babors :

Elle vise à protéger les espèces endémiques de la flore et de la faune et leur reconstitution. Elle fut l'objet de discussions depuis 1930. Elle s'étend sur une superficie de 2367Ha, elle se trouve en bordure des Hauts plateaux de la région de Sétif. Pour la végétation, elle contient l'unique station du Sapin en Algérie, le cèdre, Chêne zeen, le chêne vert, le Sapin de Numidie.

4. La réserve naturelle de Mergueb :

En 1979 le Mergueb passe du statut de réserve naturelle de chasse à Réserve Naturelle. Sa superficie est de 13482Ha, est située à 55Km du Nord de Bousaâda. Elle présente un paysage de la Steppe à Alfa.

5. La réserve naturelle de Béni-Salah :

Elle est chargée de conserver et de protéger le Cerf de Barbarie (*Cervus elaphus barbarus*) espèce en voie de disparition. Elle a été créé en 1972/1973 par les services de forêts de la wilaya de Guelma en coopération avec l'assistance technique Canadienne.

Références Bibliographiques

- Aubertot J.N., J.M. Barbier, A. Carpentier *et al.* (2005). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France), 64 p.
- Andersen, R. A. et R. Arthur (2005). *Algal Culturing Techniques*. Boston: Elsevier Academic Press, 596 p.
- Baldauf SL (2008) An overview of the phylogeny and diversity of eukaryotes. *Journal of Systematics and Evolution* 46:263–273
- Barabé D., Cuerrier A., Quilichini A. (2012). Les jardins botaniques : entre science et commercialisation. *Natures Sciences Sociétés* 20, 334-342 p.
- Barberousse H. (2006). Etude de la diversité des algues et des cyanobactéries colonisant les revêtements de façade en France et recherche des facteurs favorisant leur implantation. Thèse magister. France, M ND'H N, 180p.
- Barrat-Segretain M.-H.. (1996). Strategies of reproduction, dispersion and competition in river plants: a review. *Vegetatio*, n° 123, pp. 13-37.
- Barrat-Segretain M.-H. & Bornette G. (2000). Regeneration and colonization abilities of aquatic plants fragments: effect of disturbance seasonality. *Hydrobiologia*, n° 421, pp. 31-39.
- Barrat-Segretain M.-H. *et al.* (1999). Regeneration and colonization of aquatic plants fragments in relation to the disturbance frequency of their habitat. *Hydrobiologie*, n° 145, pp. 111-127.
- Bessah G. (2005). Les parcs nationaux d'Algérie. Direction générale des forêts. Première réunion du Comité de pilotage du « Réseau des parcs –INTERREG IIICSud » Naples-Italie, 6 p.
- Bouchoukh. (2017). Cours de Botanique 2^{ème} année LMD, Université Constantine1, PP : 5-28-42-49-50.

- Cadoret, J. & Bernard, O. (2008). La production de biocarburant lipidique avec des microalgues : promesses et défis *Journal de la Société de Biologie*. 202, 201-211.
- Chantreau S ; Renaudin J-P, (2024). FLUORESCIENCES LES MANUELS VISUELS POUR LA LICENCE ; Biologie végétale, DUNOD.
- Chevassus-au-Louis B. (2008). La biodiversité : un nouveau regard sur ladiversité du vivant. II. Stabilité et utilité », *Cahiers Agricultures* 17, 51-57 p.
- Cuvillier A, Hoarau L, Frouin P, Bruggemann H, Letourneur Y. (2015). Seagrass beds as feeding territory for farming *Stegastes* spp.(Pomacentridae). *Marine Biodiversity*, 1-2.
- Cuvillier A, Villeneuve N, Cordier E, Kolasinski J, Maurel L, Farnier N, Frouin P (2016) Causes of seasonal and decadal variability in a tropical seagrass seascape (Reunion Island, South Western Indian Ocean). *Estuar Coast Shelf Sci*:In press.
- Delassus, L. (2015). *Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques*. Conservatoire botanique national de Brest. Document Technique. 52 p.
- De Reviere, 2002. *Biologie et phylogénie des algues*, 2 tomes. BELIN, 500 p.
- Derdour N, 2023. Inventaire des macroalgues de trois sites Stidia, Sablettes et Salamandre. Master en hydrobiologie marine et continentale Spécialité : BIORESSOURCES MARINES. Soutenu le 18/06/2023 : Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
- Dutartre A. et al. Plantes aquatiques d'eau douce : biologie, écologie et gestion. *Ingénieries-EAT*, 2008. n° spécial Plantes aquatiques d'eau douce : biologie, écologie et gestion, 160 p.
- FAO. (2014). Normes applicables aux banques de gènes pour les ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Ed. Rev. Rome. 182 p.
- Figuières C, Erdlenbruch K., Aulong S. (2008). Les critères d'évaluation de la biodiversité : propriétés et difficultés d'usage. *INRA Sciences Sociales*, 4-5, 8 p.

