



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère De l'Enseignement Supérieur Et De la Recherche Scientifique

Université Abbès Laghrou -Khenchela

Faculté des Sciences de la Nature Et de la Vie

Département de Biologie Moléculaire et Cellulaire

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Biologie

Filière : Science de la nature et de la vie

Option : Microbiologie appliquée

Thème

Les Algues Microscopiques Dans Les Milieux Extrêmes

Présenté par :

Nouasria Khaoula

Mezhoudi Alima

Menasri Maroua

Membre du jury :

Présidente : Maayouf Nozha MCB Université de Khenchela

Encadreur : Boutarfa Soumia MAA Université de Khenchela

Examinatrice : Aroua Khaoula MAB Université de Khenchela

Année 2021/2022

Remerciement

Nous avons à remercier en premier lieu Dieu le tout puissant de nous avoir guidé durant toutes ces années et nous avons permis de réaliser ce travail en nous donnant la force, la patience et la volonté.

Nous, remercions notre encadrant Mme BOUTARFA Soumia pour son encadrement, ses conseils et de nous avoir accompagné durant notre travail, tout le mérite lui revient.

Nous remercions sincèrement tous les membres de jury : Mme MAAYOUF Nozha de nous avoir fait l'honneur de présider le jury et évaluer ce travail, et Mme AROUA Khaoula d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions aussi chaleureusement tous les enseignants de la faculté des Sciences de la nature et de la vie.

Enfin, nous remercions nos amis proches. Merci à nos parents de nous avoir permis d'aller aussi loin dans nos études et de nous avoir soutenu et supporté tout au long de ces années.



Dédicace

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de terrible "Ya Kayoum"

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère

A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Je t'aime papa, je t'aime maman et je prie le Tout-Puissant de vous donner à la fois une bonne santé et une vie longue et heureuse.

A mes adorables sœurs: Sabra, Naima, Chaima, Hadil, Lamia et Abir

A mon cher frère Abd Elghani A tous les moments d'enfance passés avec toi mon frère, en gage de ma profonde estime pour l'aide que tu m'as apportée. Tu m'as soutenu, réconforté et encouragé. Puissent nos liens fraternels se présenter et se pérenniser encore plus.

A mon frère l'ange que nous avons perdu Badis Nouasria.... Je me souviens toujours de ton rire, de ton sens de l'humour, de ta gentillesse et de ton éternel optimisme.

A toute ma grande famille et mes merveilleuses cousines sans exception que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A toutes mes copines et mes amies que j'ai connaît depuis l'enfance jusqu'à ce jour.

A mon ami proche Salah Tu es l'ami avec qui j'ai envie de partager mes bonheurs et qui saura se réjouir pour moi avec sincérité et sans arrière-pensées. Tu es la main qui m'aide à me relever quand je me sens triste. Tu es le visage familier qui m'apaise quand je ne vois autour de moi que le mépris ou l'indifférence. Tu es la voix ferme que jamais je n'ai entendu trembler ou faiblir. Merci pour tout."

Khawla



Dédicace

*Avec l'aide du puissant, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :
Mon père, aucun dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect
que j'ai toujours eu pour toi . En hommage à tous les sacrifices que tu as
consenti pour moi durant mes longues années d'études, je te remercie d'avoir
fait de moi ce que je suis maintenant et de m'avoir pris de vivre dans
l'honneur et dans la dignité.*

*Aucun dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer réellement ta juste valeur.
Chaque ligne de cette mémoire, chaque mot et chaque lettre t'exprimer le
reconnaissance, le respect, l'estime et le merci d'être toujours avec moi.
Quoique je fasse, je ne pourrais te rendre ce que tu as fait pour moi. Ma
lumière de mes jours, mon source de mes efforts, ma vie et mon bonheur.*

Ma chère maman je t'adore.

A l'amour familiale créé par :

Mon chère frère : Bilel

*Ma sœur: wided A mes merveilleuse copines : Halima , Rayen , Loubna et
Chaima.*

*A mes trinomes : Nouasria Khawla , Menasri Maroua , merci pour votre
soutien et votre encouragement.*

*A toute ma grande famille et mes merveilleuse cousines sans
exception, que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.*

*A toutes mes copines et mes amies que j'ai connait depuis
l'enfance jusqu'à ce jour.*

Alima



Liste des tableaux

Tableau 1 : Systématiques des Glaucophyta	17
Tableau 2 : Systématique des Rhodophyta	19
Tableau 3 : Systématique des Cryptophyta....	21
Tableau 4 : Systématiques des Haptophyta	22
Tableau 5 : Systématiques des Dinoflagellés	23
Tableau 6 : Systématiques des Chlorophyta	25
Tableau 7 : Systématiques des Euglenophyta	27
Tableau 8 : Systématiques des Ochrophyta	28
Tableau 9 : Systématiques des Cyanophytes	31
Tableau 10 : Les facteurs influent la croissance algale.	34
Tableau 11 : Les modes de nutrition des micro- algues	37
Tableau 12 : La classification des extrémophiles	43

Liste des figures

Figure 1 : Vision actuelle de la classification des algues	6
Figure 2 : Structures chimiques des différents types de chlorophylle	8
Figure 3 : Structures chimiques de différents types de phycobiliprotéines	11
Figure 4 : cyanobactéries Structures chimiques de certains caroténoïdes présents dans les algues	12
Figure 5 : Modèle structurel de l'organisation des antennes chez les algues rouges et les cyanobactéries montrant la disposition des molécules d'antennes (A) et les étapes de transfert d'énergie, y compris la charge séparation (réaction photochimique) au niveau du système de réaction du photosystème II (PSII RC) (B) pour	14
Figure 6 : Structure d'une algue unicellulaire colorée artificiellement <i>Chlamydomonas</i> observée au MET	14
Figure 7 : Quelques exemples des Glaucophyta	18
Figure 8 : Quelques exemples des Rhodophyta	20
Figure 9 : Quelques exemples des Cryptophyta	21
Figure 10 : Quelques exemples des Haptophyta	22
Figure 11 : Quelques exemples des Dinoflagellés	24
Figure 12 : Quelques exemples des Chlorophyta	26
Figure 13 : Quelques exemples des Euglenophytes	27
Figure 14 : Quelques exemples des Ochrophyta	30
Figure 15 : Quelques exemples des Cyanophytes	31
Figure 16 : Cycle général de reproduction de l'algue	36
Figure 17 : Quelques exemples sur les milieux extrêmes	39

Liste des Abréviations

ATP : adénosine triphosphate

BHA: Butylated hydroxyanisole

BHT: Butylated hydroxytoluene

°C : degré Celsius

CO₂ : dioxyde de carbone

LVM: Louis Vuitton Moët Hennessey

MRAD: milli-radians

NaCl: chlorure de sodium

NADPH: nicotinamide adénine dinucléotide phosphate

O₂: dioxygène

PH: potentiel hydrogène

ROS: reactive oxygen species

USD: United State Dollar

α- carotène : Alfa carotène

β-carotène : Bêta carotène

ζ-carotène : Zêta carotène

Table de Matières

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Résumés	
Introduction	1
CHAPITRE 01 : Généralité sur les algues microscopiques.	
1- Algues microscopiques	5
2- Phylogénie	5
3- Taxonomie des algues	7
4- Principales caractéristiques des algues microscopiques	7
4-1- Critères de classification	7
4-2- Caractères cytologiques	7
5- Classification des micro-algues	9
5-1 Critères de classification	9
5-1-1- Les pigments	9
5-1-2- Les polysaccharides de réserve	14
5-1-3- Les polysaccharides pariétaux	15
6- Taxonomie des micro-algues	15
6-1- Les eucaryotes	15
6-2- Les procaryotes	17
7- Systématique des eucaryotes	17
7-1 - Embranchement Glaucophyta	17
7-2 -Embranchement des Rhodophyta	18
7-3- Embranchement des Cryptophyta	20
7-4- Embranchement Haptophyta	22
7-5- Embranchement Dinoflagellés	23
7-6 Embranchement Chlorophyta	24
7-7- Embranchement Euglenophyta	27
7-8 - Embranchement Ochrophyta	28
8- Systématique des procaryotes	30
8-1 - Embranchement des Cyanobactéries	30

9- Écologie et habitat	32
9-1 Facteurs de répartition des algues	32
9-2 Milieux de vie	34
10- Reproduction	35
10-1 -La reproduction sexuée	35
10-2 La reproduction asexuée	35
11- Modes de nutrition	36

CHAPITRE 2 : Les algues microscopiques extrêmophiles et leurs potentialités

1- Milieu extrême	39
2- Conditions extrêmes	39
3- Microorganismes extrêmophiles	40
3-1- Les micro-organismes psychrophiles	41
3-2- Les microorganismes thermophiles	41
3-3- Microorganismes halophiles	42
3-4- Microorganismes acidophiles	42
3-5- Microorganismes alcalophiles	42
4- Classification des microorganismes extrêmophiles	43
5- Algues microscopiques extremophiles	43
6- Ecologie des algues microscopiques extremophiles	44
7- Les applications des algues	44
7-1 Utilisation pharmaceutiques	45
7-1-1 Activité antivirale des composés microalgaux	46
7-1-2 Activité anticancéreuse des composés microalgaux	46
7-1-3 Activité antifongique	47
7-2 Biocarburants	48
7-3 Produits Cosmétiques	49
7-4 Activité antioxydantes	50
7-5 Agriculture et Biofertilisant	51

7-6	Bioplastiques	52
7-7	Nourriture - Animaux et aquaculture	53
7-8	Autres applications des algues	53
	Conclusion	56
	Références	58

Résumé

Les algues microscopiques sont des microorganismes photosynthétiques et leur dans les industries offre de multiples avantages par rapport aux autres organismes car ils sont répartis de manière ubiquitaire dans le monde entier. Les algues microscopiques occupent la plupart des habitats à différentes latitudes géographiques et sur tous les continents principalement des 'habitats aquatiques, en particulier marin, et les eaux douces, aussi les habitats extrêmes avec différents degrés de températures, de la matière organique, des ions hydrogène et à diverses salinités comme les neiges, les glaçons et les sources thermales ; formant un groupe d'organismes très diversifié et difficile à présenter de manière définitive.

Elles possèdent de la chlorophylle, et d'autres pigments qui sont responsables d'une coloration caractéristique (brune, rouge, jaune, etc...), et les propriétés biochimiques de ces pigments sont à la base de leur classification. C'est ainsi qu'on différencie les algues vertes, les algues brunes et les algues rouges, et les algues jaunes. Leur développement implique de multiples facteurs de croissance et de conditions de culture tels que l'eau, les nutriments, la lumière, le CO₂, température et pH.

Les milieux extrêmes sont des environnements caractérisés par : une température, un PH, une salinité, et une pression extrême. Les algues microscopiques extrémophiles ont prospéré dans des conditions qui sont probablement similaires aux habitats extrêmes actuels. Elle peut apporter une réponse importante à l'écologie et à la biochimie et conduire à des applications biotechnologiques et à des aspects industriels. Ils sont été exploités de manière lucrative dans divers domaines de recherche et de développement, notamment l'industrie pharmaceutique, nutritionnels et la production de biocarburants.

Mot-clé : Algues microscopiques, applications, biotechnologie, extremophiles.

Abstract

Microscopic algae are photosynthetic microorganisms and their use in industries offers multiple advantages over other organisms as they are ubiquitously distributed throughout the world. Microscopic algae occupy most habitats at different geographical latitudes and on all continents mainly aquatic habitats, especially marine, and fresh waters, also extreme habitats with different degrees of temperatures, organic matter, hydrogen ions and at various salinities such as snows, and thermal springs; forming a very diverse group of organisms that are difficult to present definitively.

They have chlorophyll, and other pigments which are responsible for a characteristic coloring (brown, red, yellow, etc.), and the biochemical properties of these pigments are the basis of their classification. This is how we differentiate between green algae, brown algae and red algae, and yellow algae.

Their development involves multiple growth factors and culture conditions such as water, nutrients, light, CO₂, temperature and pH. Extreme environments are environments characterized by extreme: temperature, pH, salinity, and pressure. Extremophile microalgae thrive in conditions that are likely similar to current extreme habitats. It can provide an important response to ecology and biochemistry and lead to biotechnological applications and industrial aspects. They have been profitably exploited in various fields of research and development, including pharmaceutical, nutritional and biofuel production.

Key words: applications, biotechnology, extremophiles, Microscopic algae.

الطحالب المجهرية هي كائنات دقيقة تقوم بعملية التركيب الضوئي ويتم استخدامها في الصناعات لتمييزها بمزايا متعددة على الكائنات الحية الأخرى حيث تتواجد في كل مكان في جميع أنحاء العالم. تحتل الطحالب المجهرية معظم الموارد المائية في أماكن جغرافية مختلفة وفي جميع القارات بشكل رئيسي المياه البحرية والمياه العذبة ، وكذلك الأماكن المتطرفة بدرجات حرارة مختلفة ، والمواد العضوية ، وأيونات الهيدروجين وفي درجات ملوحة مختلفة مثل الثلج والجليد والينابيع الحرارية ؛ مشكلة مجموعة متنوعة للغاية من الكائنات الحية التي يصعب تقديمها بشكل نهائي .

تحتوي على اليخضور ، وأصبغ أخرى مسؤولة عن تلوين مميز للخلايا (بني ، أحمر ، أصفر ، إلخ) ، والخصائص الكيميائية الحيوية لهذه الأصباغ هي أساس تصنيفها. هذه هي الطريقة التي نفرق بها بين الطحالب الخضراء والطحالب البنية والطحالب الحمراء والطحالب الصفراء. يتطلب نموها و تطورها عوامل نمو متعددة وظروف استزراع مثل الماء والمغذيات والضوء وثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة.

البيئات القاسية هي بيئات تتميز ب: درجة حرارة، ودرجة حموضة، والملوحة، والضغط الشديد متطرفة. ازدهرت الطحالب الدقيقة المتطرفة في ظروف من المحتمل أن تكون مشابهة للبيئات المتطرفة الحالية. يمكن لهاته الطحالب أن توفر اجابة مهمة عن للبيئة والكيمياء الحيوية مما يؤدي إلى استعمالها في مجالات التكنولوجيا الحيوية و مختلف الجوانب الصناعية. لقد تم استعمال هاته الطحالب بشكل مريح في مختلف مجالات البحث والتطوير، بما في ذلك إنتاج الأدوية والتغذية والوقود الحيوي.

الكلمة المفتاحية: ، التكنولوجيا الحيوية، التطبيقات, الطحالب المجهرية ، الكائنات الحية المتطرفة

Introduction

La vie existe dans tous les endroits possibles sur Terre. Au cours de son développement, il doit être de multiples écosystèmes se sont formés (**Van Den Burg, 2003**). Jusqu'au II^e siècle, on croyait que la vie n'était existé que dans l'écosystème "Normales", c'est-à-dire conditions compatibles avec la vie humaine. Les chercheurs se sont mis à la recherche d'organismes vivant dans des conditions éloignées de ces critères, dans des environnements hostiles dont les algues (**Peduzzi et al., 2006**).

Le terme botanique «algue», du latin «alga», est apparu en 1951 pour désigner un organisme photosynthétique, sans véritable tige, racine, feuilles ou tissu conducteur. (**Marafing, 2012**). Elles comprennent 20 000 à 30 000 espèces dans le monde (**Garonlardiere, 2004**). On distingue donc des « macroalgues » et « microalgues ». Les microalgues font partie des premiers êtres vivants, apparus il y a environ 3,5 milliards d'années, colonisant la quasi-totalité des écosystèmes de la planète : des océans aux glaciers, en passant par les lacs hypersalés, les sols, les roches et les arbres (**Riebesell et al., 2007**).

Les microalgues sont des micro-organismes isolés ou grégaires qui vivent dans toutes les niches écologiques. On les trouve dans les eaux continentales (eau douce et eau salée), dans les océans et les mers, dans l'air, à la surface et même dans les glaciers. Sa fonction principale est de convertir l'énergie solaire en énergie chimique en présence d'eau et de synthétiser les métabolites organiques primaires en fin de processus (**Chader, 2003**). On y trouve des bactéries procaryotes appelées cyanobactéries (algues bleues) et des organismes eucaryotes plus évolués uni- ou pluricellulaires (**Leclerc et Floch, 2010**).

La présence de microalgues se manifeste aussi par des salissures provoquées sur les surfaces immergées des murs et des troncs d'arbres. Leur coloration est due à la présence de différents pigments dans leurs cellules, dont le plus important est la chlorophylle sous ses trois formes. (a, b, et c) (**Sadi, 2012**).

Certains groupes appartenant aux dinophytes et aux cyanobactéries peuvent présenter des risques importants pour l'homme. En effet, dans l'océan, la prolifération des algues produit des toxines très puissantes qui sont consommées par les poissons et fruits de mer et agissent sur le foie ou le système nerveux de ceux qui les consomment, provoquant de graves problèmes d'estomac, de l'amnésie, voire plus de paralysie. En eau douce, ce sont les cyanobactéries qui rendent malades après la consommation d'eau ou un contact avec le milieu aquatique infesté (**Peng et al., 2010 ; Teslai et al., 2016a ; Svircev et al., 2017a**).

Certaines espèces d'algues microscopiques présentent un intérêt pour les domaines pharmaceutiques, en synthétisant des produits qui aident à combattre les tumeurs, le cholestérol et le vieillissement. D'autres ont des pigments utilisés pour détecter les cellules malades. D'autres aussi sont utilisées en cosmétique, comme nourriture pour les poissons d'élevage, ou comme la spiruline cyanobactérie ou l'algue verte *Chlorella*, comme compléments alimentaires pour l'homme (**Chopin, 1997**).

Les algues microscopiques occupent la plupart des environnements terrestres éclairés par la lumière visible, parmi ces habitats se trouvent plusieurs lieux qui sont du point de vue anthropocentrique inhospitaliers et différents des lieux normaux. Les microbes présents dans ces environnements sont appelés extrémophiles nous pourrions supposer que ces extrémophiles considèrent leurs habitats difficiles comme une oasis ou un paradis (**Seckbach, 2007**).

La plupart des extrémophiles se trouvent dans le monde microbien et la gamme des extrêmes environnementaux tolérés par les microorganismes est beaucoup plus large que les autres formes de vie (**Satyanarayana et al., 2005**). Différents mécanismes cellulaires, moléculaires et génétiques sont déclenchés par ces microorganismes pour maintenir l'intégrité de leur machinerie à des conditions de température, pression ou salinité mortelles pour toute autre forme de vie (Abdoun. 2014). Ces algues extrémophiles sont classées en différentes catégories selon le caractère extrême de leurs environnements (**Seckbach, 2007**).

Ce mémoire est une étude essentielle des algues microscopique spécialement dans les milieux extrêmes et leurs applications biotechnologiques potentielles.

Notre étude consiste à étudier la diversité des algues microscopiques des zones extrêmes et à montrer l'importance de leur application dans divers domaines, notamment celui de la biotechnologie.

Ce mémoire est divisé en deux chapitres. Après une introduction, le premier chapitre comprend une généralité sur les microalgues qui tendra à expliquer la notion des algues microscopiques, leurs caractéristiques, critères cytologiques, leurs classifications et la taxonomie, ainsi que leurs habitats et leur reproduction.

Le deuxième chapitre portera les différents milieux extrêmes dont lequel nous abordant les différents micro-organismes extrémophile avec leur classification, et aussi on parle sur les micro-algues extrémophiles et leurs écologies et habitat. Enfin nous décrivons les applications des algues microscopiques extrémophiles dans les différents domaines.

Études bibliographiques

CHAPITRE 01 :
Généralité sur les algues
microscopiques.

1. Algues microscopiques

Les algues ne sont pas formellement définies, mais sont généralement considérées (Croft et al., 2006) comme des organismes vivants photosynthétiques (possèdent la chlorophylle a) leur cycle de vie se fait typiquement en milieu aquatique. D'autres algues passent par un stade non photosynthétique au cours de leur cycle de vie (Amirouche et al., 2009).

