

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES



FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

Mémoire

De fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master II en Biologie
Option : Ecologie Végétale et Environnement

Intitulé du thème :

Contribution à l'étude de *Dunaliella Salina* des salines
de l'Ouest Algérien

Présenté par :

Mr BELKACEMI Sara

Mémoire soutenue devant l'honorable jury composé de :

Président de jury :	Mm BENNABI Faiza	«MCA » UDL - SBA»
Examineur:	Mm BENCHOHRA Amel	«MCB » UDL - SBA»
Encadreur :	Mr KERFOUF Sid Ahmed	«Professeur » UDL - SBA»
Co-Encadreur :	Mr DOUKANI Bachir	«Doctorant » UDL - SBA»

Année universitaire 2019 - 2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Je remercie dieu Allah tout puissant qui m'a permis de mener à bien ce travail et qui me donne le courage à tout instant.

C'est avec un énorme plaisir que je tiens à remercier particulièrement mon encadreur Mr KERFOUF Sid Ahmed et mon co_encadreur Mr DOUKANI Bachir pour ses efforts et ses encouragements.

Et avec un grand honneur que je Remercie Mm BNNABI Faiza d'avoir accepté de présider mon jury et qui me touche particulièrement, Mm BENCHOHRA d'avoir lui aussi accepter de juger mon travail.

Mes spéciaux remerciements pour ma famille , et a tout mes confrère de la Direction Des Services agricoles à ELBayadh et à Sidi Belabess Je termine par remercier tout qui ont contribué de près ou de loin à ce mémoire.

TABLE DES MATIERES	
Remercîments	/
Résumé	/
INTRODUCTION	I
Chapitre I: Généralités sur les algues	
1.1. Définition	04
1.2 Diversité d'espèces d'algues	05
1.3 Classification et description des algues	07
1.2.1. Principaux groupes phylogénétiques d'algues	09
1.2.1.1.Diatomées	09
1.2.1.2.Chlorophytes	10
1.2.1.3.Euglenophytes	11
1.2.1.4.Pyrrhophytes	12
a) Cryptophytes	14
b) Dinophycées ou Péridinien	14
1.2.1.5.Chrysophytes ou Chromophytes	14
a) Chrysophycées	14
b) Xanthophycées.	15
c)Phéophycées	15
e) Raphidophycées	15
1.2.1.6. phaeocystis	15
1.2.1.7. Rhodophytes	16
1.2.1.8.Cyanophytes	17
1.2.2. Micro algues	19
1.2.2.1. Diversité de familles et d'espèces des microalgues	21
1.3. Algues et les plantes aquatiques	22
1.3.1. Algue	22
1.3.2.Plante aquatique	22
1.3.3.Algues filamenteuses	23
1.3.4. Périphyton	24
1.4 Physiologie	24
1.5. Ecologie	25
1.6. Habitat	27
1.7. Reproduction.	28
18. Utilisation ,exploitation et valorisation des algues	30
Chapitre II : Présentation de Dunaliella salina	
II.1. Dunaliella salinaune matièrepremière à fort potentiel....	34
II.1.1. Dunaliella salina	34
II.1.2. Taxonomie	35
II.1.3.1.Environment naturel	36
II.1.4. Cycle de vie	36
II .1.5.L'habitat	36

II.1.5. Ecologie	38
II.1.5.1. Besoins nutritionnels	38
A. Source d'Azote	38
B. Source de Carbon	39
C Source de Chlorure et de sulfate	39
II.1.6. Facteurs du milieu	39
1. pH	39
2. Température	39
3.La Salinité	39
II.1.7. Bio constituants actifs disponible	39
1. Caroténoïdes	39
2. Vitamines	40
3. Minéraux	40
Chapitre III : Présentation des zones d'étude	
III.1. Généralités sur les zones humides	42
III.1.1 Les zones humides en Algérie	43
III.2. Présentation de la zone d'étude	45
III.2.1. Salines d'Arzew	45
III. 2.1.1. Présentation générale	45
III.2.1.2. Ecologie de la zone d'Arzew	45
111.2.1.3. Facteurs du milieu des salines d'Arzew	46
111.2.1.4 Faune diversifié	46
111.2.2 Salines de la wilaya d'ElBayadh	47
III. 2.2.1 Présentation et localisation générale	47
III. 2.2.2 Ecologie de la région d'Elbayadh (Bougtob) :	47
111.2.2.3. Réseau Hydrographique	48
III. 2.2.3.2. Géologie	49
111.2.2.4 Climat	49
111.2.2.5 Hydrogéochimie	50
111.2.2.6 Hydrologie	50
Conclusion générale :	52
Synthèse bibliographique	/
Annexes	/

Liste de figure

Figure No 1:fucus Vésiculeux(Anonyme)	05
Figure N°2:Ulva (Laitue de Mer) (Anonyme)	05
Figure N°3: Chlamydomonas	07
Figure N°4: Chlorococcum	07
Figure N°5: Ulothrixsp (Anonyme 01)	08
Figure N°6 : représente une photo microscopique d'un diatomée (Gyrosigmaacuminate) X1000	09
Figure N°7: figure 1 ;2 ;3 ;4 ;5 ;6 sont des exemples des chlorophytes	10
FigureN°8: 1, 2, 3, 4,5,6,expriment des exemples des Euglenophytes	11
Figure N° 9 :figures du 1 a 6 représente des exemples des Dinoflagellés	12
Figure N°9: Dinoflagellé Ceratiumsp (Anonyme 02)	13
Figure N°10 : 1,2,3,4,5,6,7 ,8 sont des exemples des Cryptophytes	13
Figure N°11: Chrysophytes (Anonyme)	14
Figure N°12: Phaeocystis Antarctica (Anonyme 02)	15
Figure N°13: 1à 12 sont exemples des Rhodophytes	16
Figure N° 14 : Algues rouges /Rhodophycées (Anonyme)	16
Figure N° 15 :1,2,3,4,5 sont des exemples des Cyanophytes	18
Figure N° 16 : Cyanobacterie Anabaena (Anonyme)	18
Figure N° 17 : différentes couleurs dans l'eau de la méditerranée;	25
Figure N° 18 :Cycle général de reproduction de l'algue	29
Figure N°19: Dessins de Hamburger (1905)	34
figure N° 20 : Dunaliélla salina	34
Figure N°21: Agrégation du rouge et du vert sous la forme de Dunaliella salina	37
Figure N°22: Photographie aérienne des bassins de culture d'Earthrise Nutritionnels	40
Figure N°23: Image satellitaire des salines d'Arzew, wilaya d'Oran	45
Figure N°22 : Sebkhha d'Arzew	46

RESUME

Dunaliella salina est une espèce unique de microalgues qui a évolué pour vivre dans des conditions environnementales extrêmes. Elle est considérée comme une extrémophile.

Dans ce plan , j'ai mentionner les meilleurs conditions de développement de cette microalgues, en optimisant les paramètres principaux qui influent d'une façon directe sur la production de la biomasse en contrôlant un ou plusieurs paramètres d'entrée pour obtenir des résultats validant un modèle avec une bonne économie pour produire cette microalgue des salines de l'ouest algérien . Pour cela c'était prévu a cultiver cette souche dans des conditions contrôlées en photobioacteur.

En achevant ce travail, on a constaté que l'algue Dunaliella salina croit et donne le maximum de son rendement dans des valeurs bien définie des quatre paramètres optimiser ,cette croissance nous a permis de classer ces paramètres par ordre d'action directe et d'importance majeur sur la production de la biomasse microalguale.

Mots clés : *Dunaliella salina, microalgue, photobioacteur, biomasse, photosynthèse , zone humide .*

الملخص

دونالييلا صالينا هو نوع فريد من الطحالب التي تطورت للعيش في الظروف البيئية القاسية. فهي أدا تعتبر مقاومة للظروف القسوى.