- Frouin P, A Cuvillier (2016) Herbiers de La Réunion. Feuille Marine actualités 2013-2015 des herbiers d'outre-mer, 18-19 Cook CDK (1990) Aquatic Plant Book. SPB Academic Publishin, The Hague.
- Gaston K.J. & Spicer J.I. (1998). Biodiversity. An introduction. Black-well Science Ltd.GASTON.
- K. J., 2000. «Global patterns in biodiversity». Nature, 405:220-227 p.
- J. Feldmann & M.-Th. L'Hardy-Halos. (1977). La multiplication végétative chez les Algues : ses principaux aspects morphologiques, Bulletin de la Société Botanique de France, 124:sup1, 13-41p.
- Larkum AWD, Orth RJ, Duarte CM (2006) Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation.
- Laurent E., Delassus L., Hardegen M .(2017). Méthodes d'inventaire et de cartographie des groupements végétaux. Guide méthodologique. Programme « Connaissance et cartographie des végétations sur de grands territoires : étude méthodologique ». Conservatoire botanique national de Brest, 42 p.
- Lecoindre, (2004). *Comprendre et enseigner la classification du vivant*. BELIN, 312 p.
- Lévêque C. & Mounolou J.C. (2008). Biodiversité : Dynamique biologique et conservation. 2^{ème} Edition. Dunod, Paris, France, 274 p.
- Lévêque C. (2008). *La biodiversité au quotidien : le développement durable et l'épreuve des faits*. IRD Editions. Paris, France, 286 p.
- Marcon E. (2015). Mesures de la Biodiversité. Master. Kourou, France. 268 p.
- Markert, B.A., Breure, A.M. & Zeichmeister H.G. (2003). Bioindicators & biomonitors: principles, concepts, and applications. Elsevier. Amsterdam. 997 p.
- Mason J.T, Christopher J.W. Mc Clure & Barber J.R. (2016). Anthropogenic noise impairs owl hunting behavior, *Biological Conservation* 199, 29-32 p.