Le thalle est un organe végétal unicellulaire ou pluricellulaire, ne possédant ni racine, ni tige et ni feuille. Ces thalles ont une taille variable de moins d'un micromètre dans le cas de l'algue bleue *Prochlorococcus* à plusieurs dizaines de mètres dans le cas de *Macrocystis* (Floc'h, 2010 ; Garon-lardiere, 2004).

On distingue donc des « macroalgues » benthiques, marines ou d'eau douce, et un ensemble d'organismes microscopiques très divers, marines ou d'eau douce, planctoniques ou benthiques, appelés de « microalgues ». Leurs organes de reproduction sont des cystes : sporocystes et gamétocystes qui sont des structures cellulaires renfermant respectivement les spores et les gamètes (Reviere, 2002).

Les microalgues sont des organismes micro-autotrophes hétérotrophes qui obtiennent de l'énergie de la lumière par la photosynthèse. Leur principale source de nutriments est le dioxyde de carbone dissous dans l'eau. Elles sont relativement simples et de petite taille et peuvent effectuer une photosynthèse très efficace. Trouvées dans tous les écosystèmes terrestres existants, à la fois aquatiques et terrestres, et peut prospérer dans une variété de conditions environnementales, y compris l'eau douce, saumâtre, marine et même les eaux usées (Richmond, 2004 ; Chisti, 2007).

Les algues sont ainsi disséminées en 11 groupes, 1 de type procaryotiques (les cyanobactéries) et 10 de nature eucaryotique sont à l'état actuel de nos connaissances, réparties dans 6 ou 7 grandes lignées évolutives (Reviere, 2002).

2. Phylogénie

Dans le monde vivant, il existe deux types d'organisation cellulaire :

- Cellules sans vrai noyau. Ils caractérisent les organismes **Procaryotes**.
- Le noyau est entouré d'une membrane. Ils sont spécifiques à **Eucaryotes**.

Chapitre 1. Généralités sur les algues microscopiques

Les algues sont divisées en embranchement ou phylum en fonction de la nature de leurs pigments (terminaison : - PHYTES en français ou - PHYTA en latin). Comme Chlorophyta ou Charophyte. Ces catégories sont à leur tour constituées d'ordres différenciés selon des types structuraux, tels que Charales - ACÉEs ou - ACEAE), qui subdivisent le genre lui-même en espèces, telles que les Trichophyllacea (**De Reviere, 2002, 2003**).

Les données systématiques divisent ensuite ces embranchements, selon le Code International de Nomenclature Botanique (**Greuter et al., 2000**) comme mentionné ci-dessous : Selon des critères cellulaires (structure nucléaire, mode de reproduction, complexité structurale et structure des flagelles), ces branches en classes (se terminant par - PHYCÉE ou -PHYCEAE), par exemple les algues rouges.. *Cladophoraceae*, Ces classes sont à leur tour constituées d'ordres différenciés selon des types structuraux, tels que Charales - ACÉEs ou - ACEAE), qui subdivisent le genre lui-même en espèces, telles que les *Cladophoraceae* travaux d'études phylogénétiques récentes avec une connaissance avancée de la systématique (**De Reviere, 2002, 2003**).

En effet, obtenu de séquences de gènes et les méthodes de reconstruction phylogénétique assistée par ordinateur ont considérablement amélioré notre compréhension de la parenté entre les organismes, permettant de reconstituer leurs relations évolutives. La taxonomie actuelle des algues présentée dans la figure 1 est le résultat de ces avancées scientifiques et s'appuie sur les travaux de (**Cavalier-Smith, 2004**) et (**Guiry et al., 2013**).

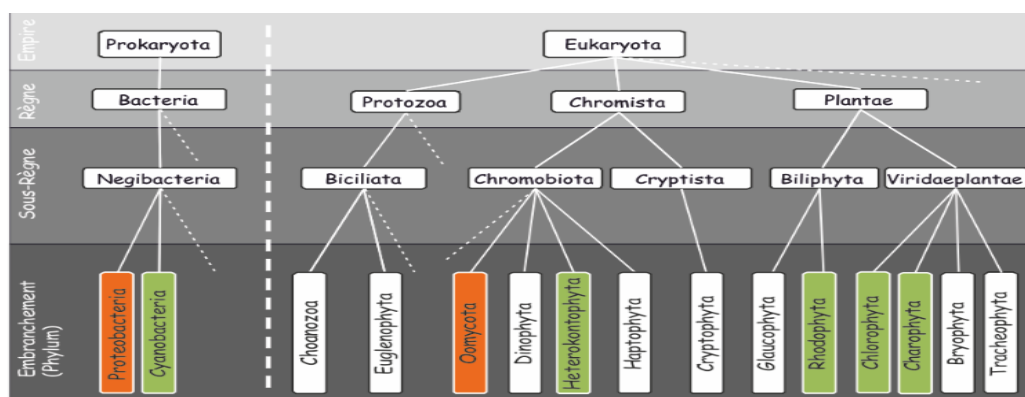


Figure1 : Vision actuelle de la classification des algues d'après (**Cavalier-Smith, 2004** ; **Guiry et al., 2013**).

3. Taxonomie des algues

Les divisions taxonomiques formelles ont longtemps été abandonnées, car les groupes d'algues sont considérés comme suffisamment distincts pour être divisés par comparaison de leurs pigments, produits d'assimilation (réserves), flagelles, structure chimique et de la paroi cellulaire et apparence de l'ultrastructure cellulaire (**Hickman, 2015**).

La microscopie électronique permet de mettre en évidence des caractéristiques structurelles qui peuvent désormais être utilisées pour classer les algues : flagelles (leurs poils), gonflement, écailles, chloroplastes, réticulum endoplasmique des chloroplastes, thylakoïdes, phycobilisomes, écailles organiques et inorganiques externes, silicium Vésicules de sédiment plasmatique, thèque, noyau structure et division et division cellulaire. De plus, les biochimistes analysent les détails moléculaires des pigments, des produits d'assimilation et des parois cellulaires. Aujourd'hui, quatre groupes évolutifs distincts peuvent être considérés comme des algues (**Hickman, 2015**)

4. Principales caractéristiques des algues microscopiques

4.1. Critère de classification

- Les pigments.
- Glucanes de réserves.
- Nombre de membranes plastidiales.
- Forme des crêtes mitochondriales.
- Appareil flagellaire.
- Appareil photorécepteur (**Reviere, 2002**)

4.2. Caractères cytologiques

Les microalgues eucaryotes sont des organismes photosynthétiques unicellulaires entourés d'une membrane plasmique qui contient dans leur cytoplasme de nombreux organites nécessaires à leur fonctionnement et à leur métabolisme : paroi cellulaire, chloroplaste, mitochondries, cytoplasme et un noyau entouré d'une membrane nucléaire (**Richmond, 2004**).

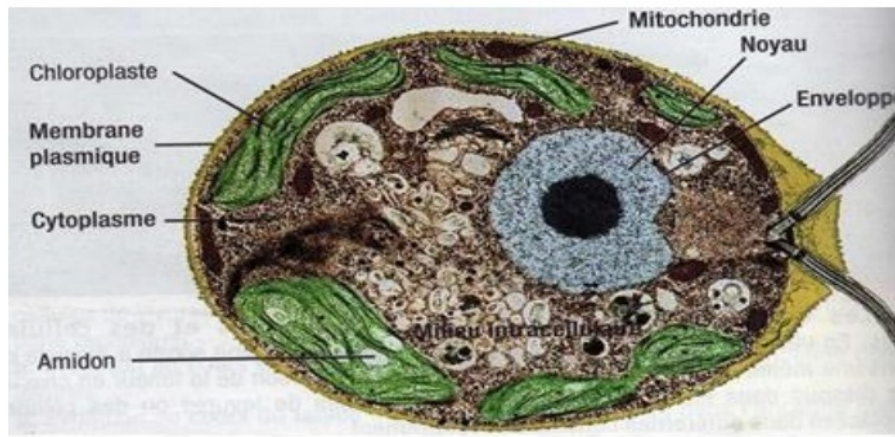


Figure 2 : Structure d'une algue unicellulaire colorée artificiellement *Chlamydomonas* sp observée au MET ($\times 7000$) (web master4, 2015)

- **La paroi cellulaire**, assez épaisse, a un rôle protecteur.
- **La membrane cytoplasmique**, semi-perméable permet les échanges entre la cellule et son environnement
- **Le cytoplasme, ou plasma**, siège des réactions métaboliques, ressemble à une sorte de gelée
- **Le noyau** est entouré d'une membrane et contient l'ADN.
- **Le réticulum endoplasmique** est responsable de la synthèse des protéines.
- **La mitochondrie** est responsable de la chaîne respiratoire oxydative.
- **Le dictyosome**, intervient également dans la synthèse des protéines, notamment à leur extrémité
- **les chloroplastes** sont responsables de la photosynthèse.
- **Les grains d'amidon** (pas toujours dans le chloroplaste) sont les réserves de la cellule.
- **La vacuole**, entretient l'environnement intérieur : gestion de l'eau, des sels minéraux et quelques déchets.
- **Le stigmat (eyespot)** est une structure qui détecte la lumière et informe la cellule qu'elle peut démarrer la photosynthèse.

- Les **pyrénoïdes**, de forme très différente, peuvent contenir de l'amidon mais aussi des polysides solubles ; leurs fonction pas très clairement défini. Les pyrénoïdes ne sont pas limités par une membrane et ne trouvent pas dans toutes les cellules d'algues (**König, 2018**)

5. Classification des micro-algues

Il existe un groupe extrêmement diversifié d'algues microscopiques, regroupées autour d'une cohérence physiologique : la photosynthèse aérobie, constituant un assemblage hétérogène car elles n'appartiennent pas toutes à la même voie évolutive, mais à des systèmes évolutifs très différents. Cette diversification se traduit par des changements spectaculaires de sa physiologie et de son métabolisme, reflétant une énorme diversité génétique. Ces micro-organismes sont classés selon leurs caractéristiques morphologiques, la nature de leur cycle de vie et la nature chimique des produits de réserve de la photosynthèse, régulation des membranes de photosynthèse ou leur ou pigmentation (**Carlsson et al., 2007; Mann et al., 2010**).

De ce fait les algues sont classées en une dizaine d'embranchements (**Reviere, 2002**). On distingue les eucaryotes unicellulaires ou pluricellulaires à pigmentation rouge associée aux algues rouges, à pigmentation jaune associée aux algues brunes, aux algues vertes à pigment vert, et les organismes procaryotes, à savoir les cyanobactéries (algues bleues), soit respectivement : Rhodophycées, Phéophycées, Chlorophyceae et Cyanophyceae comme les appellent les botanistes (**Zehlila, 2017**).

5.1. Critères de classification :

Selon la norme, les algues peuvent être divisées en une dizaine de branches en fonction de leur composition pigmentaire, de leurs polysaccharides de réserve ou de leur Caractéristiques structurelles (**Ruiz, 2005**).

5.1.1. Les pigments

Les algues sont des microalgues productrices de pigments. Ils tombent dans des groupes de classification, avec une énorme variété d'espèces dans chaque catégorie, à savoir les algues brunes, algues rouges et algues vertes (**Belghit et al., 2017**).

Les pigments d'algues comprennent la chlorophylle et les caroténoïdes tels que les carotènes (β - carotène) et xanthophylles (fucoxanthine, violaxanthine, antheraxanthine, zéaxanthine, lutéine, néoxanthine) **(Manivasagan et al., 2017)**.

Ces pigments ont attiré l'attention dans les industries alimentaires et des boissons, ainsi que dans l'alimentation animale, les cosmétiques et les produits pharmaceutiques. Ces pigments sont utilisés pour donner les résultats souhaités tels que bioactif (antioxydant, antidiabétique, immunomodulateur, antiangiogénique, anti-inflammatoire, etc.), **(Manivasagan et al., 2017)**, et propriétés sensorielles (comme colorants alimentaires) dans produits alimentaires/aliments pour animaux et aliments fonctionnels/ingrédients nutraceutiques.

Le marché des colorants alimentaires est devrait valoir 3,75 milliards USD d'ici 2022, et les colorants alimentaires naturels formeront le plus grand part de cette projection **(Manivasagan et al., 2017)**.

La croissance des colorants alimentaires naturels (et en particulier ceux qui présentent bénéfiques pour la santé) a été motivée par l'intérêt des consommateurs pour les additifs alimentaires non synthétiques sûr, et offre une variété de teintes différentes. Répondre à cette demande nécessite la conception de des bioprocédés permettant d'extraire et de purifier efficacement ces pigments, mais aussi de les formuler sous des formes stables et pratiques. Dans ce rapport, nous avons passé en revue la diversité, les techniques d'extraction/récupération ainsi que les applications alimentaires et sanitaires des algues pigments **(Heldt et Piechulla ,2011)**

➤ Chlorophylle

La chlorophylle est un pigment omniprésent dans la plupart des plantes, des algues et des bactéries photosynthétiques. Ça joue un rôle clé dans la photosynthèse et plusieurs fonctions biologiques. La chlorophylle est non covalente attaché à la protéine pour former des complexes pigment-protéine. C'est un chromophore cyclisé avec 4 anneaux de pyrrole, un tétrapyrrole (anneau de porphyrine), un centre d'ion magnésium et un long hydrophobe queue (fig. 3). Les électrons qui entourent l'anneau sont libres de migrer, ce qui augmente le potentiel de la chlorophylle à gagner ou à perdre des électrons. Cela explique aussi son instabilité dans la présence d'enzymes, d'acides, d'oxygène, de lumière et de chaleur. Plusieurs formes de chlorophylle existent dans nature. Ceux-ci incluent la chlorophylle a, b,

c, d, e et f. Les différentes formes de chlorophylle diffèrent conduisant structurellement à une différence dans les caractéristiques d'absorption (Heldt et Piechulla, 2011).

Dans la chlorophylle a (chl-a), anneau b contient un groupe méthyle, tandis qu'un groupe formyle est présent dans la chlorophylle b (chl-b) (Fig. 3). (Nobel, 2009)

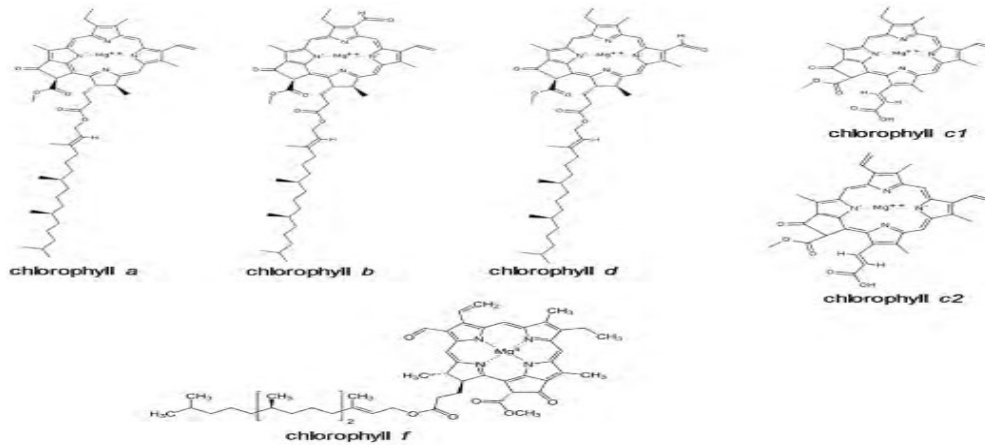


Figure 3 : Structures chimiques des différents types de chlorophylle

➤ Phycobiliprotéines

Les phycobiliprotéines sont une famille de complexes protéiques pigmentaires solubles dans l'eau que l'on trouve principalement dans Rhodophycées et Cyanophycées. Ils se présentent sous forme de protéines (30 à 35 kDa) liées de manière covalente via acides aminés de la cystéine (Cys) aux phycobilines pigmentées (586 kDa) (Nobel, 2009).

La famille des phycobiliprotéines est composée de la phycoérythrine (pigment rouge), de la phycocyanine (pigment bleu pigment) et l'allophycocyanine (pigment bleu clair) et montrent une structure protéique différente, la biline contenu et propriétés spectrales (Watanabe et Ikeuchi, 2013).

Les phycobilines sont des tétrapyrroles comme les chlorophylles, mais se présentent sous forme de chaîne ouverte comme le phytochrome (contrairement aux chlorophylles dans lesquelles les tétrapyrroles sont comme fermés cycle porphyrine). Ils manquent également de la chaîne latérale phytol et de l'ion magnésium. La prothèse chromophores ; la phycoérythrobiline et la phycocyanobiline sont liées via des liaisons thioéther au squelette protéique. La structure primaire de l'algue rouge *Mazzaella japonica* ; composé de

α - et β - des sous-unités et des résidus conservés de Cys ont été récemment élucidée
(Zhang *et al.*, 2017 Kitade *et al.*, 2018).

Les multiples groupes prothétiques biline chromophores (4 -34) dans les phycobiliprotéines les rendent hautement fluorescents avec des coefficients d'absorption élevés (Viskari et Colyer, 2002 ; Hermanson, 2013).

Conjugué les phycobiliprotéines peuvent ainsi former des sondes luminescentes polyvalentes avec une interférence minimale de stimulus externe car les bilines sont soigneusement cachées dans la protéine. Un groupe de la phycobiliprotéine produit une structure définie appelée phycobilisome. Le pigment d'antenne avec la longueur d'onde la plus courte (550 nm, énergie la plus élevée) ; la phycoérythrine est située à la pointe tandis que la pigment d'antenne avec la longueur d'onde la plus longue (650 nm, énergie la plus faible); la phycocyanobiline est situé au cœur (Fig. 4), cela crée un gradient lorsque l'énergie se déplace d'une antenne molécule à l'autre et finit par atteindre la membrane thylakoïde dans le centre de réaction de photosystème II. La solubilité et l'hydrophilie élevées des phycobiliprotéines confèrent à ce pigment à la modification et à la liaison non spécifique (Hermanson, 2013).

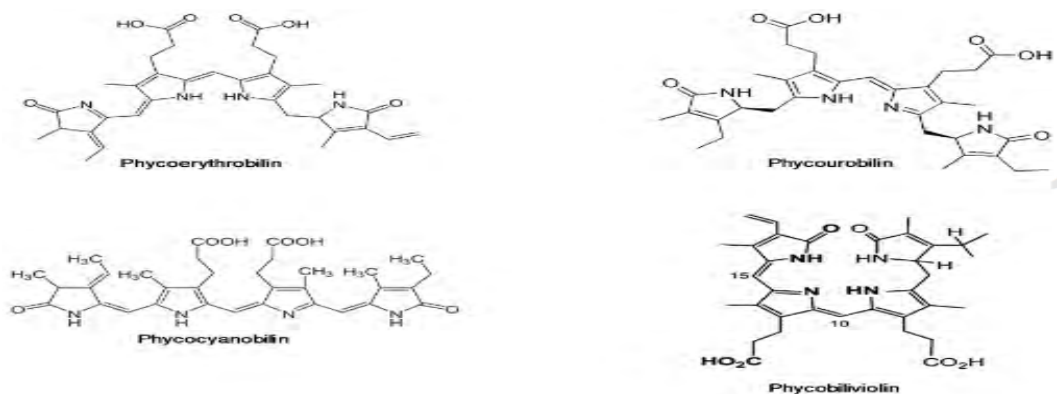


Figure 4 : Structures chimiques de différents types de phycobiliprotéines

➤ Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont une classe de pigments naturels jaunes, verts et orange largement répandus. Distribués dans la nature et synthétisés par les plantes, certaines bactérie (cyanobactéries et non- photosynthétique), champignons et algues (Avalos et Carmen,

2015 ; **Yahia, et al., 2017**) .Plus de 600 caroténoïdes ont été identifiés à ce jour (**Yahia et al., 2017**).