من خلال هذا العمل حاولت ايجاد الظروف الملائمة لنمو هذا الطحلب و ذلك من خلال العمل على تحسين اربعة عوامل خارجية و اساسية التي تؤثر بطريقة مباشرة على انتاج الكتلة الحيوية ذلك بالتحكم في عامل واحد أو عدة عوامل للوصول إلى نتائج مبينة في نموذج مع اقتصاد ملائم لإنتاج الكتلة الحيوية في شطوط الغرب الجزائري و لهذا قمنا بإنتاج هذه السلالة في عوامل متحكم بها وذلك في صور منفصلات حيوية .

دونالييلا صالينا تنمو و تعطي اعلى نسب الانتاج في قيم معينة من العوامل المحسنة ، هذا النمو سمح لنا بترتيبها حسب التأثير المباشر و الأهمية القسوى التي تعود على انتاج الكتلة الحيوية الطحالب الدقيق .

الكلمات الدلالية: دونالييلا صالينا ;الطحالب الدقيقة , الكتلة الحيوية .

Introduction

Introduction :

Les algues sont des organismes chlorophylliens se développant dans l'eau ou dans des milieux très humides. Bien que surtout abondantes dans les eaux des mers, des lacs, des mares, des eaux courantes et des eaux thermales, on en trouve également sur les roches humides et sur la terre. Exceptionnellement, elles peuvent être endophytes de tissus animaux ou végétaux **(Iltis, 1986)**.

Les algues constituent un vaste ensemble hétérogène d'embranchements ; totalement différenciés les uns des autres ; et rarement ayant des caractères communs , elles sont groupées avec les champignons dans la division des Thallophytes **(Feldmann, 1963)** .

Les caractères d'ordre cytologique, biochimique et le mode de reproduction ainsi que la structure différenciée jouent un rôle important à la distinction entre les embranchements d'Algues. En dehors de nombreuses formes unicellulaires ; on trouve des algues pluricellulaires formant des Thales sans feuilles, ni tiges, ni racines, ni vaisseaux conducteurs **(Iltis, 1986)**

Les microalgues et les cyanobactéries sont des organismes qui utilisent la lumière comme source énergétique dans le but de fixer le CO_2 , dont la taille varie du micron à la centaine des microns se trouvent en abondances dans les milieux aquatiques.

La biodiversité de ces microalgues est très vaste puisqu'elles sont estimées à plus de 200 000 à savoir plusieurs millions d'espèces d'algues existantes, ce qui est très supérieur aux 250 000 espèces de plantes supérieures recensées.

Dunaliella salina ; parmi ces microalgues chlorophycées unicellulaires qui vit dans les salines, grâce à la synthèse d'une série de molécules qui la protègent contre les conditions extrêmes de salinité, température ainsi que les rayons solaires ;

Dunaliella salina est capable d'accumuler du β -carotène, ce pigment d'origine naturelle dix fois plus actif que le β -carotène de synthèse, il est utilisé comme colorant alimentaire, source de vitamine A dans l'alimentation animales et humaines et comme additif en cosmétologie.

Dunaliella salina est une algue verte unicellulaire, biflagellée qui se développe

spontanément dans les milieux lagunaires très salés. Elle produit une couleur distincte rose et rouge souvent caractéristique des mares salines, et se caractérise par ses capacités à se protéger des espèces invasives.

C'est une espèce unique de micro-algues qui a évolué pour vivre dans des conditions environnementales extrêmes. Elle est considérée comme une extrémophile (**Rothschild et Mancinelli, 2005**).

- L'intérêt de ce présent travail est de :
 - Le signalement de cette espèce dans les zones humides de l'ouest Algérien, et particulièrement les salines (la saline d'Arzew Oran et la saline d'El Khaythour el Bayadh).
 - La révélation, l'indication et la fixation des conditions écologique et biologique qui favorisent l'apparition, le développement et la disparition de cette microalgue dans un milieu biotique naturel.

Le présent travail comporte trois parties :

- La première partie: généralités sur les algues et une présentation de l'espèce ainsi qu'une présentation des zones d'étude.
- La deuxième partie : résumé tous ce qui est expérimental, les différentes étapes de l'échantillonnage à travers les différents espaces temporaires.
- La troisième partie : résultats et la discussion.

Chapitre I

Généralités sur les algues

1.1. Définition ;

Les algues sont définies comme des organismes unicellulaires de taille microscopique eucaryotes ; vivant majoritairement dans l'eau ou elles sont à la base des réseaux trophiques aquatiques ; dépourvus de racines, de tige (absence de tissus vasculaires) et de thalles mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments accessoires pour réaliser la photosynthèse productrice d'oxygène.. Les algues sont classées dans le groupe des thallophytes, dans le règne végétal, mais du fait de la diversité des formes, certaines espèces phytoplanctoniques sont classées dans le règne des protistes qui regroupe les eucaryotes unicellulaires. La taille des algues peut varier de la cellule microscopique unique, à quelques cellules en colonie et jusqu'à 75 m (laminaires, sargasses) pour certaines formes multicellulaires qui peuvent atteindre des tailles impressionnantes.

Il s'agit d'un groupe **polyphylétique** incluant des organismes **procaryotes** (les cyanobactéries, ex... algues bleues ou Cyanophycées) qui sont généralement étudiées ensemble car bien qu'elles ne possèdent pas de noyau, elles ont beaucoup d'affinités avec les algues vraies .

Les divergences entre les groupes d'algues sont nettement supérieures à celles constatées dans le groupe pourtant varié des Cormophytes : mousses et hépatiques, fougères, lycopodes et prêles, ginkgo, cycas et conifères, angiospermes. On parlait autrefois **d'algues bleues** (qui ne sont pas de vraies algues (**cyanophycées** proches des bactéries), rouges(**Rodophycées**) ,vertes (**chlorophycées**) brunes (**phéophycées**) en fonction de leur couleur dominante. Si le groupe des algues rouges est homogène, les autres groupes ont éclaté et correspondent à des groupes qui n'ont parfois rien à voir entre eux dans la classification.(**O. MANNEVILLE, 2009**).

Les algues occupent en grande partie les milieux aquatiques, marins et sous-marins et constituent un ensemble d'organismes extrêmement divers qu'il est fort difficile de présenter de manière univoque. Une large majorité d'elles sont des formes unicellulaires (micro-algues) dont la reconnaissance nécessite des techniques microscopiques parfois très élaborées et sont très diversifiées ce qui témoigne de leur très longue histoire génétique. Elles ne constituent pas au sein des végétaux un ensemble homogène, mais se répartissent entre plusieurs lignées évolutives complètement indépendantes les unes des autres (**Julie, 2011**).

On peut trouver des algues qui se développent dans un milieu aquatique : saline ou saumâtre, ou elles forment le phytoplancton mais certaines sont terrestres et sont capables de se développer même au sol ou sur un sol mouillé (Nostoc, Cyanobactérie). Ou sur le tronc

des arbres (Pleurococcus, Chlorophytes), et d'autres se développent sur des roches humides, des algues vivent en symbiose avec des champignons pour former les lichens. Les algues et les cyanobactéries sont parmi les premiers organismes apparus sur Terre.

On distingue essentiellement trois lignées d'évolution concernant les algues marines :

- la lignée brun-jaunes avec les algues brunes.
- la lignée rouge avec les algues rouges.
- la lignée verte qui regroupe à la fois les algues vertes, les mousses, les fougères et les plantes à fleurs.

Il y a plus de différences génétiques entre une algue brune comme un Fucus (goémon de rive) et une algue verte de genre Ulva (laitue de mer), qu'entre cette dernière et un chêne ! Cette grande hétérogénéité explique la richesse et la diversité biochimique à l'origine de leur exploitation.