- McKenzie L, Yoshida R .(2009). Seagrass-Watch. In: Proceedings of a Workshop for Monitoring Seagrass Habitats in Cape York Peninsula, Queensland.60p.
- Milian J. & Rodary E. (2010). La conservation de la biodiversité par les outils de priorisation : Entre souci d'efficacité écologique et marchandisation. *RevueTiers Monde* 202, 33-56 p.
- Ramade F. (2009). *Éléments d'Écologie. Écologie fondamentale*, 4e éd., Dunod, 668 p.
- Pereira et Neto.(2015). Marine algae: biodiversity, taxonomy, environmental assessment, and biotechnology. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Primack R.B, Lecomte J., Sarrazin F. (2012). *Biologie de la conservation ; cours et applications*. DUNOD, Sciences & Techniques, 388 p.
- SCDB, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique. (2007). Biodiversité et changements climatiques. Journée internationale de la biodiversité, Montréal, Canada, 48 p.
- SCDB, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique. (2008). Biodiversité et agriculture : Protéger la biodiversité et assurer la sécurité alimentaire. Montréal, Canada, 56 p.
- SCDB, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2009). Espèces exotiques envahissantes une menace à la diversité biologique. Montréal, 26 p.SCDB, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique .(2010). La biodiversité forestière-Le trésor vivant de la planète. Montréal, Canada, 48 p.
- Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A .(2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101:87–96P.
- Singh, R. & Sharma, S. (2012). Development of suitable photobioreactor for algae production - A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2347-2353p.
- Sydney EB, Sturm W, Carvalho JC de, Thomaz-Soccol V, Larroche C, Pandey A, Soccol CR .(2010). Potential carbon dioxide fixation by industrially important microalgae. *Bioresource Technology* 101:5892–5896.
- Wahby imen, 2017, cours de biotechnologie des microalgues.

- T. M. Mata, A. A. Martins, and N. S. Caetano. (2010). "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 1, pp. 217–232.
- Zeng, X.; Danquah, M. K.; Chen, X. D. & Lu, Y.(2011). Microalgae bioengineering: from CO₂ fixation to biofuel production *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3252- 3260p.

Sitographie :

https://fsesnv.univ-biskra.dz/images/stories/cour_Dr_Bouatrous/botanique%202017.pdf
<http://www.fsr.ac.ma/DOC/cours/biologie/hassikou/COURS%20S2%20BIOLOGIE%20DE%20ORGANISMES%20VIVANTS.pdf>
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00378941.1977.10839410>
<https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/tc/2024/Chapitre%20I%202024.pdf>
<https://iast.univ-setif.dz/documents/Cours/BIOLOGIEII-CHAPITRE6-L1S2.pdf>
https://www.dunod.com/sites/default/files/atoms/files/Feuilletage_4229.pdf
https://theses.hal.science/tel-00188566/file/Barberousse_PhD_thesis.pdf
<http://manuel.gonzales.free.fr/pages/peuplements%20rocheux%20atlantique1.html>
<http://application.sbroscoff.fr/download/fr2424/enseignement/stageete/flore/C.Destombe/2011%20la%20classification%20des%20algues.pdf>
<https://algae-consulting.e-monsite.com/pages/utilisation-industrielle.html>
<https://www.biodeug.com/licence-3-bio-vegetale-partie-3-les-algues/>
<https://algae-consulting.e-monsite.com/medias/files/cours-les-algues.pdf> <https://algae-consulting.e-monsite.com/medias/files/cours-botanique-algues.pdf>
<https://www.aquarium-larochelle.com/wp-content/uploads/2021/08/The%CC%80me-15-Les-algues.pdf>
https://www.istegroup.com/wp-content/uploads/2022/11/899_Les-algues-enagrobiologie_introduction.pdf
<https://doi.org/10.1080/00378941.1977.10839410> Bulletin de la Société Botanique de France

ANNEXE



Nom :

Le : 14/12/2021

Prénom :

Groupe :

Contrôle n°1 du module : Biodiversité des Organismes Aquatiques.

1ère année du Second Cycle : Ecole Supérieure en sciences Biologiques.

Exercice n°1 :(QCM) - Cochez la ou (les) bonne(s) réponse(s) : (5Pts)

1)- l'agar agar :

- champignon toxique,
- gélifiant animal,
- extrait d'algue rouge,
- aucune réponse n'est juste.

2)- Pour exprimer la capacité de certaines cellules à régénérer une plante entière, on parle de :

- capacité de se différencier.
- potentiel universel.
- multiplication végétative.

3)- La scissiparité :

- fragmentation du thalle unicellulaire,
- mitose,
- sporulation,
- aucune réponse n'est juste.

4)- L'Estran s'appelle aussi :

- zone de marnage,
- zone intertidale,
- zone subtidale,
- foreshore.