Comme les phycobiliprotéines, les caroténoïdes servent de pigments accessoires ; absorber et transmettre la lumière l'énergie à la chlorophylle, ainsi qu'une aide à la photoprotection. Lorsqu'ils sont consommés par les humains et animaux, certains caroténoïdes sont impliqués provitamine A et activité antioxydante, photoprotection et colorant et jouent d'autres fonctions physiologiques telles que la protection contre diverses maladies (**Miyashita, Hosokawa, 2014**).

Les caroténoïdes sont classés en deux groupes principaux : les hydrocarbures purs (carotènes, par exemple, α - carotène, β -carotène et lycopène) et les dérivés oxygénés (alcooliques) (xanthophylles ex., lutéine et zéaxanthine). Les caractéristiques structurales des caroténoïdes telles que la longueur, la taille, les groupes fonctionnels, l'isomérisation, la polarité jouent un rôle important dans la détermination de l'absorption spectre, coloration et capacité de biodisponibilité des caroténoïdes (**Cooperstone et al., 2015**) .

La structure de base de caroténoïde se compose de huit unités isoprène (polyisoprénoïde) de répétition, ramifié cinq- carbone membre (isoprénoïde) résultant en une molécule de 40 carbones contenant des doubles conjugués liaisons (polyène) et se terminant parfois par des anneaux à l'une des deux extrémités. Les deux principaux formes géométriques dans lesquelles existent les caroténoïdes ; la forme trans stable et cis peuvent être échangées lors de modifications thermiques, chimiques et photo-médiées (**Cichon et al., 2017 ; Le Bourvellec et al., 2018**).

Le long situé au centre les liaisons conjuguées sont une caractéristique distinctive des caroténoïdes et leur confèrent un potentiel réducteur en raison de leur capacité à transférer des électrons, à absorber la lumière et à rendre les caroténoïdes sujets à l'oxydation et à l'isomérisation. Caroténoïdes tels que α -carotène, β -carotène, γ -carotène et β - la cryptoxanthine, contient un anneau bêta-ionone et peut donc être convertie par l'organisme en vitamine A (caroténoïdes provitamine A) et agissent comme antioxydants, tandis que la lutéine, la zéaxanthine et le lycopène ne possèdent pas d'activité provitamine A. Comme le lycopène, le zéta-carotène (ζ -carotène) est acyclique, α - carotène et β -carotène ont deux cycles à six chaînons de chaque côté de la molécule, et γ - le carotène et le delta-carotène (δ -carotène) ont un cycle à six chaînons.

Bêta-cryptoxanthine, et zéaxanthine, contiennent respectivement des groupes hydroxyle et époxyde. La canthaxanthine et l'astaxanthine contiennent un groupe céto, tandis que la violaxanthine et la néoxanthine contiennent un époxy groupe (fig. 5). La violaxanthine, la néoxanthine et la lutéine sont les principaux caroténoïdes absorbant la lumière (Rajauria et Abu-Ghannam, 2013 ; Amorim , 2012).

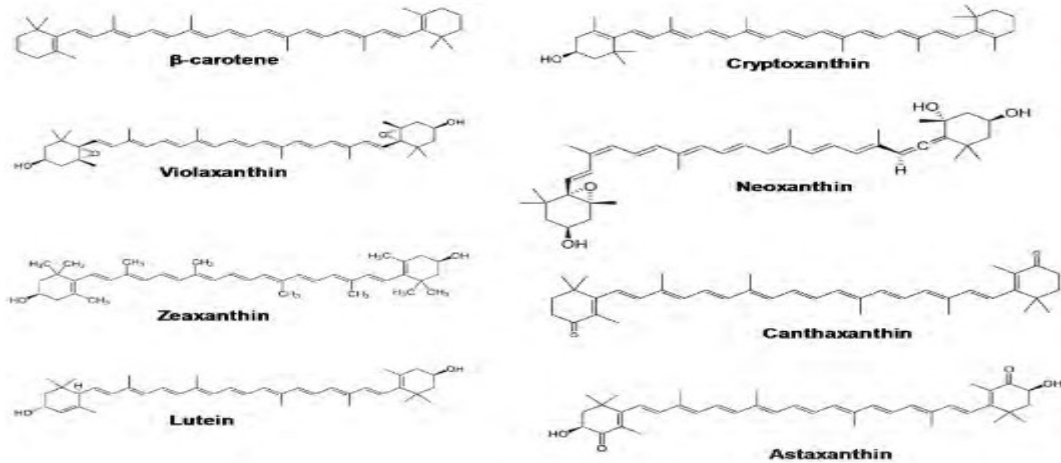


Figure 5 : Structures chimiques de certains caroténoïdes présents dans les algues

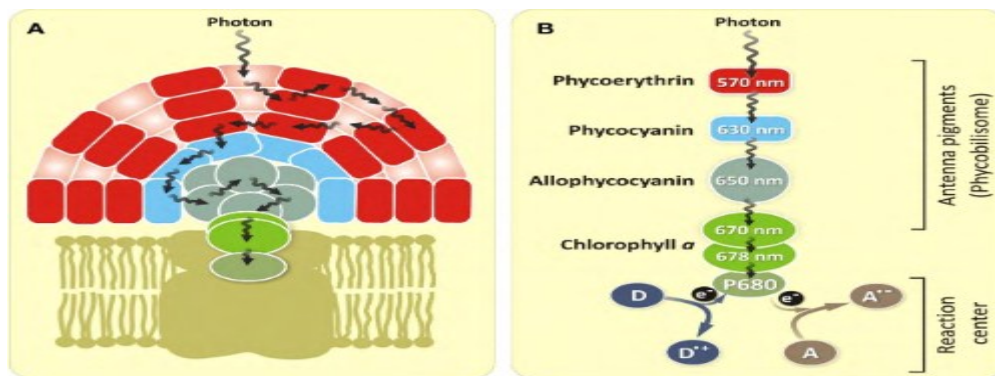


Figure 6 : Modèle structurel de l'organisation des antennes chez les algues rouges et les cyanobactéries montrant la disposition des molécules d'antennes (A) et les étapes de transfert d'énergie, y compris la charge séparation (réaction photochimique) au niveau du système de réaction du photosystème II (PSII RC) (B) pour cyanobactéries (Govindjee, 2011)

5.1.2. Les polysaccharides de réserve

Les polysaccharides ou glucanes sont des polymères glucidiques formés par le mécanisme de la photosynthèse. Il existe deux familles : les polysaccharides de réserve et

les polysaccharides pariétaux. Des glucanes de réserve solubles sont présents dans les vacuoles, tandis que d'autres glucanes insolubles forment des granules observables au microscope sont situés dans les vacuoles, Le D-glucose est un composé de réserve du glucane et est disponible sous deux formes : les amidons liés en (α -1,4) et les laminarines liées en (β -1,3) (Ruiz, 2005).

5.1.3. Les polysaccharides pariétaux

La classification des grandes familles d'algues repose également sur les propriétés chimiques des colloïdes qu'elles produisent à la périphérie cellulaire. (Candless, 1978) Les parois cellulaires végétales sont parfois considérées par les biologistes comme leurs propres organites. Les parois des algues sont très différentes des autres organismes végétaux par leur organisation et leur composition. Ils peuvent souvent être interprétés comme une structure biphasique constituée d'une phase fibrillaire cristalline squelettique et d'une phase matricielle, dont la structure varie selon les espèces et est l'une des structures les plus complexes connues dans la nature. La principale famille d'algues repose également sur les propriétés chimiques des colloïdes qu'elles produisent autour des cellules (Neil *et al.*, 1984).

6. Taxonomie des micro-algues

On distingue principalement deux groupes des micro-algues :

6.1. Eucaryotes

➤ Les algues vertes : Chlorophycées

Les chlorophylles sont des algues vertes en raison de la présence de chlorophylle a et b dans leurs plastes, auxquelles le carotène et xanthophylles sont apparentés. Ils sont de formes très diverses, unicellulaires ou multicellulaires, et les cellules peuvent être sphériques, ovales ou elliptiques (Feipeng *et al.*, 2014).

Les espèces appartenant à ce groupe peuvent être autotrophes ou hétérotrophes et peuvent coloniser tout type d'habitat. Les amidons et les huiles sont leurs principales réserves énergétiques. Ils ont un rôle très important dans l'oxygénation d'eau, contribuant ainsi à la vie des animaux. Il existe actuellement 8000 espèces dont 1000 sont des chlorophylles marines (Alcaine, 2010 ; Garon-Lardiere, 2004).

Chlorella vulgaris, une espèce, très intéressante pour la production de biodiesel en raison de sa teneur en acides gras. On retrouve également *Chlamydomonas reinhardtii* qui est une espèce typique dans plusieurs études in vitro. *Dunaliella* ainsi que *Haematococcus* (Pulz et al., 2004).

➤ Les algues rouges : Rhodophycées

Les algues rouges sont un groupe très diversifié. Ce sont des photoautotrophes et contiennent les pigments suivants : la chlorophylle a, des caroténoïdes et des phycobiliprotéines : l'allophycocyanine (bleu), la phycocyanine (bleu) et la phycoérythrine qui lui donne sa couleur rouge. Ces algues se trouvent dans les eaux salées (ex. *Porphyridium*) et les eaux saumâtres, mais rarement dans les eaux douces (Hamedi, 2019).

Cette classe contient près de 400 espèces présentant dans la plupart des cas un métabolisme photo-autotrophes ou photo-organotrophes. En dépit certaines espèces contiennent des acides gras, utilisez-les dans la production de biodiesel en absence de lumière, cela ne semble pas possible.

Elles se distinguent généralement par un cycle de reproduction complexe (Garon-Lardiere, 2004).

➤ Les algues brunes : Phéophycées

Les phéophytes, ou algues brunes, possèdent de la chlorophylle a et c, beaucoup d'autres pigments et des réserves cytoplasmiques et vacuolaires variables.

La couleur brune de ces algues est causée par la prédominance du pigment xanthophylle, la fucoxanthine, qui cache les pigments chlorophylle a et c, ainsi que le bêta-carotène. Généralement, elles sont marines, ce vaste groupe contient des dizaines de lignées, dont des diatomées, des chrysanthèmes et des xanthophycètes. Toutes ont une structure pluricellulaire mais leurs dimensions varient d'éléments microscopiques à de très gros spécimens (Garon-Lardiere, 2004).

Elles sont riches en phlorotanins et en alginates aux propriétés antioxydants (Zehlila, 2017).

6.2. Procaryote

❖ Les cyanobactéries (Cyanophycées)

Cyanobactéries sont des procaryotes autotrophes capables de fixer le carbone dans le CO₂ en libérant d'O₂ moléculaire. Elles sont constituées de colonies filamenteuses unicellulaires ou multicellulaires libres de tailles, de formes et de couleurs très différentes. Ces microalgues sont répandues dans divers habitats aquatiques et la majorité d'entre elles possèdent une consistance gélatineuse en raison du mucus qu'elles sécrètent (Kehr et Dittmann., 2015).

Les cyanobactéries possèdent des pigments tels que : la chlorophylle a et c, la phycocyanine, Phycoérythrine, bêta-carotène et lutéine. On trouve près de 2000 espèces dans ce groupe, qui peuvent être divisés en 150 genres (Alcaine, 2010).

Spirulina plantensis, *Aphanizomenom flos-aquae* et *Nostoc* sont les plus répondeu (Pulz et al., 2004). Quelques cyanobactéries produisent des toxines, appelées « cyanotoxines », qui nuisent la santé des animaux et des humains si elles sont présentes en fortes concentrations dans l'eau potable (Carmichael, 2012).

7. Systématique des eucaryotes

Les microalgues eucaryotes contient 08 embranchement les quelles.

7.1. Embranchement Glaucophyta :

Glaucophyta forme une petite population d'algue unicellulaire, autotrophe, Parfois colonnaire. Elles possèdent deux flagelles inégaux, ces microalgues sont rares et strictement réservées à l'eau douce, et leurs plastes sont bleu-vert Polychrome et Chlorophylle A. Glaucophyta contient également du β , β -carotène et caroténoïdes (Faller, 2011). On dénombre trois ordres, contenant chacun une famille et un genre selon (Reviere, 2003)

Tableau 1 : Systématiques des Glaucophyta (Reviere, 2003).

Ordre	Famille	Espèce
Cyanophorales	<i>Cyanophoraceae</i>	Ex: <i>Cyanophora paradoxa</i>
Gloeochaetales	<i>Gloeochaetaceae</i>	Ex: <i>Gloeochaeta wittrockiana</i>
Glaucocystales	<i>Glaucocystaceae</i>	Ex: <i>Glaucocystis nostochinearum</i>

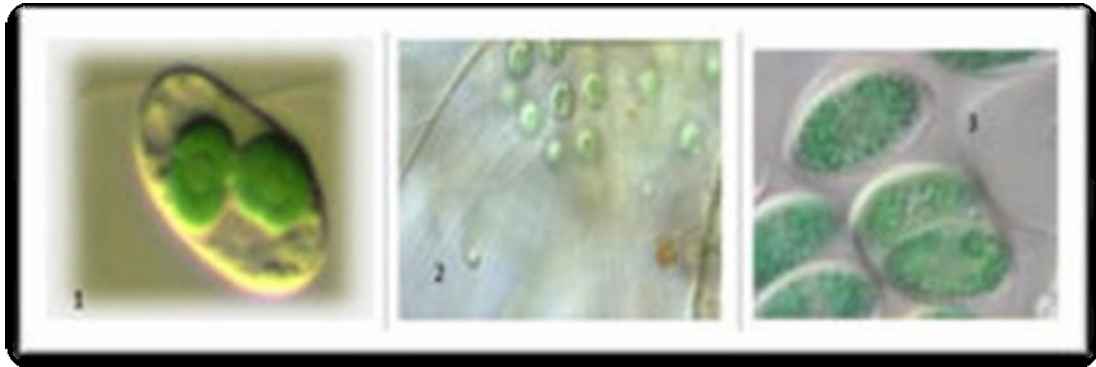


Figure 7: Quelques exemples des Glaucophyta : *1-Gyanophora paradoxa* , *2- Gloeochaeta wittrockcystis*, *3 -nostochinearum*

7.2. Embranchement des Rhodophyta

Les microalgues rouges, sont très diversifiées. Ceux-là elles doivent être caractérisées par la présence de plastides roses dans lesquels le pigment rouge, phycoérythrine, associé à d'autres pigments, dont la chlorophylle.

La majorité de ces microalgues rouges sont multicellulaires et marines, mais quelques-unes forme unicellulaire, certains vivent aussi en eau douce (**Garonl, 2004**). On dénombre environ deux classes et 700 genres, il existe plus de 10000 espèces (**Reviere, 2003 ; Ruiz, 2005**) .

Tableau 2 : Systématique des Rhodophyta (Reviere, 2003 ; Ruiz, 2005 ; Aquafuels ,2011).

Classes	Ordres	Genres	Espèces
Cyanidiophyceae	Cyanidiales	<i>Cyanidium</i>	Ex: <i>Cyanidium caldarium</i>
		<i>Cyanidioschyzon</i>	Ex: <i>Cyanidioschyzon merolae</i>
Bangiophyceae	Porphyridiales	<i>Porphyridium</i>	Ex: <i>Porphyridium cruentum</i>
		<i>Stylonema</i>	Ex: <i>Stylonema alsidii</i>
		<i>Chroodactylon</i>	Ex: <i>Chroodactylon ornatum</i>
		<i>Rhodosorus</i>	Ex: <i>Rhodosorus marinus</i>
		<i>Rhodella</i>	Ex: <i>Rhodella sp</i>
	Erythropeltidales	<i>Erythrotrichia</i>	Ex: <i>Erythrotrichia ceramicola</i>
		<i>Porphyrostromium</i>	Ex: <i>porphyrostromium ciliar</i>
	Rhodochaetales	<i>Rhodochaete</i>	Ex: <i>Rhodochaete parvula</i>
	Bangiales	<i>Bangia</i>	Ex: <i>Bangia purpurea</i>
	Compsopogonales	<i>Compsopogon</i>	Ex: <i>Compsopogon sp</i>

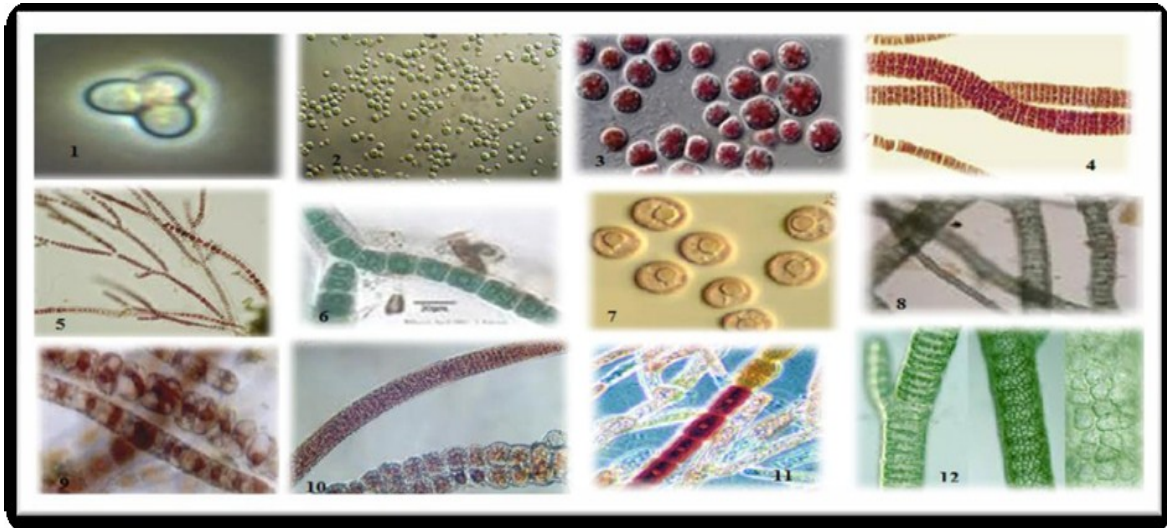


Figure 8 : Quelques espèces des Rhodophytes : 1- *Cyanidioschyzon merolae* , 2 - *Cyanidium caldarium* , 3- *Porphyridium cruentum* , 4- *Porphyro stromium ciliar*, 5- *Stylonema alsidii* , 6- *Chroodactyl onornatum* , 7- *Rhodosorus marinus* , 8- *Compsopogonopsis sp*, 9- *Erythrotrichia ceramicola* , 10 – *Porphyrostro miumciliar*, 11- *Rhodochaete parvula*, 12- *Compsopogon sp*.

7.3. Embranchement des Cryptophyta

Les cryptoalgues sont des organismes unicellulaires à flagelles, un ou deux flagelles ciliés tubulaires bipartites et les cellules recouvertes d'un périplaste constitué de plaques spéciales, elles utilisent la chlorophylle a et c, des pigments rouges ou bleus en excès ainsi que la phycobiline pour capter la lumière utilisée dans la photosynthèse. **(Richmond, 2013)**.

Le composant principal du stockage photosynthétique est l'amidon. Les cryptophyta vivent dans les zones humides marines, d'eau douce ou terrestre **(Bouamra et Hajd, 2004)**. On dénombre un seul classe et deux ordres, selon **(Reviere, 2003)**.