Figure No 1:fucus Vésiculeux(Anonyme) Figure N°2:Ulva (Laitue de Mer) (Anonyme)

1.2 Diversité d'espèces d'algues :

La diversité des algues est très riche, elle est due à leur nombre très vaste qui pour le moment est illimité et inconnue. La dernière classification a donné environ 127 000 noms d'espèces, dont la majorité de **micro-algues** qui sont à la base de la chaîne alimentaire marine ; utilisés en aquaculture. Il y aurait environ 9 000 espèces de **macro algues** qui se différencient des micro-algues essentiellement par leur taille dont 1 500 peuplent les mers

d'Europe, et le nombre total de microalgues, quant à lui, varie selon les estimations entre 100 000 à plusieurs millions d'espèces (Mathieu, 2011). Parmi les milliers des macros algues marines connues, seules quelques-unes sont utilisés dans l'alimentation humaine, qui appartient au quatre groupes :

1-**algues brunes** (phéophycées) ,2-**les algues rouges** (rhodophycées) ,3-**les algues vertes** (chlorophycées) ,4- **les algues bleues** (cyanophycées).

Les Algues sont définies comme des **Thallophytes** pourvus de pigments assimilateurs, ce groupe englobe des Thallophytes dont la structure cellulaire est incomplète, notamment par l'absence de véritable noyau (des organismes photosynthétique Procaryotes) et des Thallophytes dont les cellules comportent tous les constituants habituels, en particulier un noyau bien individualisé (des organismes photosynthétique eucaryotes)(biodiversité 2009).

Les algues constituent un ensemble hétérogène, difficile à caractériser, qui comprend des végétaux unicellulaires, coloniaux, et pluricellulaires mais qui ne possèdent ni racines, ni tiges, ni feuilles (ce sont des thallophytes). De couleurs diverses - vertes, jaunes, brunes ou rouges -, elles contiennent toujours de la chlorophylle. On en compte quelque 27 000 espèces (Iltis, 1986)

Le mot algue représente un grand groupe de différents organismes de différents groupes phylogénétiques, représentant de nombreuses divisions taxonomiques. En général, une algue peut être référée à des organismes semblables aux plantes qui sont souvent photosynthétiques et aquatiques, mais n'ont pas de véritables racines, tiges, feuilles, tissus vasculaires et ont des structures reproductives simples. Elles se trouvent partout dans le monde dans l'eau de mer, dans l'eau douce et dans les sols humides. La plupart sont microscopiques, mais certaines sont assez grandes, par ex: certaines algues marines peuvent dépasser 50 m de long. Une algue a de la chlorophylle et peut fabriquer sa propre nourriture par le procédé de la photosynthèse. Récemment, elles ont été classées dans le groupe des protistes, qui comprend une variété d'organisme unicellulaire et certains organismes simples eucaryotes multi nucléaires et multicellulaires (Pruvost, 2011).

La nature exacte des chloroplastes est différente suivant les différents types d'algues ; elle est due à l'intermédiaire de leur chloroplaste (chlorophylle) pour effectuer la photosynthèse.

Les cyanobactéries sont des organismes traditionnellement inclus dans les algues, mais elles ont une structure cellulaire procaryote typique des bactéries et procèdent à la photosynthèse directement depuis le cytoplasme, plutôt que dans des organelles spécialisées.

1.3 Classification et description des algues :

Les algues sont, majoritairement, des eucaryotes (étymologie : cellule à noyau vrai) qui font partie des cryptogames (étymologie : plante à appareil reproducteur caché). Ce sont des thallophytes (étymologie : plante à ramification), c'est-à-dire des plantes dont les cellules sont isolées, groupées ou assemblées en tissus peu ou pas différenciés, donc des plantes sans organes, au sens biologique du terme. Elles sont photosynthétiques ; leurs habitats sont variés mais leur cycle de reproduction nécessite absolument de l'eau.

Leur morphologie est très diversifiée et elles peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires.

Les algues possèdent des chloroplastes et pratiquent donc la photosynthèse de composés organiques. Hormis la chlorophylle, d'autres pigments sont responsables de colorations caractéristiques (brune, jaune, rouge...), la nature biochimique de ces pigments constituant d'ailleurs la base de la classification des algues. C'est ainsi que l'on distingue les algues vertes, dont la plupart constituent le groupe des chlorophycées, les algues brunes

Comme les phéophycées (algue brune) et les algues rouges (rhodophycées). Il existe également des algues jaunes, les xanthophycées

Les algues peuvent être des individus unicellulaires, tels *Chlorococcum* vivant sur le tronc des arbres ou *Chlamydomonas* vivant en eau douce. À l'opposé, les laminaires peuvent atteindre près de 4 m et les sargasses sont longues de plusieurs dizaines de mètres (**Pruvost, 2011**)



Figure N°3: Chlamydomonas

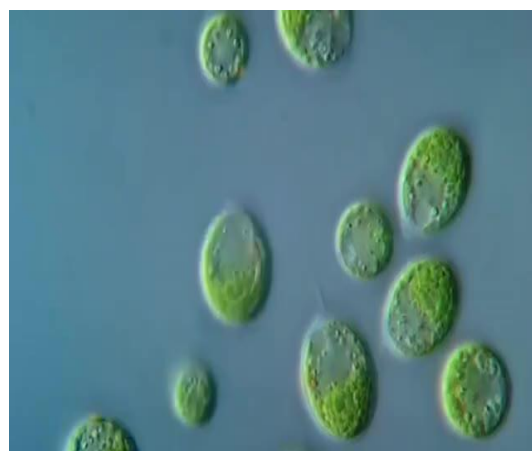


Figure N°4: Chlorococcum

Les algues révèlent une étonnante diversité de formes, de couleurs, d'architectures qui ne peuvent être retrouvées ailleurs dans l'un ou l'autre des règnes animal ou végétal ; au niveau cellulaire pour l'observation aidée au microscope. Mais outre le plaisir esthétique que lui réserve l'observation des algues et auquel il ne peut être insensible, le biologiste, attentif à tout les indices susceptibles de lui livrer les voies par les quelles a cheminé l'évolution, trouve, dans l'analyse des structures cellulaires et des plans d'organisation de ces végétaux, des fils conducteurs qui lui permettent d'imaginer logiquement, à l'intérieur des grands phylums, non seulement les étapes qui ont marqué la Progression des formes, des plus simple au plus complexes, mais aussi, parfois, le retour de ces dernières à des aspects apparemment primitifs.

La diversité se retrouve également dans les formes. Beaucoup d'algues sont filamenteuses, telle que l'*Ulothrix*, une algue verte, constituée de compartiments ou de cellules mises bout à bout. Certaines d'entre elles sont même ramifiées. On trouve également des algues membraneuses très aplaties, comme *Ulva* (ulve, ou « laitue de mer »), composée d'une ou deux assises cellulaires seulement. Les algues rouges et brunes comportent elles, de nombreuses formes massives et variées.

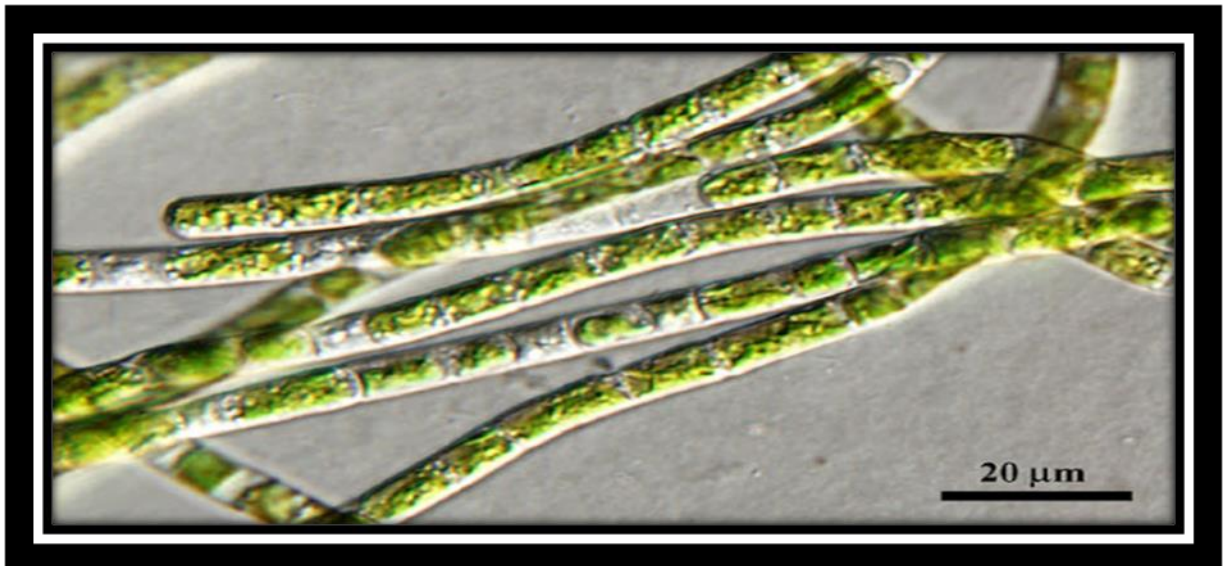


Figure N°5: Ulothrixsp (Anonyme 01)