5- Les stromatolithes

- Ont une Structure de CaCO₃,
- Existent encore en Australie,
- Ne Résultent pas de l'activité de diatomées,
- Se développent en milieu aquatique profond.



.....
.....
3- Décrire la courbe rouge du graphique b.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

4- Donner une explication à l'allure de cette courbe.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Exercice n°4 : On récolte quatre plantes aquatiques différentes (4 Pts)

- les parties aériennes (tiges et feuilles) sont libres :

Exemple :

- les parties (tiges et feuilles) sont flottantes :

Exemple :

- les parties (tiges, feuilles, racines) sont submergées :

Exemple :

- les parties (racines, et parfois tige) sont fixée au fond de l'eau :

Exemple :

1- Déterminez chaque type de plantes.

2- Donnez un exemple pour chaque plante.

Nom :

Prénom :

Examen de Biodiversité des Organismes Aquatiques.

1ère année du Second Cycle : Ecole Supérieure en sciences Biologiques.

Durée : Une heure et quart (09H00 10H15).

Exercice n° 01 : QCM : Cochez-la ou les réponses justes. (05 Pts)

1- Quelle est l'énergie issue de la combustion des déchets organiques ?

- Energie de la biomasse ;
- Energie hydraulique ;
- Energie solaire ;
- Energie géothermique.

2- Qu'appelle-t-on énergie renouvelable ?

- Énergie qui fait fonctionner nos moteurs ;
- Sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide ;
- Le pétrole et le gaz ;
- Sources d'énergie inépuisable à l'échelle humaine.

3- Pourquoi développe-t-on les énergies renouvelables ?

- Elles sont peu coûteuses ;
- On veut atténuer les dérèglements climatiques ;
- On cherche à produire de nouvelles technologies ;
- Les chercheurs sont peu occupés.

4- L'augmentation de température actuelle est :

- est liée à la chaleur dégagée par les activités humaines (gaz d'échappements des voitures et fumées des usines rejetées dans l'atmosphère à hautes températures) ;
- due à la multiplication des sécheresses naturelles ;
- s'explique notamment par la combustion des énergies fossiles qui rejettent du dioxyde de carbone ;
- une invention des fabricants de textiles pour augmenter leur chiffre de vente.

5- Le terme «biodiversité» :

- représente la variabilité des organismes vivant sur planète ;
- représente l'ensemble des espèces animales qui vivent sur Terre ;
- regroupe la diversité des virus qui menacent l'espèce humaine ;
- est une nouvelle marque de thé bio qu'on trouve au supermarché.

Exercice n° 02 : (10 Pts)

Dans le monde la biomasse (bois, déchets organiques) reste de loin la source d'énergie renouvelable la plus importante avec 10,4% de l'approvisionnement mondial en énergie. Elle est en majorité produite et consommée dans les régions hors OCDE*.

Les pays en voie de développement situés en Asie du Sud et en Afrique subsaharienne s'en servent principalement pour leur besoin quotidien.

Leur consommation devrait néanmoins diminuer dans le futur. Quant à la contribution de nouvelles énergies renouvelables (solaire, éolien) elle reste marginale avec moins de 0,1% de l'énergie mondiale. D'un coût relativement élevé, elles sont pour le moment concentrées dans les pays de l'OCDE.

Leur développement semble pourtant être une des solutions pour remédier aux émissions des gaz à effet de serre et à la pénurie de certaines énergies à l'échelle planétaire.

***OCDE: Organisation de coopération et de développement économique.**

D'après le Monde 2, 14 Mai 2018.

1)- Quelle est l'utilisation principale de la biomasse dans les pays en voie de développement ? (2 Pts)

.....
.....
.....

2)- Citez les principales sources de la biomasse végétale. (3Pts)

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3)- Il existe plusieurs méthodes valables pour transformer la biomasse en forme d'énergie utilisable. Citez ces méthodes et donnez un exemple pour chaque conversion. (5Pts)

.....
.....