Tableau 3 : Systématique des Cryptophytes **(Reviere, 2003)**.

classes	Ordres	Genres	Espèces
Cryptophyceas	Goniomonadales	<i>Goniomonas</i>	<i>Ex: Goniomonas truncata</i>
		<i>Chilomonas</i>	<i>Ex: Chilomonas paramecium</i>
		<i>Cryptomonas</i>	<i>Ex: Cryptomonas platyris</i>
		<i>Pyrenomona</i>	<i>Ex: Pyrenomona salina</i>

Pyrenomonadales	<i>Rhinomonas</i>	<i>Ex: Rhinomonas sp</i>
	<i>Proteomonas</i>	<i>Ex: proteomonas sulcata</i>
	<i>Hemiselmis</i>	<i>Ex: Hemiselmis virescens</i>
	<i>Chroomonas</i>	<i>Ex: Chroomonas marinas</i>
	<i>Komma</i>	<i>Ex: Komma caudata</i>
	<i>Guillardia</i>	<i>Ex: Guillardia sp</i>
	<i>Teleaulax</i>	<i>Ex: Teleaulax acuta</i>
	<i>Geminigera</i>	<i>Ex: Geminigera cryophila</i>

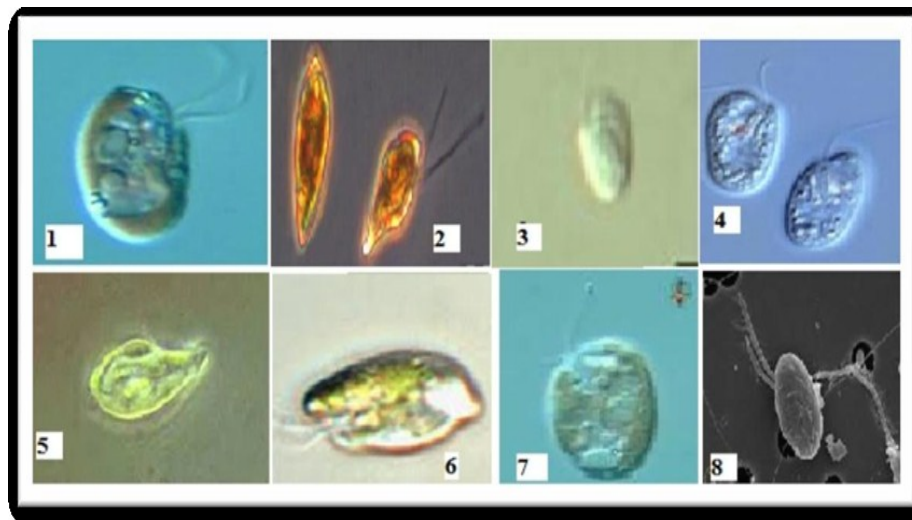


Figure 9 : Quelques espèces des Cryptophyta : 1-*Proteomonas sulcata* ,2- *Teleaulax acuta*, 3-*Goniomonas truncata* , 4-*Chilomonas paramecium*, 5-*Chroomonas marina* 6 *pyrenomona salina* ,7- *Rhinomonas sp*, 8- *Hemiselmis virescens* *Tetraparma insecta* (Lavie et al., 2008)

7.4. Embranchement Haptophyta

Haptophyta est une microalgue flagellée unicellulaire qui peuvent être passés par un stade (unicellulaire ou colonie) non flagellé. Ce sont des créatures de nature Planctonique et marine, il existe donc à la fois en eau douce et sur terre. Cette Haptophyta contient de la chlorophylle **a**, **c1** et **c2**, qui ont des plastes brun-doré avec caroténoïdes et organes spécifiques, haptonème (Barsanti, Iualtieri, 2014).

D'après **Reviere (2003)** et **Andersen (2004)**, l'embranchement compte deux classes et environ 80 genres, 300 espèces.

Tableau 4 : Systématiques des Haptophyta (**Reviere, 2003 ; Andersen, 2004**).

Classes	Ordres	Famille	Espèces
Pavlovophyceae	Pavloales	<i>Pavlovaceae</i>	<i>Ex : Pavlova gyrans</i>
Prymnesiophyceae	Phaeocystales	<i>Phaeocystaceae</i>	<i>Ex : Phaeocystis globosa</i>
	Prymnesiales	<i>Prymnesiaceae</i>	<i>Ex : Prymnesium patelliferum</i>
	Sochrysidales	<i>Isochrysidaceae</i>	<i>Ex : Chrysotila lamellosa</i>
	Coccolithales	<i>Coccolithaceae</i>	<i>Ex: Coccolithus plelayicus</i>

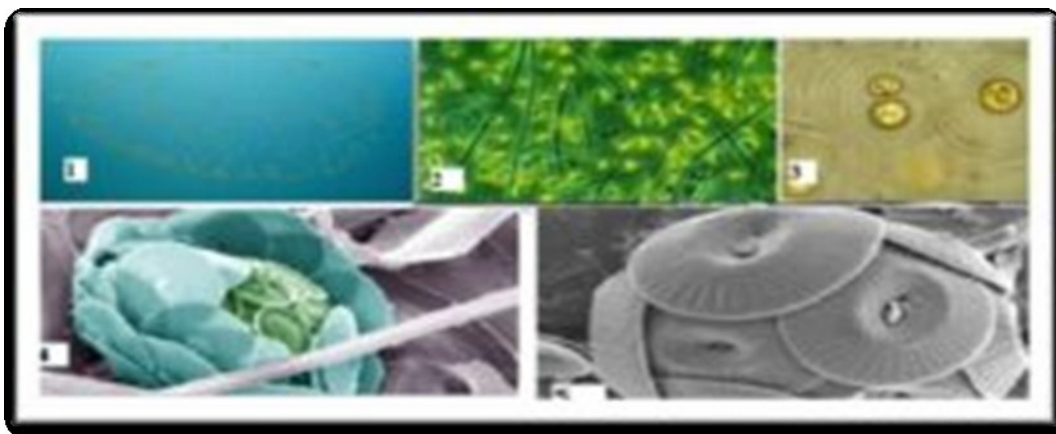


Figure 10 : Quelques exemple des Haptophyta : 1-*Phaeocystis globosa* , 2- *Prymnesium patelliferum*, 3- *Chrysotilalamellosa*, 4- *Syracosphaeraanthos*, 5- *Coccolithus plelayicu*

7.5. Embranchement Dinoflagellés

Les dinoflagellés sont des eucaryotes unicellulaires autrefois durant la période de domination protiste, ils étaient présents en eau douce (**Daoust, 2012**) mais aussi en eau Océan (90%). Nous avons remarqué l'existence de deux flagelles eucaryotes spécifiques, à savoir les algues contiennent de la chlorophylle a et c, les pigments en excès sont principalement bêta, bêta-carotène et périidinium (**Bellinger, Sige, 2010**).

Chapitre 1. Généralités sur les algues microscopiques

Cet embranchement contient 04 classes et 14 ordres et 4000 espèces réparties dans 550 genres selon (Reviere, 2003).

Tableau 5 : Systématiques des Dinoflagellés (Paulmier, 1992 et Carmelo, 1996 et Carmelo, 1997 et Reviere, 2003)

Classes	Ordres	Familles	Espèces
Dinophyceae	Ptychodiscales	<i>Ptychodiscaceae</i>	<i>Ex: Balechinac oerulea</i>
	Prorocentrales	<i>Prorocentraceae</i>	<i>Ex: Prorocentrum lima</i>
	Dinophysiales	<i>Dinophysiaceae</i>	<i>Ex: Dinophysis acuminata</i>
	Phytodinales	<i>Phytodiniaceae</i>	<i>Ex: Cystodinium steinii</i>
	Gymnodinales	<i>Gymnodiniaceae</i>	<i>Ex: Aphidinium bipes</i>
		<i>Warmonxiaceae</i>	<i>Ex: Nematodinium armatum</i>
		<i>Polykrihaceae</i>	<i>Ex: Polykrihos schwartzii</i>
		<i>Lophodinaceae</i>	<i>Ex: Herdmania litoralis</i>
Peridinales	<i>Peridinaceae</i>	<i>Ex: Protoperidinium oceanicum</i>	
Dinophyceae	Gonyaulacales	<i>Gonyaulacaceae</i>	<i>Ex: Gambierdiscus toxicus</i>
	Suessiales	<i>Biecheleriaceae</i>	<i>Ex: Biecheleria baltica</i>
		<i>Borghiellaceae</i>	<i>Ex: Borghiella tenuissima</i>
		<i>Suessiaceae</i>	<i>Ex: Sussia swabina</i>
		<i>Symbiodiniaceae</i>	<i>Ex: Symbiodinium voratum</i>
	Nannoceratopsiales	<i>Nannoceratopsiaceae</i>	<i>Ex: Nannoceratopsis gracilis</i>
	Desmocapsales	<i>Desmocapsaceae</i>	<i>Ex: Desmocapsa sp</i>
Blastodiniphyceae	Blastodinales	<i>Blastodiniceae</i>	<i>Ex: Blastodinium pruvoti</i>
Noctiluciphyceae	Noctilucales	<i>Noctilucaceae</i>	<i>Ex: Noctiluc sp</i>
Syndiniophyceae	Syndiniales	<i>Syndiniceae</i>	<i>Ex: Syndini sp</i>

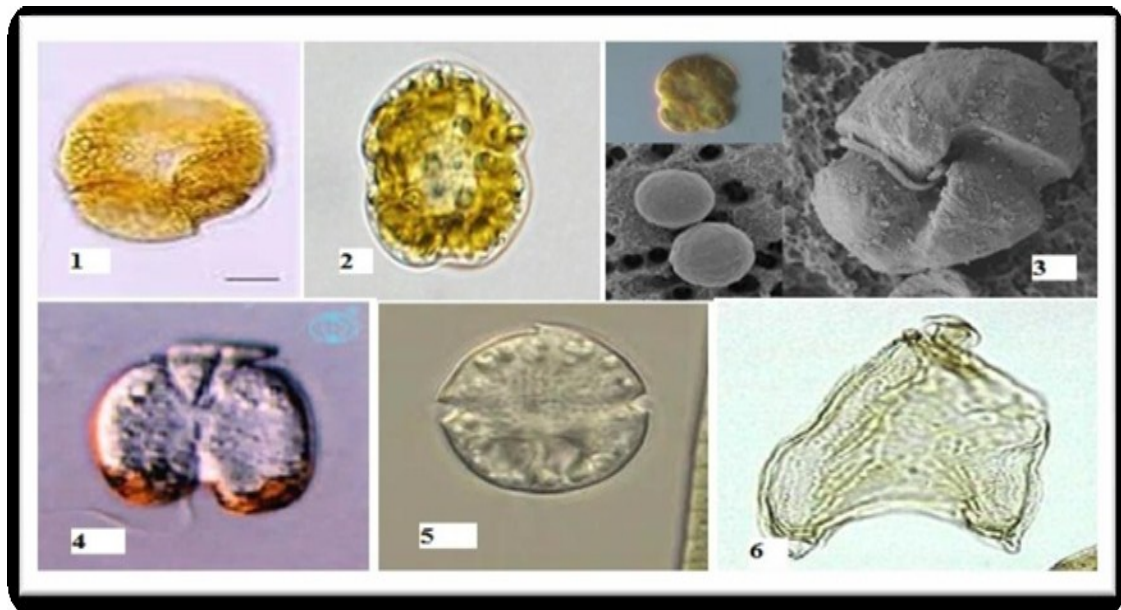


Figure 11 : Quelques espèces des Dinoflagellés : 1-*Borghiella tenuissima*, 2-*Biecheleria baltica*, 3-*Symbiodinium voratum*, 4-*Herdmania litoralis*, 5- *Amphidinium bipes*, 6- *Nannoceratopsis gracilis*.

7.6. Embranchement Chlorophyta

Les microalgues vertes constituent la majorité des algues et sont eucaryotes photosynthétiques caractérisées par la présence de chloroplastes et de chlorophylle a et b (**Bux, 2013**). Les chlorophytes sont abondants en eau douce et peuvent se développer en mode unicellulaire ou en colonies (**Dore, 2009**).

Selon **Belanger (2007)** et **Delaux (2011)**. Cet embranchement compte 04 classes et 14 ordres et environ 520 genres.

Tableau 6 : Systématiques des Chlorophyta (Bourrelly, 1990 ; Belanger, 2007 ; Delaux, 2011)

Classes	Ordres	Familles	Espèces
Euchlorophycées	Volvocales	<i>Pyramimonaceae</i>	Ex: <i>Pocillomonas flosaquae</i>
		<i>Tétraselmiacées</i>	Ex: <i>Tétraselmis subcordiformis</i>
Euchlorophycées	Volvocales	<i>Pyramimonaceae</i>	Ex: <i>Chloraster gyranus</i>
		<i>Chlamydomonadacées</i>	Ex: <i>Chlamydomonas reinhardtii</i>
		<i>Vlvocacée</i>	Ex: <i>Volvox aureus</i>
		<i>Spondylomoracées</i>	Ex: <i>Spondylomorump</i>
		<i>Pédimonadacées</i>	Ex: <i>Pedinomonas minor</i>
		<i>Phacotacées</i>	Ex: <i>Pedinopoera granulosa</i>
		Tétrasporales	<i>Tétrasporacées</i>
	<i>Gloécocystacées</i>		Ex: <i>Gloeococcus pyriformis</i>
	<i>Chlorangiellacées</i>		Ex: <i>Chloremys sessilis</i>
	<i>Hypnomonadacées</i>		Ex: <i>Actinochloris sphaerica</i>
	Chlorococcales	<i>Chlorococcacées</i>	Ex: <i>Neochloris aquatica</i>
		<i>Palmellacées</i>	Ex: <i>Palmella miniata</i>
		<i>Hormotilacées</i>	Ex: <i>Hormotila mucigena</i>
		<i>Oocystacées</i>	Ex: <i>Chlorella vulgaris</i>
		<i>Radiococcacée</i>	Ex: <i>Radiococcus nimbatus</i>
<i>Micractiniacées</i>		Ex: <i>Golenkinia radiata</i>	
<i>Dictyosphaeriacées</i>		Ex: <i>Westella botryoides</i>	
<i>Scénédesmacées</i>		Ex: <i>Scenedesmus protuberans</i>	

		<i>Hydrodictyacées</i>	<i>Ex: Pediastrum boryanum</i>
		<i>Coccomyxacées</i>	<i>Ex: Dactylothece brauni</i>
Ulothricophycées	Ulothricales	<i>Ulothricacées</i>	<i>Ex: Chlorhormidium nitens</i>
		<i>Microsporacées</i>	<i>Ex : Microspora sp</i>
		<i>Cylindrocapsacées</i>	<i>Ex : Cylindrocapsa sp</i>
	Chaetophorales	<i>Chlorosarcinacées</i>	<i>Ex: Chlorosarcinopsis minor</i>
		<i>Chaetophoracées</i>	<i>Ex: Desmococcus vulgaris</i>
		<i>Chaetosphaeridiacées</i>	<i>Ex: Chaetotheke reptans</i>
		<i>Coléochaetacées</i>	<i>Ex: Coleochaete scutata</i>
		<i>Dicranochaetacées</i>	<i>Ex: Dicranochaeten sp</i>
	Sphaeropléales	<i>Sphaeroplécées</i>	<i>Ex: Sphaeroplea tritacarinata</i>
Siphonales	<i>Prtosiphonacées</i>	<i>Ex: Protosiphon botryoides</i>	
Zygophycées	Zygnématales	<i>Zygnématacées</i>	<i>Ex: Mougeoliella collospora</i>
		<i>Mésotaeniacées</i>	<i>Ex: Gonatozygona culeatum</i>
		<i>Desmidiacées</i>	<i>Ex: Triploceras gracile</i>

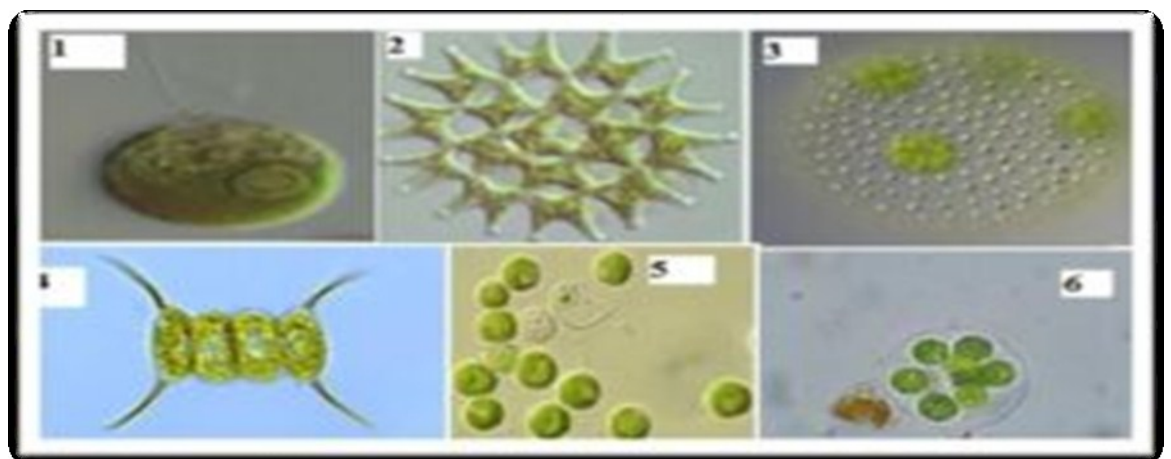


Figure 12 : Quelques espèces des Chlorophytes : *Chlamydomonas reinhardtii*, 2- *Pediastrum boryanum*, 3- *Volvox aureus*, 4- *Scenedesmus protuberans*, 5- *Chlorella vulgaris*, 6- *Palmella miniata* (LELIAERT et al, 2012) et (Algaebase.org.)

7.7. Embranchement Euglenophyta

Euglenophyta, ces microalgues sont unicellulaires, flagellées et rarement grégaires. Lorsque les euglènes sont des colonies elles perdent des flagelles, trouvées typiquement en eau saumâtre, douce et marine (Cantin, 2010).

Le plaste contient Chlorophylle a et b, liées au β , β -carotène et aux xanthophylles. Ils ont ce qu'on appelle une pellicule (Barsanti et Gualtieri, 2006).

Cet embranchement composant un seul classe, 3 ordres et environ 40-50 genres, 650 à 1050 espèces (Delgado et al., 2007 ; Edward L (2008) et Costica (2009).

Tableau 7 : Systématiques des Euglenophytes (Delgado et al., 2007 ; Edward, 2008 ; Costica, 2009).

Classes	Ordres	Familles	Espèces
Euglenophyceae	Euglenoales	<i>Euglenoacées</i>	<i>Ex : Euglena ehrebergii</i> <i>Ex : Euglen aacus</i> <i>Ex : Phacus triqueter</i>
	Heteronematales	<i>Heteronemataceae</i>	<i>Ex: Peranema trichophorum</i>
	Eutreptiale	<i>Eutreptia</i>	<i>Ex : Eutreptia pertyi</i> <i>Ex : Distigma proteus</i>

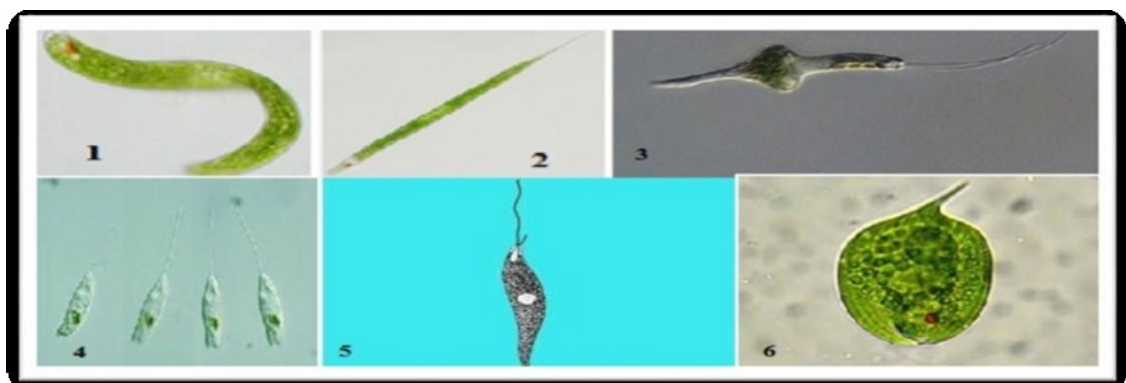


Figure 13 : Quelques espèces des Euglenophytes : 1- *Euglena ehrebergii*, 2- *Euglena acus*, 3-*Eutreptia pertyi*, 4- *Peranema trichophorum*, 5- *Distigma proteus*, 6 –*Phacus triqueter*. (Algaebase.org.)