1.2.1 Les principaux groupes phylogénétiques d'algues:

1.2.1.1. Diatomées: se sont des algues unicellulaires ou coloniales, quelques fois filamenteuses, à plastes bruns ou jaunes contenant de la chlorophylle a et c, du β carotène et plusieurs xanthophylles. Elles sont caractérisées par leurs parois cellulaires imprégnées de silice formant une logette bivalve appelée frustule. Celui-ci à l'aspect d'une boîte surmonté d'un couvercle, les deux valves sont ornementées de stries, pores, aiguillons, épines qui ont un grand rôle dans la systématique de ses organismes. Les diatomées sont des organismes unicellulaires de la famille des protistes, caractérisées par une coque en silice et d'une sculpture souvent belle et complexe.

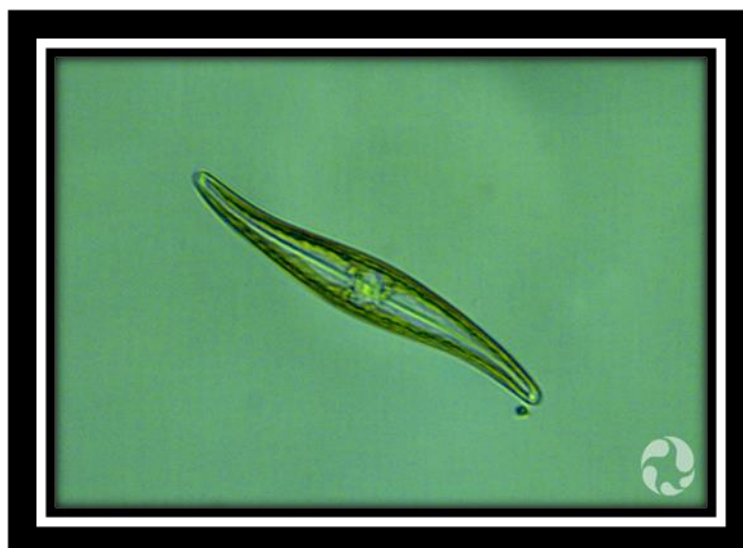


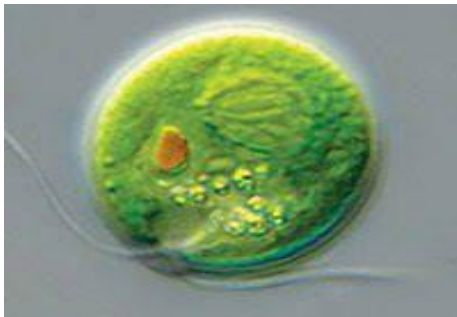
Figure N°6 : représente une photo microscopique d'un diatomée (Gyrosigmaacuminate) X1000 (P. Hamilton .2010)

La plupart des diatomées existent séparément, rarement se joignent en colonies, généralement jaunâtres ou brunâtres, et se trouvent dans les eaux salées et les eaux douces, dans les sols humides, et sur la surface humide des plantes. Les diatomées sont des organismes unicellulaires de la famille des protistes, caractérisées par une coque en silice d'une sculpture souvent belle et complexe ; elles apparaissent en grande abondance au début de l'année en tant qu'élément du phénomène connu sous le nom de *spring bloom*, qui se produit en raison de la disponibilité de la lumière et des nutriments (régénérés de l'hiver).

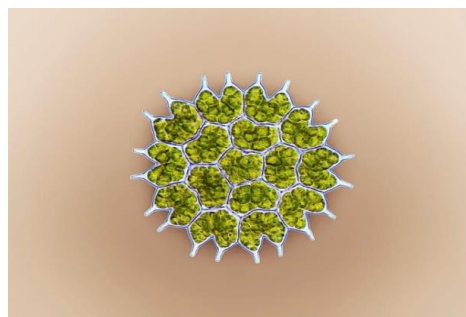
Elles se reproduisent de manière asexuée par division cellulaire. Lorsque les diatomées aquatiques meurent, elles tombent dans le fond, et les coques n'étant pas sujettes au pourrissement, se rassemblent en boue et éventuellement forment le matériel connu sous le nom de terre.

1.2.1.2. Chlorophytes:

Phylogénétiquement plus proches des [Embryophytes](#) ; sont comme tous les autres groupes des eucaryotes à noyau bien individualisé ; dérivées de la famille des protistes, elles possèdent des plastides d'un vert franc contenant de la chlorophylle a et b associée à de la α et β -carotène et des xanthophylles identiques à celles des plantes supérieures. Les réserves sont constituées d'amidon intraplastidial colorable en bleu par la solution iodo-iodurée. Les formes nageuses possèdent en général deux ou quatre flagelles de même taille. Les chlorophytes qui regroupent environ six cent genres et plus de huit mille espèces dont les quatre cinquièmes vivent en eau douce.



1. *Chlamydomonas reinhardtii*



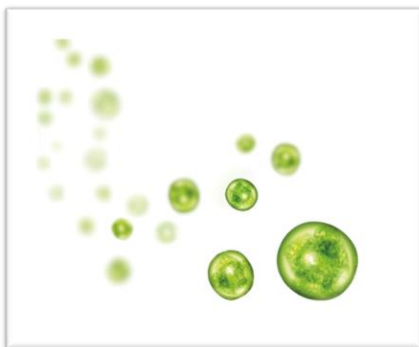
2. *Pediatrum boryanum*



3. *Volvox aureus*



4. *Scenedesmus protuberans*,



5. *Chlorella vulgaris*,



6. *Palmella miniata*

Figure N°7: figure 1 ;2 ;3 ;4 ;5 ;6 sont des exemples des chlorophytes

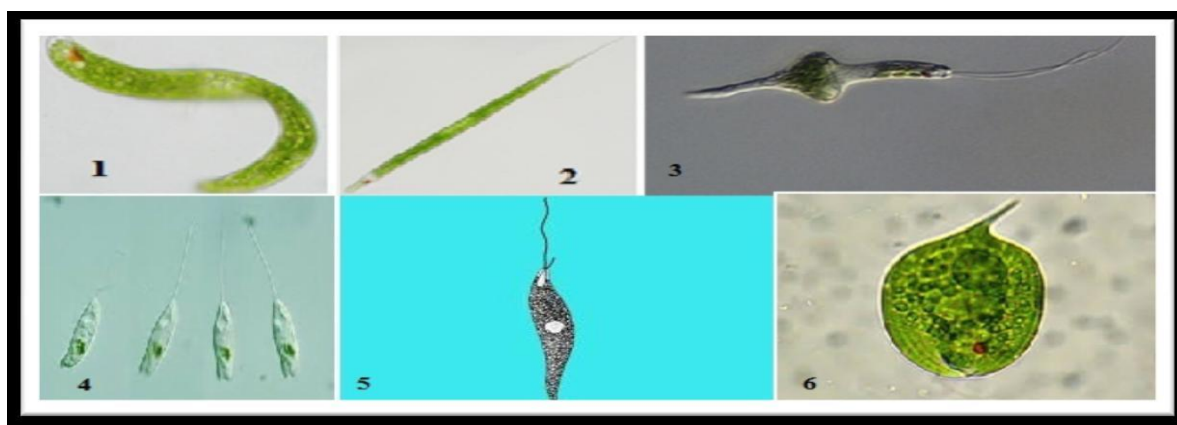
1.2.1.3. Euglenophytes:

Ce sont des algues unicellulaires et flagellées, le plus souvent mobiles avec des plastes verts contenant de la chlorophylle a et b associé à du β -carotène et des xanthophylles. La présence de chloroplastes s'explique probablement par l'ingestion d'[Algues vertes](#). Elles sont pigmentées par les [chlorophylles a](#) et [b](#) et des [caroténoïdes](#), ce qui leur donne une brillante couleur verte, et sont attachées par trois membranes.