7.8. Embranchement Ochrophyta

Ochrophyta sont des microalgues brun doré appelées microalgues brunes. Cette Charophyta se caractérise par la présence de plastes à 04 membranes (endosymbiotique secondaires) les chlorophylles a et c comportent une lamelle périphérique, ces cellules flagellées hétérodontées, l'un des deux flagelles a des mastigonèmes tubulaires triples (Amirouche et al., 2009).

Selon Reviere (2003), Not (2004) et Lavoie et al., (2008), les Ochrophyta sont subdivisés en 12 classes et 20 ordres.

Tableau 8 : Systématiques des Ochrophyta (Reviere, 2003 ; Not, 2004 ; Lavoie et al., 2008).

Classes	Ordres	Familles	Espèces
Diatomophyceae ou Bacillariophyceae	Centrales	<i>Centraceae</i>	Ex : <i>Cyclotella stelligera</i>
	Pennales	<i>Fragilariaceae</i>	Ex: <i>Diatoma tenuis</i>
		<i>Achnanthaceae</i>	Ex: <i>Cocconeis pediculus</i>
		<i>Eunotiaceae</i>	Ex: <i>Eunotia incisa</i>
		<i>Surirellasées</i>	Ex: <i>Surirella angusta</i>
		<i>Epithemiacées</i>	Ex: <i>Epithemia sorex</i>
		<i>Bacillariacées</i>	Ex: <i>Bacillaria paradoxa</i>
	<i>Navculacées</i>	Ex: <i>Navcula laceolata</i> Ex: <i>Frustulia volgaria</i>	
Bolidophyceae	Bolidales	<i>Bolidaceae</i>	Ex: <i>Bolidomonas pacifica</i>
Parmophyceae	Parmales	<i>Parmaceae</i>	Ex : <i>Tetraparma insecta</i>
Pelagophyceae	Pelagomonadales	<i>Pelagomonadaceae</i>	Ex : <i>Aureococcus anophagefferens</i>

	Sarcinochrysidales	<i>Sarcinochrysidaceae</i>	Ex : <i>Aureoumbra lagunensis</i>
Dictyochophyceae	Dictyochales	<i>Dictyochaceae</i>	Ex: <i>Dictyocha sp</i>
	Pedinellales	<i>Pedinellaceae</i>	Ex: <i>Apedinella spinifera</i>
	Rhizochromulinales	<i>Rhizochromulinaceae</i>	Ex: <i>Rhizochromulina marina</i>
	Ciliophryales	<i>Ciliophryaceae</i>	Ex: <i>Ciliophrys infusionum</i>
Raphidophyceae	Raphidophdomondales	<i>Vacuolariaceae</i>	Ex: <i>Vacuolaria virescens</i>
Phaeothamniophyceae	Phaeothamniales	<i>Phaeothamniaceae</i>	Ex: <i>Phaeobotrys solitaria</i>
Chrysomerophyceae	Chrysomeridales	<i>Chrysomeridaceae</i>	Ex: <i>Chrysomeris ramosa</i>
Eustigmatophyceae	Eustigmatales	<i>Monodopsidaceae</i>	Ex: <i>Nannochloropsis oculata</i>
Pinguiophyceae	Pinguiochrysidales	<i>pinguiochrysidaceae</i>	Ex: <i>Phaeomonas parva</i>
Chrysophyceae	Synurales	<i>Synuraceae</i>	Ex: <i>Synura uvella</i>
	Hibberdiales	<i>Hibberdiaceae</i>	Ex: <i>Hibberdia magna</i>
	Chromulinales	<i>Chromulinaceae</i>	Ex: <i>Chromulina grande</i>
	Chrysosphaerales	<i>Chrysosphaeraceae</i>	Ex: <i>Chrysosphaera nitens</i>
	Phaeoplacales	<i>Phaeoplacaceae</i>	Ex: <i>Phaeoplaca thallosa</i>
	Hydrurales	<i>Hydruraceae</i>	Ex: <i>Hydrurus foetidus</i>

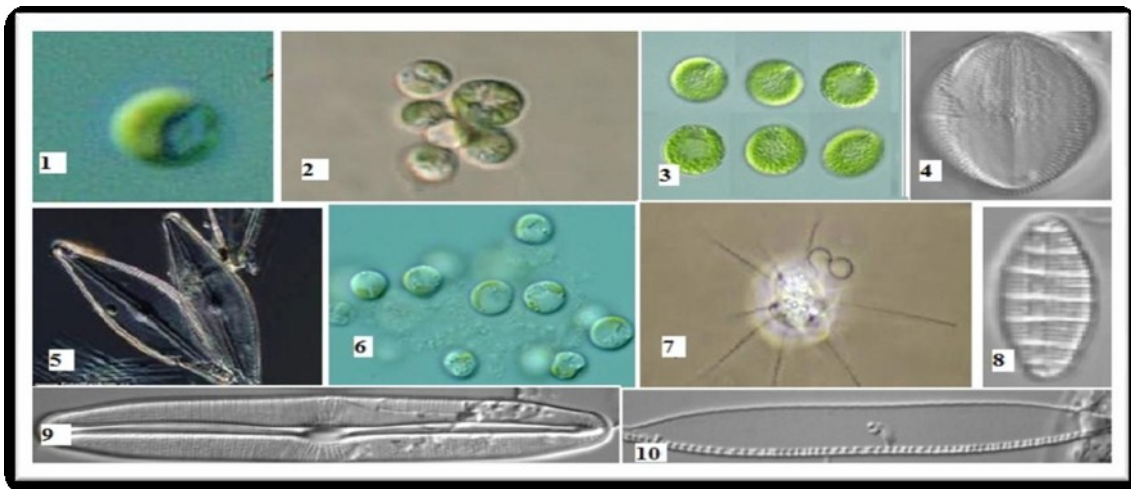


Figure 14 : Quelques exemples des Orchophytes : 1-*Aureococcus vanophgerrens*, 2-*Nannochloropsis oculata*, 3- *Vacuolaria virescens*, 4- *Cocconeis pediculus*, 5- *Naviculala ceolata*, 6- *Aureoumbra lagunensis* ,7- *Ciliophrys infusionum* , 8-*Nitzschia palea* , 9- *Frustulia vulgaris* , 10- *Tetraparma insecta* (Lavie et al., 2008) et (Algaebase.org.)

8. Systématique des procaryotes

Les microalgues procaryotes contient un seul embranchement les quelle

8.1. Embranchement des Cyanobactéries

Les cyanobactéries, également appelées microalgues bleues, Gram négatif. De nombreux pigments sont présents dans les cellules : la chlorophylle a et c, la phycoérythrine, phycocyanine et les pigments associés β -carotène et Lutéine. Certaines espèces n'ont que de la chlorophylle. Les plastes ne portent pas ces pigments, mais ils diffusent dans le cytoplasme et donnent à la cellule une couleur uniforme, généralement bleu verdâtre (Groga, 2012).

Tableau 9 : Systématiques des Cyanophytes (Bouamara, Hadjd, 2004 ; Thomazeau, 2006).

Classes	Ordres	Familles	Espèces
Coccogonophyceae	Chroococcales	<i>Chroococcaceae</i>	<i>Ex : Chroococcus turgidus</i> <i>Ex : Merismopedia elegans</i>
		<i>Chamaesiphonaceae</i>	<i>Ex : Chamaesiphon curvates</i>
	Pleurocapsales	<i>Pleurocapsaceae</i>	<i>Ex : Pleurocapsa minor</i>
Hormogonophyceae	Oscillatoriales	<i>Oscillatoriaceae</i>	<i>Ex : Oscillatoriamargaritifera</i>
	Nostocales	<i>Nostocaceae</i>	<i>Ex : Anabaena spiroides.</i>
	Stigonematales	<i>Stigonemataceae</i>	<i>Ex : Stigonema mamillosum</i>

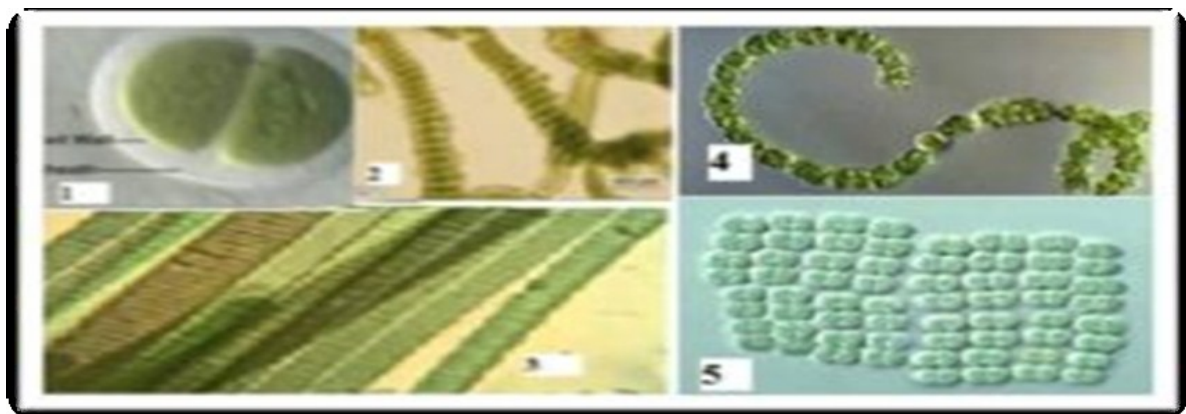


Figure 15 : Quelque exemple des Cyanophytes 1- *Chroococcus turgidus*, 2- *Stigonema mamillosum*, 3- *Oscillatoria margaritifera*, 4- *Anabaena spiroides*, 5- *Merismopedia elegans*.

9. Écologie et habitat

9.1. Facteurs de répartition des algues

Le développement des microalgues est influencé par multiples paramètres environnementaux physiques ou biologiques selon les caractéristiques inhérentes à la géométrie des algues et des systèmes de production. Les facteurs non biotiques comme : lumière, sources carboniques, éléments minéraux, température, pH et salinité, niveaux d'O₂, et les facteurs biologiques : agents nocifs : (des bactéries, des champignons, des virus), concurrents des ressources (les algues externes) ou prédateurs (copépodes, hydres). Pour les derniers, la problématique est énorme traitée partiellement les algues qui poussent dans les milieux extrêmes, comme l'eau à haute teneur en sel (*ex. Dunaliella salina*) ou super alcaline (*ex. Spiruline*) pour limiter la croissance des prédateurs et micro-organismes concurrents (Khaldi., Zeggaoui, 2014).

❖ Température

Les algues sont très sensibles au changement climatique et aux changements environnementaux de température. C'est un facteur écologique qui détermine leur succession et leur répartition. C'est un facteur qui détermine leur répartition géographique. Ce paramètre favorise la germination ou restaure l'activité végétative en activant plusieurs enzymes thermosensibles nécessaires à la photosynthèse, respiration et croissance des algues (Berkani, 2021).

❖ Lumière

Comme tout organisme photosynthétique, les algues microscopiques trouvent leurs énergies dans la lumière. Cela a un grand impact sur la composition du mélange : production de biomasse et taux de croissance. S'il n'y a pas de lumière, la production de matière organique et l'excès de lumière peuvent causer un phénomène de photoinhibition. On obtiendra la meilleure vitesse de photosynthèse avec des cycles alternés de lumière et d'ombre (Giuliana, 2010).

- Pendant l'éclairage, l'énergie lumineuse est absorbée et transformée en énergie chimique qui permet la fabrication d'enzymes (NADPH₂, ATP).
 - Durant la phase d'ombre, le NADPH₂ et l'ATP sont employés pour diminuer le dioxyde carbonique et aussi le transformer vers des molécules de nature organique (Giuliana, 2010).

❖ Salinité du milieu :

Les variations de salinité d'un milieu ont comme résultat un stress osmotique et ionique (sel), qui peut entraîner la formation de précipités et aussi la teneur de lipide chez les algues. Durant un stress ionique chez certaines espèces qui appartient au genre : *Dunaliella*, y a une augmentation au niveau du caroténoïde qui provoque l'inhibition du développement (Meftah et Mchegue, 2021).

❖ Eléments nutritifs

La croissance algale est liée d'une façon obligatoire à l'absorption de certains éléments nutritifs : dioxyde de carbone, phosphate, azote, et de fer. Le CO₂ est assimilé à partir de l'atmosphère. Une partie de 0.03 % du gaz carbonique de l'air se décompose selon la température et les turbulences d'eau. Les algues microscopiques vont consommer rapidement ce gaz ou il peut former des coquilles calcaires. Concernant le reste des nutriments, ils sont amenés à partir des courants d'eaux provenant de la terre, puis sont transférés par ruissellement ou par infiltration (Jean-Yves, 2010).

❖ PH

Chaque espèce pousse dans une plage de pH définie, avec un pH optimal de croître. Des changements sévères du pH peuvent endommager la membrane cytoplasmique des algues ou peuvent inhiber l'activité des transporteurs membranaires et des protéines. Ces changements de pH externe modifient également l'ionisation des molécules nutritives, réduisant ainsi leur disponibilité pour les algues (Thu Hien, 2012).

Les algues modifient souvent le pH de leur propre habitat en produisant des déchets Métaboliques acides ou alcalins. Un tampon de pH est généralement inclus dans le milieu pour éviter l'inhibition du développement en raison de changements importants du pH. Le tampon phosphate est utilisé en plus (Thu Hien, 2012).

Tableau 10 : Présente les facteurs influent la croissance algale. (Ouraiss, 2021)

Abiotique	Luminosité
Physique / Chimique	Température Concentration des nutriments O ₂ PH Produits toxiques
Biotique	Pathogènes (virus, champignons, bactéries) Compétition parmi les espèces

9.2. Milieux de vie

Les algues microscopique sont présentent dans tous les écosystèmes terrestres existants, tant aquatique et terrestres .Et peuvent s'épanouir dans un large éventail des conditions environnementales y compris l'eau marine, saumâtre, douce, et même l'eau usée (Reda et al., 2011).

De même, quelques espèces colonisent des milieux à forte salinité, alcalins ou acides. De plus, certaines espèces peuvent survivre dans des grottes, sous des formes symbiotiques avec tout type d'organismes (vivent en symbiose avec des champignons pour former les lichens), et même des parasites humains. Elles sont capables de pousser sur des surfaces dures, tels que des murs ou des troncs d'arbres, (Pleurococcus, *Chlorophyte*) et même le sol (*Nostoc*). Certaines espèces ont la particularité de pousser même dans des conditions de très faible luminosité (Khaldi ., Zeggaoui , 2014) .

- **Les algues des eaux**

Leur développement se limite à la couche d'eau qui éclaire aux rayons de soleil qui constitue une source énergétique nécessaire à la photosynthèse.

- **Les algues des terres**

Ces milieux doivent être humides et exposés à la lumière. *Trentepohlia* est un genre d'algue microscopique qui se trouve sur les pignons ouest des maisons bretonnes qui sont exposés aux vents dominant et à la pluie (Jean –Paul, 1997)..

- **Les algues en symbiose**

Les zooscanthalles sont des algues unicellulaires qui vivent à l'intérieur des cellules d'animaux. Les coraux bâtisseurs de récifs ne peuvent vivre sans ces algues microscopiques qui fournissent par la photosynthèse les nutriments indispensables à leur développement (Jean –Paul, 1997).

10. Reproduction

Les algues microscopiques sont comme tous les êtres vivants. Leur reproduction vise à perpétuer l'espèce, elle présente un cycle de reproduction qui alterne deux phases successives : la phase sexuée et asexuée. Chaque une constitue une génération caractérisée par un type d'organisme individualisé (Jean- Paul, 1997):

- **Gamétophyte** : qui conduit à la production des cellules reproductrices sexuée : les gamètes de type mâle ou femelle (Jean- Paul, 1997).
- **Sporophytes** : qui produit des cellules reproductrices asexuées, sont les spores (Jean- Paul, 1997).

10.1. La reproduction sexuée

Ce type est le moins courant, le plus aléatoire, est généralement associé à des conditions environnementales spécifiques et est souvent multifactoriel (Aissaoui ., Zarza, 2021). Au cours de cette phase s'effectue l'union de deux cellules reproductrices, ou gamètes, mâles et femelles produit un œuf, ou zygote diploïde (Zitouni, 2015 et Aissaoui ., Zarza, 2021).

10.2. La reproduction asexuée

Dans la majorité des cas, la reproduction des algues se produit par reproduction asexuée. Ce type implique la division d'une cellule isolée (cas des algues bleues), ou la division d'une cellule, conduisant à la formation de plusieurs organismes identiques. Il le fait généralement en formant des cellules spécialisées : les spores (Bousmaha ., Kebrit , 2021).

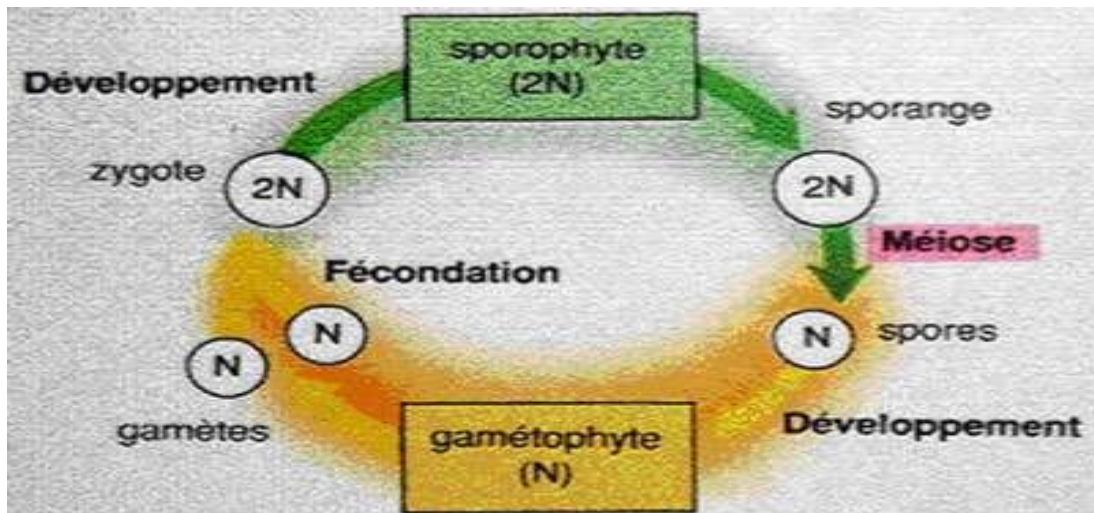


Figure 16 : Cycle général de reproduction de l'algue. (Claire, 2018)

11. Modes de nutrition

Les algues microscopiques ont des besoins nutritifs parallèles à ceux des plantes supérieures, leur croissance peut passer d'un type photoautotrophe ou hétérotrophe ou mixotrophe (Aissaoui., Zara, 2021)

- **Photo-autotrophe :** ce type nutritionnel permet aux microalgues d'utiliser la lumière pour synthétiser leur énergie. Dans ce mode elles consomment le dioxyde de carbone comme source inorganique de carbone pour synthétiser le carbone organique qui joue un rôle important dans la fabrication de toute les constituants organiques indispensables à leurs survies (Ouraiss, 2021)
- **Hétérotrophe :** ce type de croissance est lié à des organismes qui fonctionnent dans l'absence de la lumière en utilisant l'énergie chimique avec le carbone issu d'autres matières organiques (Oumane, 2020).
- **Mixotrophe :** la mixotrophie est une variante entre l'hétérotrophe et la photoautotrophe. En effet, ces algues microscopiques métabolisent l'énergie en type hétérotrophe lorsque les rayons solaires sont absents et lorsque la source du carbone organique est disponible, donc l'inhibition de développement des chloroplastes (Ouraiss, 2021).