La plupart des Euglenophytesphagotrophes possèdent deux flagelles, l'un devant et l'autre derrière. Ce dernier est employé pour glisser à travers le substrat. Pour certains, comme *Peranema*, le flagelle de tête est rigide et n'oscille qu'à son extrémité.

Certaines espèces emmagasinent de l'hématochrome (astaxanthine) et prennent une teinte rouge qui masque la teinte verte des plastes. Les réserves sont constitués de grains de paramylon, substance non colorable par la solution de l'iodo-iodurée de lugol, mais présentant en lumière polarisée le phénomène de la croix noir comme l'amidon véritable. Ce paramylon est extraplastidiale. Le ou les fouets sortent d'une fossette apicale ou subapicale. Les Euglenophytes sont présentes dans les milieux riches en matières organiques (**Iltis, 1986**).

C'est un petit embranchement de la famille des protistes, composé principalement d'algues aquatiques unicellulaires. Certains Euglénoides contiennent des chloroplastes avec des pigments photosynthétiques; d'autres sont hétérotrophes et peuvent ingérer ou absorber leur nourriture. La reproduction se fait par division cellulaire longitudinale. La plupart vit dans l'eau douce. Le genre le plus caractéristique est l'*Euglena*, courant dans les étangs et les piscines, spécialement lorsque l'eau a été polluée par écoulement depuis des champs ou des pelouses sur lesquels des engrais ont été utilisés. Il existe environ 1000 espèces d'Euglénoides(**jullie, 2011**).



1-*Euglena ehrenbergii*, 2- *Euglenaacus*, 3 *Eutreptiapertyi*4- *Peranematrichophorum*,
5- *Distigma proteus* ,6-*Phacus triqueter*.(Algaebase.org.)

FigureN°8: 1, 2, 3, 4,5,6,expriment des exemples des Euglenophytes

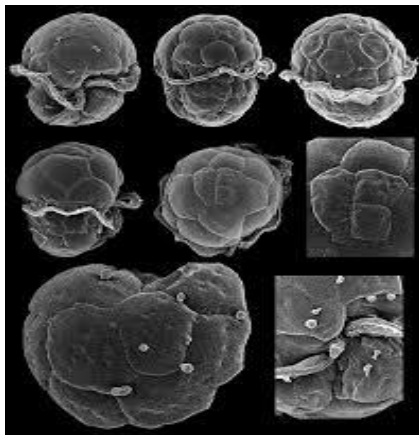
1.2.1.4. Les Pyrrophytes : ou dinoflagellés, ils ont des plastes bruns, plus rarement rouges ou bleu-verts contenant des chlorophylles a et c, du β -carotène et parfois des biliprotéines. Les formes unicellulaires biflagellées sont très nombreuses. Les réserves sont constituées par de l'amidon extraplastidiale (Iltis, 1986). Elles font partie du phytoplancton et sont responsables du phénomène des eaux rouges.



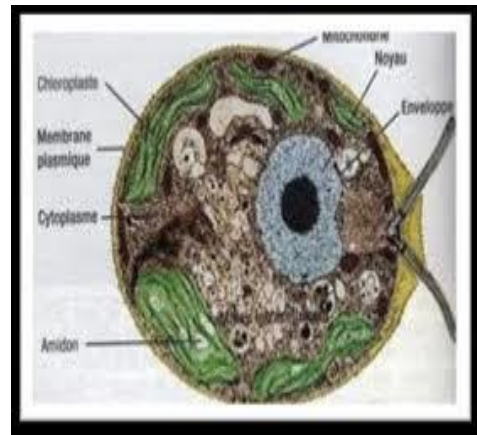
1-*Borghiella tenuissima*,



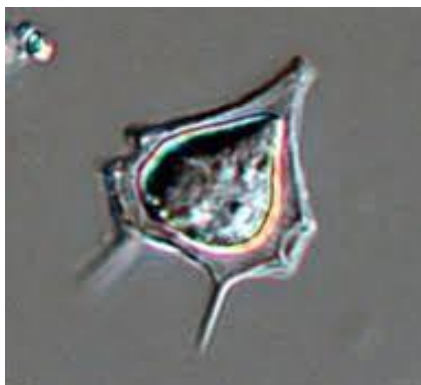
2-*Biecheleria baltica*,



3-*Symbiodinium voratum*



4-*Herdmania litoralis*



5- *Amphidinium bipes*



6-*Nannoceratopsis gracilis*

Figure N° 9 :figures du 1 a 6 représente des exemples des Dinoflagellés

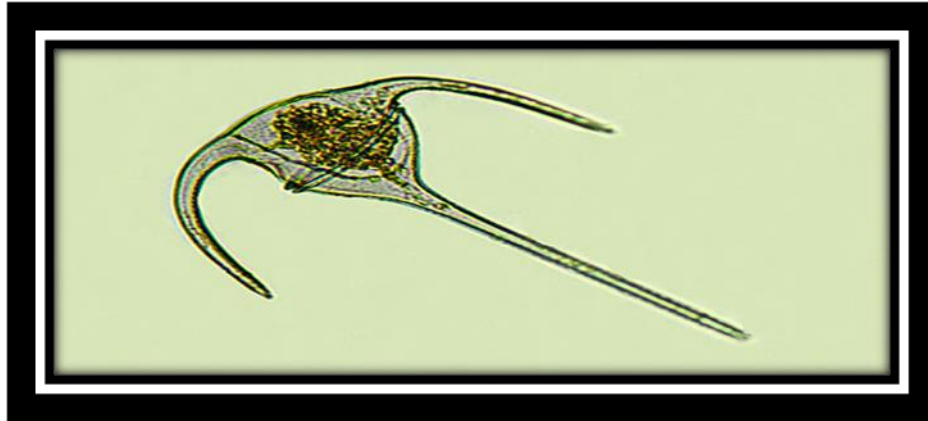


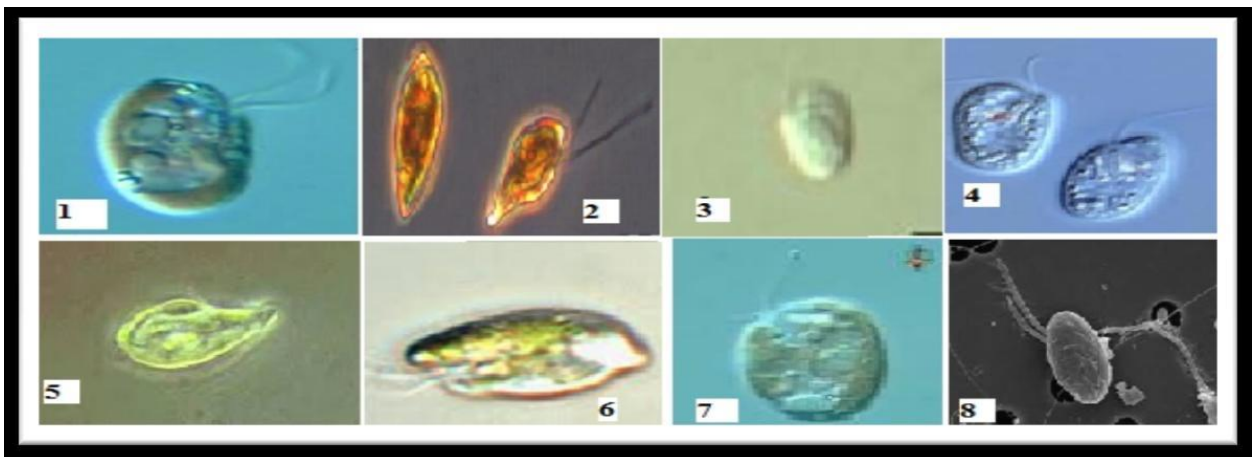
Figure N°9: Dinoflagellé *Ceratium* sp (Anonyme 02)

D'autres espèces sont des endosymbiontes d'animaux marins et de protozoaires, et jouent un rôle important dans la biologie des récifs coralliens. D'autres dinoflagellés sont des prédateurs sans couleurs sur d'autres protozoaires, et certains forment des parasites.