Tableau 11 : Représente les modes de nutrition des microalgues (Aissaoui et Zarza, 2021)

Microalgues	Source carbonique	Source énergétique
Photoautotrophe	CO ₂	Lumière
Photohétérotrophe	Composés organiques	Lumière
Chimioautotrophe	CO ₂	Oxydation des composés organiques ou non organiques
Chimiohétérotrophe	Composés organiques	Oxydation des composés organiques ou minéraux

CHAPITRE 2 :
Les algues microscopiques
extremophiles et leurs
potentialités

1. Milieux extrêmes

On appelle milieu extrême, tout milieu qui a des conditions de vie mortelles pour la majorité des autres organismes : température proche ou supérieure à 100 °C ou inférieure à 0 °C, une pression exceptionnelles (grand fonds marin), des milieux très riches en sel, une grande acidité ou hyper alcalins, aussi milieux radioactifs ou sans oxygène ou non éclairé (Bahoussi, 2011).

Ces milieux sont colonisés par des organismes extrémophiles. On distingue des extrémophiles strictes : exigent des conditions extrêmes pour la survie et la multiplication et les extrémotolérants : ce type d'organismes tolère des conditions extrêmes mais capable de se multiplier dans des conditions plus modérées (Alison, 2017)



Figure 17 : Quelques exemples sur les milieux extrêmes

a : Atacama (Chili), **b** : Parc du Yellowstone, **c** : Lacs acides du désert de Daliol au nord de l’Ethiopie, **d** : La mer morte

2 . Conditions extrêmes

- **Température élevée** : 121°C .Strain 121 (Fumeurs du Pacifique)
- **Basse température** : -15°C. (*Crypto endoliths*)
- **Radiation** : 5 MRad, (*Deinococcus radiodurans*)

- **Gravité** : 1 millions de g . (*Escherichi coli*)
- **Profondeur** : 3 ,2 km sous terre, 12 km sous mer (*Bacillus Infernus*)
- **Milieu acide** : ph 01 (la plus part des organismes vivent dans un milieu 100000 × moins acide). *Thiobacillus*.
- **Milieu basique** : ph 12 ,8 (la plus part des organismes vivent dans un milieu 1000 × moins basique)
- **Espace** : 6 ans de survie dans un vide. *Bacillus subtilis* (sur un satellite de la NASA)
- **Forte pression** : 1200 × la pression atmosphérique ou 12 km
- **Forte salinité** : 300 g / l en mer morte (Haloarcula) (**Bahoussi, 2011**).

3. Microorganismes extrêmophiles

Les microorganismes extrêmophiles sont caractérisés par l'existence dans des milieux caractérisés par des conditions de vie non ordinaires, ces microorganismes possèdent une grande capacité d'adaptation à des conditions non faciles de la vie (**Zettam, 2013**). La diversité des microorganismes dans un milieu extrême varie selon le niveau d'extrémophilie et les sources d'énergie et aussi des accepteurs et des donneurs des électrons (**Yousfi, 2013**).

Les premiers extrêmophiles isolés sont parmi les halophiles (des grecs halos, sel) existés dans un milieu en dehors des environnements normaux : la mer morte, cet endroit a des concentrations en sels très élevées (**Aissaoui, 2013**)

❖ On distingue :

- **Les psychrophiles et thermophiles** : qui se développent respectivement à des températures proches de 0 °C (zone polaire) ou voisines du point d'ébullition de l'eau (100 °C) au niveau des sites hydrothermaux d'origine océanique profond ou des geysers.
- **Les barophiles** : supportent des pressions allant jusqu'à 1 000 bars (source hydrothermale d'origine océanique profonde).
- **Les alcalophiles et les acidophiles** : peuvent pousser dans des milieux où le pH atteint 10 ou 01 (lac de soude africain, effluents miniers).

- **Les halophiles** : sont trouvée par exemple dans les marais salants et dont la concentration saline est voisine à la saturation (de 20 à 35 %). **(Djaber, 2013)**.

3.1. Les micro-organismes psychrophiles

Sont des micro-organismes adaptés au froid qui peuvent vivre dans Différents environnements : régions arctiques, glaciers avec des températures inférieures à zéro, et Les températures des fonds marins sont légèrement positives (environ 4°C) ETC.... Selon la classification la plus large, la température de croissance optimale des micro-organismes psychrophiles est de 15°C à 20°C, certains peut être développé en dessous de 0°C. Soi-disant bactéries tolérance psychologique, sa température optimale se situe entre 20°C et 35°C **(Benaballah, 2014)**.

Aux deux extrêmes, qui sont Alpha- et gamma-protéobactéries et *Flavobacterium cytophaga* qui dominant. Les archées représentent 30 % de la population totale, dont un la plupart des méthanogènes. Les genres bactériens les plus courants sont : *Altomonas*, *Colwellia*, *Glacieola*, *Pseudoalteromonas*, *Shewanella* et *Polaribacter* **(Bbenabdallah., 2014)**.

3.2. Les microorganismes thermophiles

La relation entre les micro-organismes vivants et la température a longtemps été Considéré en biologie comme un élément essentiel de la classification. Quatre groupes selon la température optimale de croissance sont définis : Psychrophiles : la température optimale de développement est inférieure ou égale à 15°C, Mésophiles : une température optimale se situe entre 20 et 45°C, Thermophiles qui se développent en 55°C et 60°C, et enfin les hyperthermophiles qui poussent dans des températures optimale de croissance supérieure ou égale à 80°C **(Bouamoucha et al., 2008)**.

Microorganisme thermophile, du grec thermê = chaleur, philein = aimer, est un organisme capable de survivre et de se reproduire à 55°C ou plus, Il a une température minimale d'environ 45°C et une température optimale entre 55°C et 65°C. La plupart peuvent être considérés comme des thermophiles légers, D'autres sont considérés comme hyperthermophiles parce qu'ils peuvent croître à des températures très élevées supérieures à 100°C. Les champignons thermophiles sont caractérisés par une température minimale de

croissance de 20°C et une température maximale de 61°C et une température optimale entre 45 °C et 55°C (Bouamoucha et al., 2008).

3.3. Microorganismes halophiles

Sont des organismes qui vivent dans des environnements hypersalins. Ils comprennent principalement des micro-organismes procaryotes et eucaryotes, capables d'équilibrer la pression osmotique environnementale et de résister à la dénaturation du sel. Il existe une grande variété de milieux salins et hypersalins d'écosystèmes terrestres et aquatiques. Ils sont habités par des micro-organismes halotolérants et halophiles (Bouamoucha et al., 2008).

Selon les exigences en NaCl, les micro-organismes sont divisés en deux types groupés :

- **Halophiles** : le sel (NaCl) est nécessaire à la croissance, cette concentration varie entre 1-6% (W/V) pour les halophiles faibles, jusqu'à 15-30% pour les halophiles fortes. Bactéries halophiles extrêmes.

- **Halotolérants** : acceptent des concentrations modérées de sel, mais pas obligatoires pour leur croissance. Légèrement toléré (6 % à 8 % chlorure de sodium (P/V) ; modérément toléré (18 à 20 % de NaCl (P/V); et extrêmement tolérant (de 0% à la saturation en NaCl). (Manseur., Yahiaoui, 2018)

➤ Quelle que bactéries des milieux hypersalins (*Enterobacter chloacae*, *Staphylococcus haemolyticus*, *Pseudomonas fluorescens*) (Boum'handi et al., 2018).

3.4. Microorganismes acidophiles

Un microorganisme est acidophile s'il se croit dans des conditions à pH égale à 2, il est caractérisé par la colonisation des environnements acides , d'autre part les acido-tolérants peuvent développer dans des milieux à pH mécanismes expulsent les protéines intracellulaires du corps pour leur stabilité (Nas., 2013).

3.5. Microorganismes alcalophiles

Le mot "alcalophiles" est lié à des micro-organismes qui se développent d'une façon optimale à des valeurs de pH supérieures à 9, généralement entre 10 et 12, mais ne peuvent pas se développer lentement dans des milieux à pH presque neutre (6,5) (Roguia., 2020).

4. Classification des microorganismes extrémophiles

Les microorganismes extrémophiles peuvent classés en des groupes, en fonction des paramètres de croissance, et selon les conditions d'existence (**Benabdallah., 2014**).

Tableau 12 : Représente la classification des extrémophiles (**Zettam., 2013**).

Type	Caractéristiques de croissance
Thermophiles	Température >80 °C (hyperthermophiles) et 60- 80 °C (thermophiles)
Psychrophiles	Température < 15°C
Halophiles	Concentration élevée de sel
Alcalophiles	PH > 9
Acidophiles	PH < 2-3
Piezophiles	Haute pression

5. Algues microscopiques extrémophiles

Les micro-organismes photosynthétiques notamment les algues occupent la plupart des environnements terrestres éclairés par la lumière visible, parmi ces habitats se trouvent plusieurs lieux qui sont du point de vue anthropocentrique inhospitaliers et différents des lieux normaux .les microbes présents dans ces environnements sont appelés extrémophiles nous pourrions supposer que ces extrémophiles considèrent leurs habitats difficiles comme une oasis ou un paradis (**Seckbach., 2007**).

Non seulement les bactéries et les archées, qui sont connues pour être flexibles et peuvent occuper presque toutes les niches et faire face à plusieurs habitats, mais aussi les algues font partie des extrémophiles. Ces algues extrémophiles sont classées en différentes catégories selon le caractère extrême de leurs environnements (**Seckbach, 2007**).

Cyanidium caldarium et *Galdieria sulphuraria*, sont des extrémophiles qui peuvent prospérer à des températures élevées et à un pH acide, ils se développent rapidement à 50°C et pH 1 (Pratibha., Sachin , 2022).

6. Ecologie des algues microscopiques extrémophiles

- Les algues thermophiles qui aiment les niveaux de température élevés poussent dans des environnements chauds tels que les sources chaudes (plus de 50 ° C) (Seckbach., 2007).
- à l'échelle de température inférieure se trouvent les amoureux du froid (psychrophiles) qui poussent dans des régions géographiques telles que l'Arctique, l'Antarctique et le pergélisol de Sibérie. Ils tolèrent les basses températures tant que le cytosol interne n'est pas endommagé par la congélation de la glace à l'intérieur des cellules, leur membrane cellulaire protège leur contenu interne par perméabilité sélective et dans certains cas les cellules produisent des composés pour fournir un effet antigel .Parmi les algues eucaryotes se trouvent les chlorophytes de glace (algues vertes) qui peignent la glace de différentes couleurs (Seckbach, 2007).
- Les algues poussent également dans des milieux alcalins ou acides. Les alcaliphiles se produisent à des plages de pH plus élevées comme dans le lac de soude en Afrique. Les acidophiles prospèrent dans les milieux acides aux gammes inférieures de l'échelle de pH, Ils se produisent, pour un exemple, dans des sources chaudes acides et des mines de charbon abandonnées. D'autre part, les algues halophiles existent dans des environnements très salés (par exemple, *Dunaliella salina*) (Seckbach, 2007).

7. Les applications des algues microscopiques

Il y a de nombreux secteurs économiques qui utilisent les algues. Ils fournissent valeur actuellement une source de nutrition et un produit précieux. Sont en augmentation, notamment en Asie où ils sont utilisés de façon directe ou indirecte comme nourriture en particulier la production de l'algine (agar et alginate). Ils sont utilisés en agriculture comme engrais et aliments pour animaux, dans les industries alimentaires et pharmaceutiques, dans le textile et dans de nombreuses autres utilisations (Chopin., 1997).

7.1. Utilisation pharmaceutiques

Les algues sont de riches sources de composés biologiquement actifs particuliers, y compris des métabolites primaires et secondaires, qui pourraient être utilisés comme candidats potentiels d'intérêt pour le secteur pharmaceutique (**Rania et Hala, 2008**).

La présence de divers composés bioactifs dans les algues est anticipée en raison de l'habitation de ces organismes dans les milieux aquatiques naturels communautés, où une concurrence inhibitrice se produit entre les producteurs et les consommateurs dans le même créneau. Les microalgues sont une source de composés bioactifs massifs qui peuvent être utilisés pour des applications commerciales (**Olaizola, 2003**).

Les algues fournissent une large gamme de produits pharmaceutiques, de protéines, de vaccins, de nutriments qui autrement ne sont pas disponibles ou sont très coûteux à produire à partir de sources animales et végétales divers produits pharmaceutiques à base de microalgues ont une grande valeur, mais leur commercialisation en est encore à ses balbutiements et, dans un avenir proche, peut être considérée comme une porte d'entrée vers une industrie de plusieurs milliards de dollars. Les microalgues ont un grand potentiel génétique pour divers agents bioactifs. Cette capacité avérée des microalgues à produire ces composés place ces micro-organismes sous le feu des projecteurs biotechnologiques pour des applications et une commercialisation comme dans l'industrie pharmaceutique. Les algues ont également été examinées en tant que sources de vitamines et de précurseurs de vitamines telles que l'acide ascorbique, la riboflavine et le tocophérol. Pourtant, seules quelques espèces de micro-algues ont été examinées pour divers produits pharmaceutiques et nutraceutiques (**Olaizola, 2003**).

Mais la grande diversité des microalgues en fait un candidat potentiel pour la découverte de divers nouveaux métabolites et composés de grande valeur. Diverses algues unicellulaires comme *Chlorella vulgaris*, *Chlamydomonas pyrenoidosa* ont montré une activité antibactérienne contre de nombreux agents pathogènes, y compris les bactéries gram positives et gram négatives à partir de son extrait cellulaire et des extraits de milieux de croissance. Peu de rapports d'activités antifongiques in vitro à partir d'extraits d'algues vertes et de diatomées ont également été obtenus. Certaines algues bleu-vert et microalgues telles que *Ochromonas sp.*, *Prymnesium parvum* sont capables de produire des substances toxiques

ayant un potentiel immense dans l'industrie pharmaceutique. (**Borowitzka et Borowitzka 1992 ; Katircioglu et al., 2006**).

De nombreuses *Cyanobactéries sp.* Sont admis aux resultants des métabolites intracellulaires et extracellulaires avec un large éventail d'activités biologiques comme l'activité antibactérienne, antifongique et antivirale (**Olson et Ingram, 1975**).

7.1.1. Activité antivirale des composés microalgaux

Activité antivirale des composés microalgaux Il est urgent d'étudier les composés antiviraux qui peuvent être dérivés des microalgues. Par exemple, sur 600 cultures de cyanobactéries, différents extraits ont été criblés pour l'inhibition des infections cellulaires comme le VIH-1 et le HSV-2, mais n'ont montré qu'un taux de réussite de 10 % (**Patterson et al., 1993**) ont isolé un nouveau composé de cynaobactéries nommé cyanovirine-N, qui a été démontré comme un puissant agent virucide contre le VIH, en bloquant la cohésion de la glycoprotéine virale gp120 avec le CD4 (**Dey et al., 2000**).

Il y a latente de développer un microbicide vaginal pertinent contre VIH basé sur ce composé (**Tsai et al., 2004**).

Spirulina platensis a montré une activité antivirale contre divers virus comme les virus cytomégalo humains, l'herpès simplex et le virus de la rougeole en bloquant leur entrée en raison de la présence de polysaccharide contenant du soufre (**Hayashi et al., 1994 ; Ayehunie et al., 1998**). Algue rouge *Porphyridium* en bloquant l'adsorption des virions contre HSV-1, HSV- 2 (**Huleihel et al., 2001**).

7.1.2. Activité anticancéreuse des composés microalgaux

L'un des composés que l'on entend privilégier à partir des microalgues est divers composés bioactifs ayant des activités anticancéreuses. Environ 1000 extraits ont été criblés à partir de cyanobactéries pour l'activité antinéoplasique isolée de l'environnement.

Cette activité a été démontrée en raison de la présence d'inhibiteurs sur la différenciation des cellules leucémiques humaines et un taux de réussite de 7% a été enregistré (**Patterson et al., 1991**) .

Dans d'autres rapports, une microalgue marine contenant divers extraits a été étudiée à l'aide de dosages basés sur des mécanismes comme diverses enzymes telles que la protéine kinase C et la protéine tyrosine kinase (**Gerwick et al., 1994**).

Une algue nommée *Poterochromonas malhamensis* a montré une inhibition de l'activité enzymatique, la protéine tyrosine kinase en raison de la présence d'un nouveau composé chlorosulfolipide. Il existe de nombreuses cyanobactéries qui sont des producteurs prometteurs de composés bioactifs et capables de détruire les cellules cancéreuses par processus d'apoptose, affectant la signalisation cellulaire en activant les enzymes de signalisation de la famille des protéines kinases C (**Boopathy et Kathiresan, 2010**).

Ces composés sont plus efficaces contre la leucémie lymphoïde implantée et le carcinome pulmonaire (**Furusawa et al., 1994**).

Un métabolite nommé cryptophycine avec une activité anticancéreuse plus élevée a été criblé à partir de *Nostoc* ATCC 53789 (**Schwartz et al., 1990**), alors qu'un inhibiteur de la sérine protéique nommé scytonémine isolé de *Stigonema*, peut fournir un médicament admirable avec des activités antiprolifératives et anti-inflammatoires (**Stevenson et al., 2002**).

7.1.3. Activité antifongique

Les contagions fongiques étaient principalement dues à des régimes de chimiothérapie intensive qui pression sur le système immunitaire du patient, la transplantation d'organes et la propagation de maladies prévalentes soulage (**Um B H, Kim, 2009**).

Le criblage des microalgues pour les composés antifongiques a commencé bien au-delà de l'activité antibactérienne. Aspergillose induite par *Aspergillus sp.* et la candidémie causée par *Candida sp.* a augmenté de manière exubérante depuis les périodes anciennes (**Hallmann, 2007 ; Song et al., 2007**).

La formulation de nouveaux médicaments et l'activité antifongique varient considérablement selon les espèces de microalgues. Les microalgues marines (par exemple, *Chaetoceros sp.*) ont plus de capacité à développer nouveaux composés antifongiques par rapport aux habitats frais (**Borowitzka et Borowitzka 1987**).

Plusieurs composés antifongiques tels que les polysaccharides, les extraits de solvants organiques, les polyéthers et les fractions lipidiques isolées des microalgues vertes (*H. pluvialis*, *Chlorella vulgaris* et *Scenedesmus sp.*) et rouges (*Porphyridium sp.* et *R. reticulata*), des bacillariophytes et des dinoflagellés montrent une activité contre des micro-organismes tels que *A. fumigatus*, *A. niger*, *Penicillium sp.*, *Saccharomyces sp.*, *Candida sp.*, *Microsporium sp.* et *E. floccosum* (Malik et al., 2001 ; Priyadarshani et Biswajit, 2012).

L'acide gambierique, puissant antifongique à éther polycyclique isolé de *Gambierdiscus toxicus*, agit contre les moisissures et les dermatophytes tandis que la diatomée *Thalassiothrix frauenfeldii* est impliquée contre les levures actives (Okuda, 2002).

L'amphidinol, un puissant antifongique isolé d'*Amphidinium klebsii*, cible la membrane des champignons, principalement la voie de biosynthèse de l'ergostérol (Ververis, Georghiou, 2007).

Les pigments produits par *H. karadagensis* ont montré une activité antifongique contre *C. maritima*, *D. salina* et *Lulworthia sp.* Responsable de l'encrassement biologique (Chen, 2003).

Extraits organiques de *C. lauderi*, *G. toxicus* et *C. vulgaris* inhibent *Aspergillus fumigatus*, un champignon producteur de toxines qui contamine les fruits de mer des bivalves marins (DaSilva, Barbosa, 2008).

7.2. Biocarburants

Les microalgues sont des organismes prometteurs en raison de leur forte teneur en lipides pour produire des biocarburants (à partir de 1^{ère} génération) causes profondes des déséquilibres des écosystèmes et sources de biocarburants par des quantités limitées de lignocellulose (2^{ème} génération). Dans la première génération de biocarburants, des aliments comme le maïs, Composition de la canne à sucre, des huiles végétales (palme, soja et arachide) matières premières. Le Brésil considéré comme le deuxième producteur de bioéthanol de la canne à sucre (Gasparatos et al., 2012) .