La reproduction de la plupart des dinoflagellés est asexuée, par une simple division des cellules suivant la mitose.

Beaucoup de formes sont phosphorescentes; ils sont énormément responsables de la phosphorescence la nuit dans les mers tropicales. Il existe approximativement 2000 espèces de dinoflagellés. On distingue deux classes :

a) *Les Cryptophycées*: elles sont toutes unicellulaires, à fouets légèrement inégaux, insérés latéralement et dirigés dans le même sens, sortant d'un cytopharynx.



1-*Protomonas sulcata*, 2- *Teleaulaxacuta*, 3-*Goniomonas truncata*, 4-*Chilomonas paramecium*,
5-*Chroomonas marinas*, 6-*pyrenomonasalina*, 7- *Rhinomonassp*, 8- *Hemiselmisvirescens*
(Algaebase.org.)

Figure N°10 : 1,2,3,4,5,6,7 ,8 sont des exemples des Cryptophytes

b) Les Dinophycées , ou Péridiniens : Elles sont à fouets dirigés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre, l'un longitudinal, l'autre transversal. Elles ont un très gros noyau à structure filamenteuse.

1.2.1.5. Les chrysophytes:

Le terme chromophyte désigne un grade évolutif para phylétique regroupant tous les organismes du règne **Chromista** possédant de la chlorophylle c , c'est-à-dire ceux qui ont conservé leur **chloroplaste** à quatre membranes résultant de l'endosymbiose secondaire d'une algue rouge.

Cette notion sert à contraster cet état ancestral par rapport aux groupes de chromistes non-photosynthétiques qui ont indépendamment perdu leurs chloroplastes.

Elles sont caractérisées par des chromatophores bruns, jaunes ou vert-jaunâtres. Elles ne possèdent jamais d'amidon et ne se colorent pas au contact de l'iode. Il existe de nombreuses formes flagellées possèdent pour la plupart deux fouets inégaux (**Iltis, 1986**).



Figure N°11: Chrysophytes (Anonyme)

Dans certaines conditions, elles se reproduisent de manière sexuée, mais la forme courante de la reproduction est la division cellulaire. Ce groupe se divise en cinq classes d'après la classification ancienne qui n'est toujours pas stable à ce jour, cela est dû à la diversité morphologique et physiologique des algues, ce dernier groupe se divise en quatre principales classes après la reclassification des Diatomées en un groupe à part:

a) Les Chrysophycées : unicellulaire : de couleur brun-jaune vivant souvent parmi le plancton en eau salée ou en eau douce , Leur couleur caractéristique est due aux pigments caroténoïdes qu'elles contiennent. Une chrysophycée possède généralement deux

flagelles situés à l'une des extrémités de la cellule. Elles sont toutes photosynthétiques.

b) Les Xanthophycées : Elles possèdent des plastes vert-jaunes ou verts à peine jaunâtre où les chlorophylles a et c sont associées à plusieurs xanthophylles et du β carotène, les pigments bruns étant absents. Leur teinte est souvent très proche de celles des chlorophytes mais l'absence d'amidon permet de séparer facilement ces deux groupes.

c) Les Phéophycées : sont des algues brunes toujours filamenteuses ou thalloïdes. Elles sont surtout marines et ne sont représentées en eaux douces que par cinq genres et cinq à six espèces fort rares. Elles possèdent des plastes bruns contenant des chlorophylles a et c, du β carotène et des xanthophylles (surtout la fucoxanthine et la diatoxanthine). Elles ne produisent jamais d'amidon et les matières de réserve consistent en laminarine et en mannitol. La reproduction se fait par des zoosporocystes uni ou pluriloculaires.

d) Les Raphidophycées : Ce sont toujours des formes unicellulaires, biflagellées. Leurs pigments sont constitués par de la chlorophylle a, du β -carotène et trois xanthophylles. Comporte 20 espèces d'eau douce.

1.2 .1.6. Phaeocystis:

C'est un embranchement de la famille des protistes ; nano planctonique marine comprenant les organismes couramment appelés les algues brunes. Les chrysophytes, les algues brunes ont leur couleur due à la présence, dans les chloroplastes des cellules, de plusieurs colorants brunâtres de caroténoïde. Sont caractérisées par l'existence de plusieurs formes de vie individuelle ou coloniale. , se développant dans les océans froids du monde beaucoup dans les zones de marée, où elles sont soumises à un bon stress par l'action des vagues: d'autres se développent dans les eaux profondes. Il existe approximativement 1500 espèces de Phaeocystis.

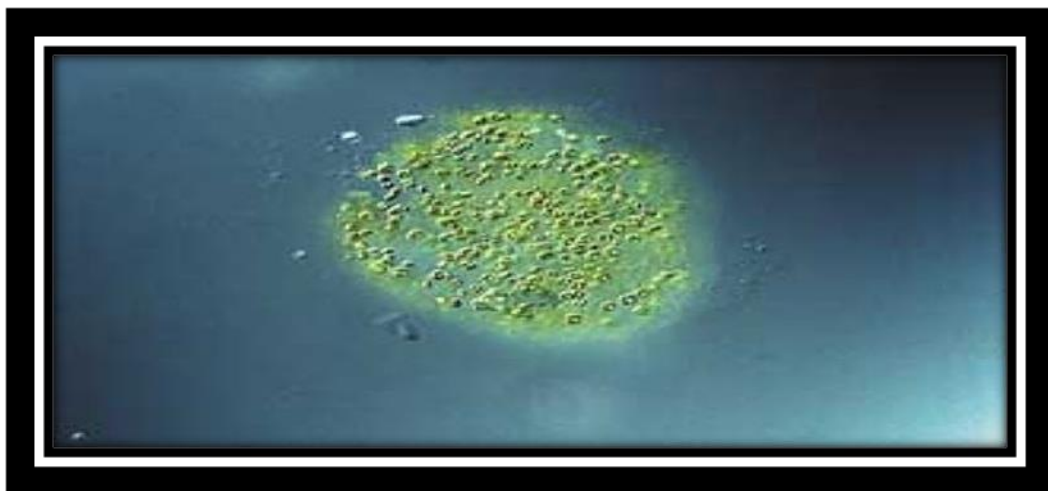
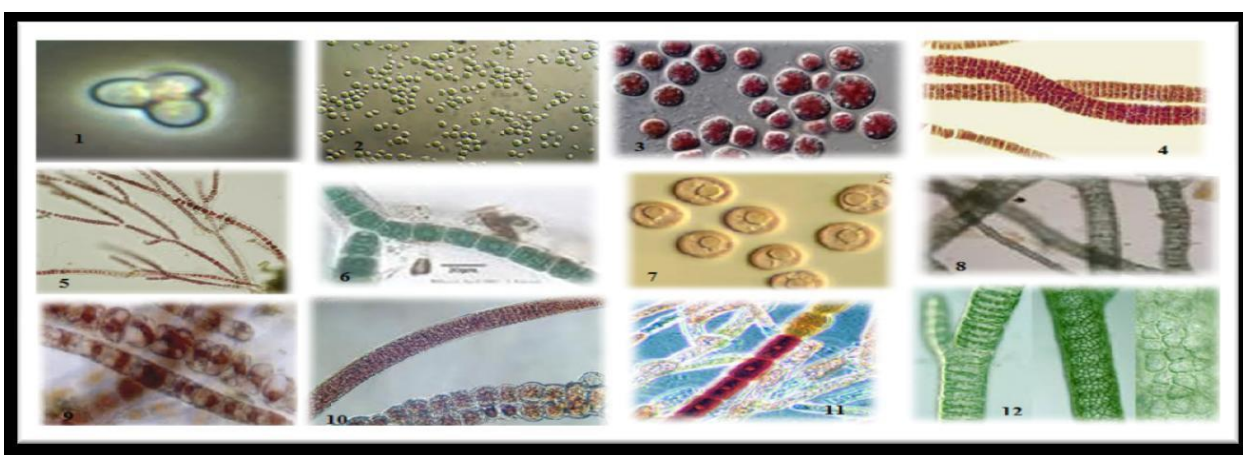


Figure N°12: Phaeocystis Antarctica (Anonyme 02)

1.2.1.7. Rhodophytes:

Sont en majorité des algues marines et leur présence dans les eaux douces se limite à une trentaine de genres peu fréquents, comprennent deux sous classes : les bangiophycidées et les floridéophycidées. Leurs pigments sont constitués par des chlorophylles a et d. des α et β carotènes, des xanthophylles et son protéines (Phycoérythrine et Phycocyanine). Les réserves sont constituées de rhodamylon ou amidon floridéen, amidon particulier toujours extraplastidial prenant une teinte rougeâtre au contact de l'iode. En eau douce, la couleur des Rhodophytes est bleue-verte, rouge violacée, très souvent vert pale ou vert noirâtre. Il n'existe pas des formes flagellées.



1-*cyanidioschyzonmerolae*, 2-*cyanidium caldarium*, 3- *porphyridium cruentum*,
4- *porphyrostromium ciliar*, 5-*stylonema alsidii*, 6-*chroodactyl onornatum*,
7- *Rhodorus marinus* ,8- *compsopogonopsis* sp, 9-*Erythrotrichiace* *ceramicola*,
10-*porphyrostromium ciliar*, 11-*rhodochaete parvula*, 12-*compsopogon* sp (Algaebase.org.)

Figure N°13: 1à 12 sont exemples des Rhodophytes



Figure N° 14 : Algues rouges /Rhodophycées (Anonyme)

La plupart des algues marines appartiennent aux rhodophycées. Bien qu'elles soient trouvées dans tous les océans, elles sont plus communes dans les climats tropicaux, où elles peuvent se produire à de plus grandes profondeurs que les autres organismes photosynthétiques.

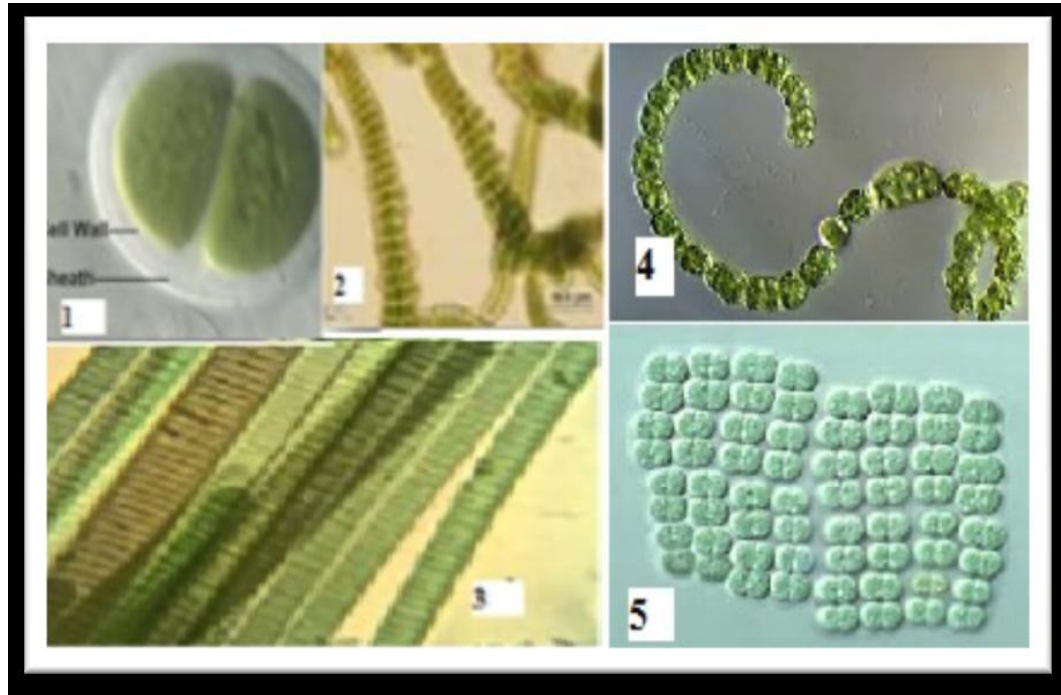
La plupart des algues coralliennes, sécrètent du carbonate de calcium et jouent un rôle majeur dans la construction de récifs. Les algues rouges font parties traditionnellement de la cuisine orientale. Il existe 4000 espèces marines connues d'algues rouges, peu d'espèces se produisent dans l'eau douce.

1.2.1.8. Cyanophytes:

Sont des organismes procaryotes du domaine des Eubacteria. Appelées algues bleues, regroupées au sein d'une seule classe Cyanophycée, qui forme à elle seule cet embranchement. Cette classe compte environ 120 genres avec plus de 1500 espèces.

Elles obtiennent leurs énergies par la photosynthèse. Elles sont souvent référées aux algues vertes, quoiqu'on sache maintenant qu'elles ne sont liées à aucuns autres groupes d'algues, qui sont tous des eucaryotes. Les cyanobactéries peuvent être de structure cellulaire simple ou colonial. En fonction des espèces et des conditions environnementales, les colonies peuvent former des filaments ou des feuilles. En dépit de leur nom, les différentes espèces peuvent être rouges, brunes ou jaunes; on dit que les fleurs d'eau (masses denses sur la surface des plans d'eau) des espèces rouges donnent à la Mer Rouge son nom.

Il existe deux principales sortes de pigmentation. La plupart des cyanobactéries contiennent de la chlorophylle a, ensemble avec divers protéines appelées phycobilines qui donne aux cellules une couleur typiquement verte à brunâtre, quelques genres, cependant, manquent de phycobilines et ont la chlorophylle b aussi bien que a, leur donnait une couleur vert claire (**Lando, 2011**).



1-*Chroococcus turgidus*, 2- *Gomphonema mamillo* 3 - *Oscillatoria margaritifera*,
4. *Anabaena spiroides*, 5. *Merismopedia elegans*.(Algaebase.org)

Figure N° 15 :1,2,3,4,5 sont des exemples des Cyanophytes

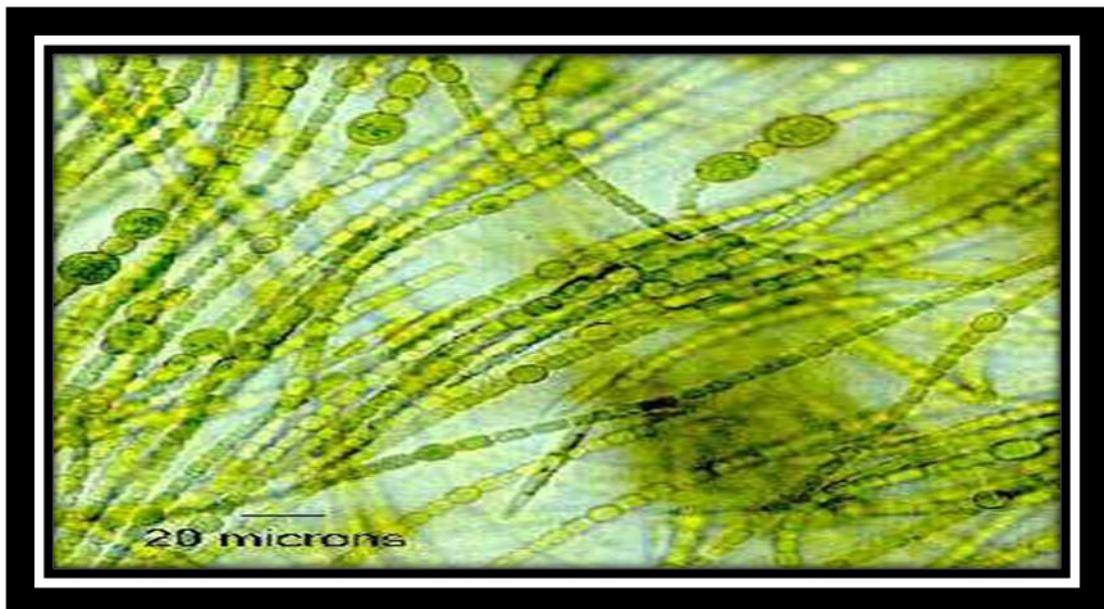


Figure N° 16 : Cyanobacterie *Anabaena* (Anonyme)

Elles sont dénommées aussi algues bleues ou Schizophytes ou encore Myxophytes, ne possèdent pas de noyau à membrane définie (ce sont des Procaryotes, à l'inverse des autres groupes qui sont des Eucaryotes) ni de chromatophores. Les pigments présents dans la cellule

sont nombreux : chlorophylle verte a et c, β carotène et xanthophylles jaunes ou ochracés.