Cependant, les plantations de canne à sucre utilisent beaucoup de produits agrochimiques qui menacent les écosystèmes et la santé humaine (Lara et al., 2001 ; Lehtonen, 2010). De plus, l'expansion future de la culture de la canne à sucre pourrait Problèmes plus importants entraînant une perte de biodiversité (Gasparatos et al., 2012).

Parmi les biocarburants de deuxième génération, on peut citer l'éthanol dit cellulosique. Ce biocarburant est obtenu à partir de divers déchets agricoles et d'arbres en croissance Rapide (paille de blé, peuplier, sciure, etc.). Cependant, ce dernier peut avoir un impact de déforestation sur l'environnement (déforestation), la sécurité alimentaire et sur la biodiversité (perte de diversité des espèces) (Evans et al., 2013).

Les microalgues sont considérées comme des biocarburants de troisième génération. Ceux-là les « algocarburants » auront la capacité de remplacer les carburants fossiles sans Affecte les ressources alimentaires, la consommation d'eau et la dégradation des sols cultivables (en raison de leur capacité à proliférer rapidement et Production et stockage de lipides en vrac (Chisti, 2007 ; Frac et al., 2010).

Ce biocarburant est produit par transestérification de lipides en présence d'alcool Produit des esters utilisables dans les moteurs à combustion interne *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Tetraselmis*, *Nannochloropsis* et la *Synechococcus* est le genre le plus utilisé pour produire ce biocarburant (De Farias Silva et Bertucco, 2016).

7.3. Produits Cosmétiques

Les espèces de microalgues comme *Arthrospira* et *Chlorella* sont des acteurs bien établis sur le marché des soins de la peau et certaines entreprises comme LVMH, Paris, France et Daniel Jouvance, Carnac, France ont atterri dans leurs propres systèmes de culture de microalgues. Les extraits de microalgues font partie de divers cosmétiques tels que les crèmes anti-âge, les produits de soins rajeunissants, les protecteurs solaires et les produits de soins capillaires (Spolaore et al., 2006).

En raison de la sensibilisation au cancer de la peau et au processus de photovieillessement dû à l'exposition au soleil, une consommation accrue de divers produits de protection solaire a été observée. Dans les dernières décennies. L'utilisation d'acides aminés comme la mycosporine, en raison de leur blocage efficace et naturel des UV dans les crèmes solaires, attire l'attention commerciale. De nombreuses microalgues produisent des métabolites tels que les acides aminés sporopollénine, scytonémine et mycosporine pour les protéger des rayonnements UV, mais permettant le passage aux rayonnements visibles impliqués dans la photosynthèse (Cardozo et al., 2007).

Divers composants d'algues sont généralement utilisés comme agents épaississants, agents de fixation de l'eau et antioxydants (**Stolz, Obermayer, 2005**).

Les extraits de microalgues sont présents dans divers produits de soins du visage et de la peau. Généralement des espèces comme *Chondruscrispus*, *Ascophyllum nodosum*, *Alaria esculenta*, *Spirulina platensis*, *Nannochloropsisoculata*, *Chlorella vulgaris* et *Dunaliellasalina* sont utilisées en cosmétique (**Hillol et al., 2012**).

7.4. Activité antioxydants

Le corps humain produit en permanence des radicaux libres ou des espèces réactives de l'oxygène (ROS) à la suite de stress externes comme le tabagisme, le tabac à chiquer, une exposition excessive au soleil (**Hajhashemi et al., 2010**). Pour contrer ces radicaux libres, des antioxydants sont synthétisés par les cellules humaines. De plus, le corps humain a un équilibre entre le rapport oxydant à antioxydant, toute perturbation de cet équilibre entraînera une accumulation de radicaux libres. Ce phénomène est connu sous le nom de stress oxydatif. Le stress oxydatif est également lié à de nombreuses maladies telles que le diabète, le vieillissement, les troubles auto-immuns, les troubles cardiovasculaires, l'athérosclérose, la polyarthrite rhumatoïde, la maladie d'Alzheimer, la maladie des motoneurones et les maladies oculaires (**Pham-Huy et al., 2008**).

Le stress oxydatif joue un rôle central dans les dommages cellulaires et tissulaires qui conduisent à des maladies chroniques telles que le cancer (**Topdag et al., 2005**). Au stade final du cancer, les antioxydants sont utiles pour prévenir d'autres dommages au corps humain dus à la cancérogenèse (**Kattappagari et al., 2015**).

La production des antioxydants dans le corps humain se déroule selon deux voies : in-situ et ex-situ. Les antioxydants synthétisés par le corps humain in situ ou en interne sont appelés antioxydants endogènes. Alors que les antioxydants qui sont consommés de manière externe ou ex-situ par le biais de compléments alimentaires sont appelés antioxydants exogènes. Les antioxydants endogènes sont synthétisés par des voies enzymatiques ou non enzymatiques. Cependant, cet article met l'accent sur la capacité des microalgues à synthétiser des antioxydants exogènes. Les antioxydants produits ex-situ sont également appelés oxydants nutritifs en raison de leur nature. Ils sont constitués de caroténoïdes, de flavonoïdes, d'oligo-métaux (zinc et sélénium), de vitamines C et E et d'acides gras (**Pham-Huy et al., 2008**).

La biomasse microalgale est considérée comme une source supérieure d'antioxydants nutritionnels en raison de sa capacité de production plus élevée par rapport aux sources conventionnelles d'origine végétale. Les microalgues sont également capables de produire plusieurs composants dans une seule espèce. Par exemple, l'analyse de la composition de *Chlorella Sorokiniana* a révélé que la teneur totale en caroténoïdes était de 0,69 % de matière sèche. Les teneurs en α -tocophérol, β -carotène et lutéine sont respectivement de 112, 600 et 4300 $\mu\text{g/g}$ de matière sèche. Ces composés possèdent des propriétés de piégeage radicalaire élevées (Matsukawa et al., 2000) . La capacité antioxydante des phycobiliprotéines de *Phordium autumnale* a été mesurée à 274 $\mu\text{mol trolox g}^{-1}$ de poids de biomasse sèche (Rodrigues et al., 2015).

Il est également rapporté que les antioxydants tels que l'astaxanthine extraite de microalgues ont une plus grande activité antioxydante que l' α -carotène, le β -carotène, le lycopène, la lutéine et la vitamine E. Bien qu'il soit inférieur à celui des antioxydants produits synthétiquement tels que l'hydroxyanisole butylé (BHA) et butylhydroxytoluène (BHT) (Natrah et al., 2007) .

Cependant, en raison d'une meilleure sensibilisation des consommateurs, il existe une énorme demande d'antioxydants d'origine naturelle. De plus, comme ces composés sont inclus dans les produits pharmaceutiques, les aliments fonctionnels et les boissons pour la consommation humaine, l'extraction d'antioxydants naturels gagne du terrain (Christaki et al., 2011)

En conclusion, la biodisponibilité des antioxydants extraits des microalgues est supérieure à celle des sources synthétiques et offre une meilleure protection (Gouveia et al., 2008 ; Spolaore et al., 2006).

7.5. Agriculture et Biofertilisant

Les macro- et microalgues contiennent de nombreux composés pour favoriser la germination, la croissance des feuilles ou des tiges, la floraison et peuvent également être utilisées comme agent de protection biologique contre les maladies des plantes (Bhattacharjee, 2016), et sont utilisées dans diverses zones côtières. Après la récupération de l'huile et des glucides des macroalgues et des microalgues, il reste encore de nombreux nutriments dans la biomasse épuisée. Une application potentielle de cette biomasse restante est de l'utiliser comme biofertilisant et augmentera le potentiel économique des algues pour

la réutilisation en culture après extraction des nutriments. La biomasse restante sera utilisée comme engrais, la plupart des cyanobactéries sont capables de fixer l'azote atmosphérique et peuvent être utilisées comme biofertilisants efficaces. Ils jouent un rôle majeur dans la conservation et la construction de la fertilité des sols pour augmenter la croissance et le rendement du riz en tant que biofertilisant naturel (Song et al., 2007).

Après l'eau, l'azote est le deuxième facteur important pour la croissance des plantes dans les champs et ses besoins sont satisfaits par les engrais (Malik et al., 2001). Avec l'aide des algues bleues vertes diverses propriétés physiques et chimiques du sol sont améliorées, tout en augmentant le rendement et en économisant l'azote des engrais. Les algues bleues vertes telles que *Nostoc*, *Anabaena* et *Tolypothrix* sont capables de fixer l'azote atmosphérique et sont utilisées comme inoculant pour la culture du paddy dans les hautes terres et les basses terres (Priyadarshani et Biswajit., 2012).

7.6. Bioplastiques

les microalgues peuvent être une source de biomasse potentiellement meilleure pour la production de bioplastiques car elles ne concurrencent pas les sources alimentaires, ont la capacité de se développer sur les déchets et peuvent atteindre une accumulation élevée de lipides (Rahman et al 2017 ; Hempel et al., 2011 ; chisti, 2007).

De plus, la production de bioplastique à partir de microalgues peut être plus durable et contribue à l'économie circulaire ainsi qu'à la bioéconomie (Mohan et al., 2019 ; Moreno-Garcia et al.,2017).

Les bioplastiques peuvent être utilisés dans les eLes études sur la production de matériaux bioplastiques à partir de sources de microalgues peuvent être regroupées en deux approches principales. Le bioplastique peut désigner des composites produits en mélangeant de la biomasse de microalgues, des polymères et des additifs bio ou à base de pétrole. Ces produits sont fabriqués par des méthodes thermomécaniques telles que le moulage par compression. L'autre approche est basée sur la culture de biopolymères tels que les polyhydroxybutyrates et l'amidon de manière intracellulaire dans les cellules de microalgues. Ces produits peuvent ensuite être extraits et transformés ultérieurement pour la production de bioplastiques. Dans ce cas, les cellules de microalgues ne sont pas utilisées directementmballages alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques (Rahman et al., 2017).

7.7. Nourriture - Animaux et aquaculture

Microalgues pour les applications alimentaires L'utilisation de la biomasse de microalgues dans l'alimentation animale remonte aux années 1950 et est considérée comme un moyen efficace d'inclure des nutriments et des vitamines précieux, des EAA, des PUFA, des polysaccharides, minéraux et pigments dans les aliments pour augmenter leur valeur nutritionnelle (**Madeira et al., 2017**).

Actuellement, environ 30 % de la biomasse totale de microalgues produite dans le monde est utilisée comme aliment (**Becker, 2003**). L'incorporation de microalgues dans l'alimentation peut bénéficier à la physiologie de l'animal en améliorant son immunité et sa résistance aux maladies, ainsi que par la stimulation de bactéries probiotiques dans l'intestin/le rumen. Autres bénéfices décrits comprennent les performances de reproduction, l'amélioration des taux de conversion alimentaire et amélioration de la qualité de la viande de porcs, lapins, volailles et ruminants. Cependant, les résultats de différentes études sont fortement influencés par la composition de la biomasse des microalgues et la quantité incluse dans l'alimentation des animaux (**Madeira et al., 2017**).

Fait intéressant, Madère et ses collègues affirment que l'efficacité de l'incorporation de la biomasse de microalgues dans le régime alimentaire des monogastriques animaux est amélioré par l'ajout simultané d'enzymes glucidiques actives comme aliment additifs (**Madeira et al., 2017**).

En pisciculture, les microalgues sont utilisées pour nourrir les larves, et les principales espèces utilisées comprennent *Nannochloropsis oceanica*, *Chlorella vulgaris*, *Isochrysis galbana*, *Pavlova sp.*, *Phaeo- dactylum tricornutum*, *Tetraselmis suecica*, *Skeletonema sp.*, *Thalassiosira sp.* et *Hématocoque pluviales* (**Enzing et al., 2014**).

L'astaxanthine extraite de *Haematococcus pluvialis* est largement utilisée dans le saumon l'aquaculture car elle donne au saumon sa couleur « rose » typique recherchée par le consommateur (**Holman et al., 2012**).

7.8. Autres applications des algues

Les algues sont utilisées dans un certain nombre d'autres applications qui sont énumérées ci-dessous :

Les algues peuvent être cultivées pour produire de l'hydrogène. En 1939, le chercheur allemand Hans Griffon a découvert que l'algue *Chlamydomonas reinhardtii* pouvait passer de la production d'oxygène à la production d'hydrogène. Les algues sont une protéine complète contenant des acides aminés importants qui sont impliqués dans des processus métaboliques tels que la production d'enzymes et d'énergie. Il contient également des Oméga 3 et des Oméga 6. Chondrus crispus ou "carrageen" est un bon stabilisant dans les produits laitiers et réagit avec la caséine, une protéine du lait qui s'algine dans les lotions et peut être absorbée par la peau. Les produits en papier actuellement fabriqués ne sont pas facilement recyclés en raison des encres chimiques utilisées. Selon les recycleurs, les encres à base d'algues se décomposent très facilement (**Walker, 2013**).

Conclusion

Conclusion

Les algues microscopiques sont une des premières espèces vivantes à apparaître après le début de la vie. Ils sont capables de faire la photosynthèse en récoltant l'énergie à partir du soleil pour produire de la biomasse exploitée pour des fins biotechnologiques. Les algues microscopiques sont à la base du réseau trophique (c'est-à-dire les producteurs primaires) ; ils fournissent l'oxygène qui est essentiel à la pérennité de la vie dans les milieux aquatiques. Ils jouent un rôle critique dans les écosystèmes ; leur large distribution dans le monde, leur facilité de culture et de collecte, aussi leur croissance rapide, les rend des candidats potentiels pour des études aux laboratoires.

Ces microorganismes représentent une source énorme pour la production d'une variété de molécules bioactives, qui peuvent être utilisées pour la conservation et le développement durable de l'environnement, ils produisent aussi des molécules de haute valeur ajoutée qui sont utilisées dans plusieurs domaines biotechnologiques comme des additifs alimentaires.

Ils fournissent actuellement une source de nutrition et un produit de valeur croissante, en particulier en Asie, ils sont utilisés directement comme des aliments, ou indirectement notamment par l'industrie alginate (gélose et alginate). Ils sont utilisés en agriculture comme engrais et aliments pour animaux ; dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique, l'industrie textile et de nombreux autres domaines. De plus, les protéines, les vitamines et Les oligo-éléments font des algues une importante source de nourriture. La découverte des fragments d'algues dans les fossiles alimentaires coréens est remontée à 10 000 ans ces plantes sont utilisées comme nourriture depuis des milliers d'années. En 1997, nous Évaluer la consommation d'algues entre 4 g et 10 g/jour au Japon, en Corée ou Chine.

Les algues microscopiques occupent la plupart des habitats terrestres y compris les zones extrêmes. Au cours des dernières années, les algues microscopiques extrémophiles ont été exploitées de manière lucrative dans divers domaines de recherche et de développement, notamment l'agriculture, l'industrie pharmaceutique, la bio-remédiation et la production de biocarburants. En outre, la compréhension de la diversité de la vie algale dans divers environnements y compris les habitats extrêmes est également vitale pour l'étude de l'origine et de l'évolution de la vie sur terre.

Références bibliographiques

Référence bibliographiques

A

Abadli, M., Harkati, G. 2015. Contribution à l'inventaire des quelques microalgues vertes d'intérêt nutritionnel dans quelques zones humides de la wilaya d'El Oued (Lac Ayata , Chott Merouane, Sife Lemnade , STEP Kouinine . Memoire de Master. Université Echahid Hamma Lakhdar d'EL-OUED-Algerie. pp 100.

Abdoun, E. 2014. Microbes terrestres. Science & Vie. 1161, 70-77.

Alcaine , AA. 2010. Biodiesel from microalgae. Final degree project. Royal School of Technology Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, Sweden. pp 92

Amirouch, N., Bouguedoura N., Hadj-Arab, H. 2009. Boutanique. Houma édition Alger. pp 17.

Amorim, K. 2012. Lage-Yusty M-A, López-Hernández J: Changes in bioactive compounds content and antioxidant activity of seaweed after cooking processing. CyTA- Journal of Food. 10, 321-324.

Avalos, J. 2015. Carmen Limón M: Biological roles of fungal carotenoids. Curr. Genet. pp 61.

Ayehunie, S., Belay A., Baba, T W., Ruprecht, R M. 1998 . Inhibition of HIV- 1 replication by an aqueous extract of *Spirulina platensis*. J Acquir Immun Defic Syndr Hum Retrovirol . 18, 7-12.

B

Barsanti, L., Gualtieri, P. 2006. Algae Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology. editoner LLC . Taylor & Francis. pp 320.

Barsanti, L., Gualtieri, P. 2014. Algae Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology. Editonmsd LLC . Taylor & Francis. pp 320.

Becker, W. 2003. Microalgae in Human and Animal Nutrition. In Handbook of Microalgal Culture; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA. pp 312–351.

Belanger, A. 2007. Séquençage et caractérisation des génomes chloroplastique et mitochondrial de l'Algue vert *Stigeolonium helveticum*. Mémoire de maître en sciences. Université de QUÉBEC. pp 199.

Belghit, I., Rasinger, J.D., Heesch S., Biancarosa I., Liland N., Torstensen B., Waagbø R., Lock. Bellinger, E., SIGEE D. 2010. *Freshwater Algae (Identification and Use as Bioindicator)*. 1st edition. Wiley-Blackwell (John Wiley and Sons, Ltd). UK. pp 271.

Bengrine, S., Allali, H. 2021. Inventaire des algues sur le littoral de Honaïne (Wilaya de Tlemcen). Mémoire de master. Université de Tlemcen- Algérie. pp 48.

Bouamra, F., Hadj, A.B. 2004. Contribution à l'inventaire qualitatif des Algues dans la région d'Ouargla. Mémoire d'ingénieur d'Etat en biologie. Université d'Ouargla. pp 88.

Boopathy, N S., Kathiresan, K. 2010. Drugs from marine flora: An overview. *J.Oncol* . 4, 1-18.

Borowitzka, M A., Borowitzka, L J. 1987. Vitamins and Fine Chemicals from Micro-Algae. In M.A. Borowitzka, and L.J. Borowitzka (Eds) *Micro-Algal, Biotechnology*, New York. Cambridge University Press.

Bourrelly, P. 1990. *Les Algues d'eau douce* .Tome 1. Edition. N Boubée. Paris. pp569

Bousmaha, Y., Kebrit, I. 2021. Bioplastiques fabriqués à partir des algues. Mémoire de master. Algérie.

Bux, F. 2013 .*Biotechnological Applications of Microalgae (Biodiesel and Value- Added Products)*. Edition : Taylor & Francis Group, LLC. pp 251.

C

Cantin, I. 2010. La production biodiesel à partir des Microalgues ayant un métabolisme hétérotrophe. Mémoire de maître en environnement. Université de Sherbrooke. pp 87.

Cardozo, K.H.M ., Guaratini, T., Barros, M O., Falcao, V R., Tomon, A P. 2007. Metabolites form algae with economically impact. *Comp Biochem Physiol Part C*. 146, 60-78.

Carlsson, A.S., Van Beilen, J.B., Möller, R., Clayton, D. 2007. *Micro-and macro-algae: utility for industrial applications*. UK: CPL Press. pp 82.

- Carmelo, R.T. 1996. Identifying marine Diatoms and Dinoflagellates. 1st edition. academic Press, Inc .San Diego, USA.pp 589
- Carmelo R.T., 1997. Identifying marine Phytoplanktan. 2sd edition. Academic Press, Inc .san Diego, USA.pp 858
- Cavalier-Smith, T., 2004. Only six kingdoms of life. Proceedings of the Royal Society Biological Sciences. pp 271, 1251-1262.
- Chader, S. 2003. Bulletin des energies renouvelables.édition N°4 Decembre .
- Chen, Y C. 2003. Immobilized Isochrysis galbana (Haptophyta) for long-term storage and applications for feed and water quality control in clam (*Meretrix lusoria*) cultures. J. Appl. Phycol. 15, 439-444.
- Christaki,E., Florou-Paneri, P., Bonos, E. 2011. Microalgae: a novel ingredient in nutrition Int. J. Food Sci. Nutr. 62, 794-799
- Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances. 25, 294–306.
- Croft, M.T., Warren, M.J., and Smith, A.G. 2006. Algae Need Their Vitamins. Eukaryot Cell. 5, 1175–1183.
- Cichon, M.J., Riedl, K.M., Schwartz, S.J. 2017. A metabolomic evaluation of the phytochemical composition of tomato juices being used in human clinical trials. Food Chem. 228, 270–278.
- Cooperstone, J.L., Ralston, R.A., Riedl, K.M., Haufe, T.C., Schweiggert, R.M., King, S.A., Timmers, C.D., Francis, D.M., Lesinski, G.B., Clinton, S.K. 2015. Enhanced bioavailability of lycopene when consumed as cis-isomers from tangerine compared to red tomato juice, a randomized, cross-over clinical trial. Molecular Nutrition and Food Research. 59(4), 658-69.
- Costica , M. 2009. Contribution to knowledge of Euglenophuta in Bahlui Rriver Basin. analele științifice ale Universității .pp 1-7

D

Daoust, P.H. 2012. Identification et caractérisation des protéines responsables de l'entrée en phase M chez *Lingulodinium polyedrum*. Mémoire Maître en Sciences Biologique. Université de Montréal. pp 94.

DaSilva, R L., Barbosa, J M. 2008. Seaweed meal as a protein source for the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. J, Appl. Phycol. 21, 193-197.

Delgado, J.G. 2007. Euglenophyta from lower Basin of the Caura river, Venezuela. Acta bot. Venez.vol. 30 (2), 277-290.

Delaux, P. M. 2011. Rôles des strigolactones et évolution des compétences mycorhiziennes dans la lignée verte. Thèse de doctorat en Biosciences végétales. Université de Toulouse. INP-Ensatis. pp 258.

De Reviers, B. 2002. Biologie et phylogénie des algues : t.1, Belin Sup Sciences : biologie, Belin, Paris, pp 352.

De Reviers, B. 2003. Biologie et phylogénie des algues : t.2, Belin Sup Sciences : biologie, Belin, Paris. pp 255.

Dey, B., Lerner, D L., Lusso, P., Boyd, M R., Elder, J H. 2000. Multiple antiviral activities of cyanovirin-N: blocking of human immunodeficiency virus Type 1 gp120 interaction with CD4 and coreceptor and inhibition of diverse enveloped viruses. , *J Virol* . pp 74, 4562-4569.

E

Edward, L.R., 2008. Phycology. 4 edition. Cambridge university press. New York. pp 561.

E-J., Bruckner, CG. 2017. In-depth metabolic profiling of marine macroalgae confirms strong biochemical differences between brown, red and green algae. Algal Research. 26, 240-249

Enzing, C.M., Ploeg, M., Barbosa, M.J., Sijtsma, L. 2014. Microalgae-Based Products for the Food and Feed Sector: An Outlook for Europe; Joint Research Centre: Petten, The Netherlands. pp 19–37.

F

Faller, H. 2011. Les applications et la toxicité des algues marines. Thèse de docteur en pharmacie. Université de Limoges. pp 131.

Feipeng, W., Jiai, F., Shulian, X. 2014. Phylogenetic and morphological investigation of a *Dunaliella* strain isolated from Yuncheng Salt Lake, China. *Plant*. 2(2), 20-26.

Filali, R. 2012. Estimation et commande robustes de culture de microalgues pour la valorisation biologique de CO₂. Thèse de doctorat. Ecole Doctorale « Sciences et Technologies de l'Information des Télécommunications et des Systèmes »

Furusawa, E., Moore, R E., Mynderse, J S., Norton, T R., Patterson, G.M.L. 1994. New purified culture of *Scytonema pseudohofmanni* ATCC 53141 is used to produce scytopycins A, B, C, D, and E, which are potent cytotoxins and antineoplastic agents, USA. Patent Number 5281533.

G

Garon-L, S. 2004. Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales). These de doctorat en chimie. Université de Bretagne. pp 226.

Gerwick, W H., Roberts, M A., Proteau, P J., Chen, J L. 1994. Screening cultured marine microalgae for anticancer type activity. *J Appl Phycol* . 6, 143-149

Gouveia, L., Batista, A.P., Sousa, I., Raymundo, A., Bandarra, N.M. 2008. Microalgae in Novel Food Product. In: *Food Chemistry Research Developments*. Konstantinos N. Papadopoulos.

Govindjee. 2011. Adventures with cyanobacteria: a personal perspective. *Frontiers in Plant Science*. 2, 28.

Guiry, M.D., Guiry, G.M. 2013. *Algae Base*, World-wide electronic publication,

Greuter, W., McNeill, J., Barrie, F.R., Burdet, H., Demoulin, V., Filgueiras, T., Nicholson, D., Silva, P., Skog, J., Treharne, P., Turland, N., Liparis Hawksworth, D. 2000. *International*

code of botanical nomenclature (Saint Louis Code). Sixteenth International Botanical Congress, July- August 1999, Saint Louis, Missouri. pp 474.

Grogan. 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat en Ecologie Fonctionnelle. Université. De Toulouse. INP-Ensat. pp 224.

H

Hajhashemi, V., Vaseghi, G., Pourfarzam, M., Abdollahi, A. 2010. Are antioxidants helpful for disease prevention? . Res. Pharm. Sci. 5, 1-8.

Hallmann, A. 2007. Algal transgenics and biotechnology. Transgenic Plant Journal. 1, 98.

Hamedi, C. 2019. Caractérisation génétique, physiologique, biochimique et biodiversité des diatomées. Thèse de doctorat. Biotechnologie des organismes aquatiques. Université d'Oran.-Algerie.

Hayashi, K., Hayashi, T., Kojima, I. 1994. A natural sulfated polysaccharide, calcium spirulan, isolated from *Spirulina platensis* in vitro and ex vivo evaluation of anti-herpes simplex virus and anti-human immunodeficiency virus activities. AIDS Res Hum Retrovir. 12, 1463-1471.

Hempel, F., Bozarth, A.S., Lindenkamp, N., Klingl, A., Zauner, S., Linne, U., Steinbüchel, A., Maier, U.G. 2011. Microalgae as bioreactors for bioplastic production. Microb. Cell Fact. 10, 81.

Heldt, H-W., Piechulla, B. 2011. The use of energy from sunlight by photosynthesis is the basis of life on earth. In Plant Biochemistry (Fourth Edition). pp 43-64.

Hermanson, G.T. 2013. (Strept) avidin– Biotin Systems. In Bioconjugate Techniques 3rd Edition. Pierce Biotechnology, Thermo Fisher Scientific, Rockford, IL. pp 465-505.

Hillool, C., Shrikrishna, D J., Dolly, W D., Sunil, P. 2012. Potential applications of blue green algae. Journal of Scientific & Industrial Research . 71, 13-20.

Holman, B.W.B., Kashani, A., Malau-Aduli, A.E.O. 2012. Growth and body conformation responses of genetically divergent Australian sheep to *Spirulina (Arthrospira platensis)* supplementation. *Am. J. Exp. Agric.* 2, 160–173.

Huleihel, M., Ishamu, V., Tal, J., Arad, S M. 2001. Antiviral effect of red microalgal polysaccharides on Herpes simplex and Varicella zoster viruses. *J Appl Phycol.* 13, 127-134.

K

Kattappagari, K.K., C.S, R.T., Kommalapati, R.K., Poosarla, C., Gontu, S.R., Reddy, B.V.R. 2015. Role of antioxidants in facilitating the body functions: a review *J. Orofacial Sci.* 7, 71-75.

Kehr, J.C., Dittmann, E. 2015. Biosynthesis and Function of Extracellular Glycans in Cyanobacteria. *Life* 5, 164-180.

Kelbouz.N., 2019. Contribution à la production des microalgues isolées à partir du Barrage Fom Elgherza-Biskra. Mémoire de master. Université Mohamed Khider de Biskra-Algerie.

Kitade, Y., Miyabe, Y., Yamamoto, Y., Takeda, H., Shimizu, T., Yasui, H., Kishimura, H .2018. Structural characteristics of phycobiliproteins from red alga *Mazzaella japonica*. *J. Food Biochem.* 42, (1), e12436.

König, C. 2018. Les algues sont de surprenants-végétaux aquatique. Consulté le 15 juin 2022.

L

Lavoi, I., Hamilton, P.B., Campeau, S., Grenier, M., Dillon, P.J. 2008. Diatomées: guide d'identification des rivières de l'Est du Canada. Presses de l'Université du Québec. Canada. pp 241.

Le Bourvellec, C., Gouble, B., Bureau, S., Reling, P., Bott, R., Ribas-Agusti, A., Audergon, J. M. Renard, C.M.G.C. 2018. Impact of canning and storage on apricot carotenoids and polyphenols. *Food Chem.* 240, 615-625.

Leclerc, V., Floc'h, J.Y. 2010. Les Secrets des Algues. Editions Quae. 2th edition. Editions Quae. France. pp 168.

M

Madeira, M.S., Cardoso, C., Lopes, P.A., Coelho, D., Afonso, C., Bandarra, N.M.; Prates, J.A.M. 2017. Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat quality: A review. *Livest. Sci.* 205, 111–121.

Malik, F R., Ahmed, S., Rizki, Y M. 2001. Utilization of lignocellulosic waste for the preparation of nitrogenous biofertilizer. *Pakistan. J. Biol. Sci.* 4, 1217-1220.

Manivasagan, P., Bharathiraja, S., Santha Moorthy, M., Mondal, S., Seo, H., Dae Lee, K, Oh, J. 2017. Sustainable Global Resources Of Seaweeds. 1, XXIX, 656.

Mann, DG., Sato, S., Trobajo, R., Vanormelingen, P., Souffreau, C. 2010. DNA barcoding for species identification and discovery in diatoms. *Cryptogamie.* 31, 557- 77.

Matsukawa, R., Hotta, M., Masuda, Y., Chihara, M., Karube, I. 2004. Antioxidants from Carbon Dioxide Fixing *Chlorella sorokiniana*. 12, 263-267.

Mc, Candless., E.L. 1978. The importance of cell wall constituents in algal taxonomy. In: Irvine, D.E.G., Price, J.H. (Eds), *Modern approaches to the taxonomy of red and brown algae*, Academic Press, London. pp 63-85.

Mc Neil, M., Darvill, A.G., Fry, S.C., Albersheim, P. 1984. Structure and function of the primary cell walls of plants. *Ann. Rev.Biochem.* 53, 625-663.

Miyashita, K., Hosokawa, M. 2014. Carotenoids as a Nutraceutical Therapy for Visceral Obesity. pp 329-340.

Mohan, S.V., Hemalatha, M., Chakraborty, D., Chatterjee, S., Ranadheer, P., Kona, R.2019. Algal biorefinery models with self-sustainable closed loop approach: Trends and prospective for blue-bioeconomy. *Bioresour. Technol.* pp 295.

Moreno-Garcia, L., Adjallé, K., Barnabé, S., Raghavan, G.S.V. 2017. Microalgae biomass production for a biorefinery system: Recent advances and the way towards sustainability. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 76, 493–506

N

Nobel, P.S. 2009. Physicochemical and Environmental Plant Physiology

NOT, F. 2004. Structure et diversité des communautés de picoeucaryotes en milieu marin. thèse de doctorat en Océanologie biologique et environnement marin. L'Université Pierre et marie Curie (Paris VI). pp160

O

Okuda, K. 2002. Structure and phylogeny of cell coverings. & quot. J. Plant Res. 115, 283-288.

Olaizola, M. 2003. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. Biomol. Eng. 20, 459-466.

Olson, G J., Ingram, I. 1975. Effects of Temperature and Nutritional Changes on the Fatty Acids of *Amenellum Ouadruplicatum* L. Bacteriol. pp 124-373.

Ouzlifi, F. 2019. Étude Qsar de la toxicité d'une série de composés phénoliques vis-à-vis des algues marines. Mémoire de master. Université de Tlemcen-Algerie.,

P

Patterson, G., Baldwin, C., Bolis, C., Caplan, F., Karuso, H. 1991. Antineoplastic activity of cultured blue-green algae (Cyanobacteria). J Phycol. 27, 530-536.

Patterson, G.M.L., Baker, K.K., Baldwin, C.L., Bolis, C.M., Caplan, F.R. 1993. Antiviral activity of cultured blue-green algae (Cyanophyta). J Phycol. 29, 125-130.

Paulmier, G. 1992. Rapports Catalogue illustre des microphytes planctoniques et benthiques des côtes Normandes. Edition : Direction des ressources vivantes de l'IFREMER. France. pp 147.

Peduzzi, R., Tonolla, M., Boucher-Rodoni, R. 2006. Milieux extrêmes : Conditions de vie en milieu alpin et milieu marin, Actes et contributions scientifiques. pp 9.

Peng, L., Liu, Y., Chen, W., Liu, L., Kent, M., Song, L. 2010. Health Risks Associated with Consumption of Microcystin-Contaminated Fish and Shellfish in Three Chinese Lakes: Significance for Freshwater Aquacultures. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 73 (7), 1804-1811.

Pham-Huy, H., Pham-Huy, C. 2008. Free Radicals Antioxidants in disease and health. *Int. J. Biomed. Sci.* 4, 89-96.

Priyadarshani, I., Biswajit, R. 2012 .Commercial and industrial applications of micro algae. , A review *J. Algal Biomass Utln.* 3, 89-100.

Pulz, O., Gross, W. 2004. Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 65. 635-648.

R

Rahman, A., Miller, C. 2017. Microalgae as a Source of Bioplastics. In: Rastogi R.P., Madamwar, D., Pandey, A., editors. *Algal Green Chemistry: Recent Progress in Biotechnology*/Edited by Rajesh Prasad Rastogi, Datta Madamwar, Ashok Pandey. Elsevier; Amsterdam, the Netherlands. pp 121–138.

Rajauria, G., Abu-Ghannam, N. 2013. Isolation and partial characterization of bioactive fucoxanthin from *Himantalia elongata* brown seaweed: a TLC-based approach. *Int J Anal Chem.* 2013, 802573.

Rania, M., Hala, M. 2008. Antibacterial and antifungal activity of Cyanobacteria and green Microalgae evaluation of medium components by Plackett-Burman design for antimicrobial activity of *Spirulina platensis*. *Global Journal of Biotechnol. Biochem.* 3, 22-31.

Reviere, B. 2002 .*Biologie et phylogénie des algues*. Tome 1. Edition .BELIN, Paris. pp 225.

Reviere, B. 2004 .*Biologie et phylogénie des algues*. tome 2. Edition .BELIN. Paris. pp 255.

Riebesell, U., Schulz, K., Bellerby, R., Botros, M., Fritsche, P., Meyerhofer, M., Neill, C., Nondal, G., Oschlies, A., Wohlers, J., Zollner, E. 2007. Enhanced biological carbon consumption in a high CO₂ ocean. *Nature*. 450, 545-548.

Richmond, A. 2004. Handbook of microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Eder. Blackwell Science Ltd. pp 545.

Rodrigues, B., Menezes, C., Mercadante, A., Jacob-Lopes, E., Zepka, L. 2015. Bioactive pigments from microalgae *Phormidium autumnale* Food Res. Int. 77, 273-279.

Ruiz, G. 2005. Extraction, Détermination Structurale et Valorisation Chimique de phycocolloïdes d'Algues Rouges. Thèse de doctorat en Chimie appliquée. Université de Limoges-France. pp 265.

S

Sadi, M. 2012. Le micro algues : un défi prometteur pour des biocarburants propres. Des Energies Renouvelables SIENR.12. 195-202.

Satyanarayana, T., Raghukumar, C., Shivaji, S. 2005. Extremophilic microbes : Diversity and perspectives: Current science. 89, 78-90.

Schwartz, R., Hirsch, C., Sesin, D., Flor, D., Chartrain, M. 1990. Pharmaceuticals from cultured algae. Ind Microbiol. 5, 13-123.

Song, T., Martensson, L., Eriksson, T., Zheng, W., Rasmussen, U. 2005. Biodiversity and seasonal variation of the cyanobacterial assemblage in a rice paddy field in Fujian, China. European Materials Societies Microbiology Ecol. 54, 131-140.

Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. 2006. Commercial applications of microalgae J. Biosci. Bioeng., 101, 87-96.

Stevenson, C., Capper, E., Roshak, A., Marquez, B., Echman, C. 2002. The identification and characterization of the marine natural product scytonemin as a novel antiproliferative pharmacophore. J Pharmacol Exp Ther 303. 858-866.

Stolz, P., Obermayer, B. 2005. Manufacturing microalgae for skin care. Cosmetics Toiletries 120. 99-106.

Svirčev, Z., Drobac, D., Tokodi, N., Mijović, B., Codd, G., Meriluoto, J. 2017. Toxicology of Microcystins with Reference to Cases of Human Intoxications and Epidemiological

Investigations of Exposures to Cyanobacteria and Cyanotoxins. *Archives of Toxicology*. 91(2). 621-650.

T

Testai, E., Scardala, S., Vichi, S., Buratti, F., Funari, E. 2016. Risk to human health associated with the environmental occurrence of cyanobacterial neurotoxic alkaloids anatoxins and saxitoxins. *Critical Reviews in Toxicology*. 46(5). 385-419.

Thomazeau, S. 2006 . Diversité phylogénétique et toxinique de cyanobactéries du Sénégal et du Burkina Faso. memoire de master. Université de Pierre & Marie CURIE – PARIS- 6. pp 44.

Topdag, A., Aslaner, C., Tataroglu, Z. 2005. Ilce Evaluation of antioxidant capacity in lung carcinoma *Indian J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 21. 269-271.

Tsai, C., Emau, P., Jiang, Y., Agy, M B., Shattock, R J. 2004. Cyanovirin-N inhibits AIDS virus infections in vaginal transmission models. *AIDS Res Human Retrovir*. 20. 11-18.

U

Um, B. H., Kim, Y. S. 2009. Review: A chance for Korea to advance algal-biodiesel technology. *J. Indus. Eng. Chem*. 15, 1-7.

V

Van Den Burg, B. 2003. Extrêmophiles as a source for novel enzymes. *Curr. Opin.Microbiol*, 6. 213–218.

Ververis ,C., Georghiou ,K. 2007. Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. *Bioresour. Technol*. 98. 296-30.

Viskari, P.J., Colyer, CL. 2002. Separation and quantitation of phycobiliproteins using phytic acid in capillary electrophoresis with laser-induced fluorescence detection. *J. Chromatogr. J Chromatogr A*. 972(2), 269-276.

W

Watanabe, M., Ikeuchi, M. 2013. Phycobilisome: Architecture of a light-harvesting supercomplex. *Photosynth Res*. 116(2-3), 265-76.

Y

Yahia, E.M., Jesús Ornelas-Paz, J., Emanuelli, T., Jacob-Lopes, E., Zepka, L.Q. 2017. Cervantes- Paz B: Chemistry, stability, and biological actions of carotenoids. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*. 2, 285-285.

Z

Zhang, J., Ma, J., Liu, D., Qin, S., Sun, S., Zhao, J., Sui, S.F. 2017. Structure of phycobilisome from the red alga *Griffithsia pacifica*. *Nature*. pp551.

Zehlila, A. 2017. Caractérisation structurale et fonctionnelle des métabolites de l'algue verte *Ulva rigida* au moyen d'une approche protéomique. Thèse de doctorat : aspects moléculaires et cellulaires de la biologie. Université de Rouen Normandie et de la faculté des sciences de Tunis. pp 7-8.

- **Sites internet**

Web 1 : <http://www.algaebase.org/>.

Web 2 : <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-algues-surprenants-vegetaux-aquatiques-523/page/8/>.

Web 3 : <https://www.lonelyplanet.fr/article/les-milieus-les-plus-extremes-du-monde>.

Web 4 : <http://www.lefigaro.fr/medias/>

Web 5 : Algaebase.org.