Certaines espèces ne possèdent que de la chlorophylle. Ces pigments ne sont pas portés par des plastes mais sont diffus dans le cytoplasme et donnant aux cellules une coloration homogène le mélange caractéristique des cyanophycées, mais on rencontre aussi des teintes noirâtres, brunâtres, rouge, bleues ou même violette. Les réserves cellulaires sont constituées par un corps très voisin du glycogène dispersé en particule très petites. Elles prennent une teinte acajou au contact d'une solution iodo-iodurée. Les cyanophytes ne possèdent pas de forme flagellées (Iltis, 1986).

1.2.2 Les microalgues :

Elles sont des algues microscopiques unicellulaires. Elles peuvent être libres ou en colonie. Leur cellule unique est indifférenciée assure toutes les fonctions. Ce sont des micro-organismes appartenant à deux groupes : les eucaryotes et les procaryotes. Elles sont cultivées en milieu extérieur, dans des raceways , ou en milieu fermé, dans des photo bioréacteurs Unicellulaires ou pluricellulaires indifférenciées, ce sont des micro-organismes généralement photosynthétiques eucaryotes ou procaryotes.

Elles vivent dans les milieux fortement aqueux, elles peuvent posséder une mobilité flagellaire. Elles colonisent tous les biotopes exposés à la lumière. Leur culture monoclonale est réalisée dans des photo bioréacteurs ou des fermenteurs industriels. Toutefois, la grande majorité des microalgues sont capables la nuit de se nourrir par osmotrophie et sont donc de fait mixotrophes.

Elles jouent un rôle important dans le cycle du carbone et de manière plus générale dans les cycles biogéochimiques des lacs et des Océans.

La sensibilité de certaines microalgues à certains polluants (cuivre, hydrocarbures par exemple) peut leur donner une valeur de bioindicateur.

Certaines sont importantes dans les phénomènes de bioaccumulation et de bioconcentration dans le réseau trophique.

Elles vivent dans les milieux fortement aqueux. Les microalgues eucaryotes possèdent une structure cellulaire végétale classique compartimentée, les pigments photosynthétiques étant contenus dans des membranes lamellaires. Elles sont réparties dans différentes familles qui ont chacune leurs propres caractéristiques, mais elles ont aussi des points communs en particulier dans leur ultra structure et leur métabolisme.

On utilise le terme «micro» car la taille d'une microalgue varie de quelques micromètres à une centaine de micromètres. Pour les étudier, on doit donc les observer au microscope optique et au microscope électronique ce qui permet de voir plus de détails, en particulier leur morphologie.

Une micro-algue est un organisme photosynthétique unicellulaire délimitée par une membrane plasmique, qui contient au sein de son cytoplasme de nombreux organites nécessaires à son fonctionnement et à son métabolisme : chloroplastes, amyloplast, oléoplastes, mitochondries et son noyau entouré d'une enveloppe.

La distinction faite entre microalgues et macroalgues est très imprécise. On nomme généralement macroalgues les algues dont l'appareil végétatif est clairement visible à l'œil nu.

Les microalgues sont des micro-organismes aquatiques. Dotées d'une croissance rapide, elles ont la particularité de pouvoir produire des substances industriellement intéressantes ; elles rassemblent à la fois les macroalgues benthiques (fixées sur un support) ainsi que des organismes microscopiques pélagiques (en eau libre, du fond à la surface). Ces dernières, dénommées également phytoplancton, sont définies comme étant des organismes unicellulaires ou pluricellulaires indifférenciés. Sous cette désignation, elles constituent un sous-ordre des Eucaryotes ou des Procaryotes. Toutefois, leur potentiel est encore peu exploré : sur un million d'espèces estimées, seules 30 000 environ ont été étudiées.

Déjà utilisées dans l'alimentaire, les cosmétiques et les fertilisants, les microalgues sont considérées comme une voie alternative aux carburants traditionnels et aux dérivés chimiques biosourcés. En effet, certaines espèces ont la capacité de produire des composés ayant un potentiel énergétique comme les lipides (source de biodiesel) ou l'amidon (source de bioéthanol). Les microalgues font partie des biocarburants dits de 3^e génération.

Ils se distinguent des agrocarburants, issus de cultures destinées traditionnellement à l'alimentation et des biocarburants de 2^e génération, produits à partir de sources végétales non alimentaires telles que le bois et les déchets végétaux .

Les micro-algues utilisées depuis longtemps comme source alimentaire au Tchad ou en Amérique latine (la Spiruline est en fait une cyanobactérie souvent assimilée à une microalgue), ne sont cultivées et exploitées industriellement que depuis quelques dizaines d'années, Leur développement s'est fait en parallèle à celui de l'aquaculture de poissons et de coquillages bivalves. Leur usage principal est en effet de nourrir les larves d'aquaculture. Elles sont aussi cultivées pour produire du bêta-carotène ainsi que différentes autres molécules d'intérêt pour l'alimentation humaine, la cosmétique, la pharmacie. Leur usage à

des fins énergétiques n'a été envisagé que depuis les années 1980, suite au premier choc pétrolier, et ce n'est que récemment qu'elles ont attiré à nouveau l'attention de la recherche et de l'industrie comme source de biocarburant, notamment pour l'aviation.

En effet, la quantité de lipides qu'elles contiennent les prédispose à ce type d'usage, tout comme leur richesse en protéines et en acides gras polyinsaturés (oméga 3) en font de bonnes candidates pour l'alimentation aquacole (**Mathieu, 2011**).

Mais, aujourd'hui, le pas important à franchir reste celui de leur exploitation à grande échelle afin qu'elles puissent jouer un rôle significatif sur le marché mondial dans les années à venir. Là est tout l'enjeu des travaux actuels pour permettre de mieux appréhender les enjeux et les défis qui restent à lever.

Principaux composants du phytoplancton, les micro-algues (en incluant les cyanobactéries) sont des êtres photosynthétiques unicellulaires peuplant les océans et cours d'eau depuis plus de trois milliards et demi d'années (**Gandolfo, 2011**).

La consommation des algues remonterait à des millénaires. Les scientifiques ont découvert que le phytoplancton était consommé au Mexique depuis le temps des Aztèques et que les Tchadiens consomment la spiruline séchée depuis plusieurs décennies (**Julie, 2011**).

En Europe, c'est dans un contexte de pénurie alimentaire que les chercheurs ont commencé à s'intéresser aux algues microscopiques en tant qu'aliment ou complément alimentaire, dès 1940 : leurs teneurs en protéines auraient permis de palier les problèmes de malnutrition. La première installation industrielle de culture de chlorelle, développée pour l'alimentation des proies utilisées pour l'alimentation des juvéniles de poissons d'élevage, a vu le jour dans les années 1960, au Japon (**Julie, 2011**).

1.2.2.1. Diversité de familles et d'espèces des micro-algues :

Peuplant les eaux douces comme marines, les micro-algues présentent une diversité plus grande que celle de toutes les plantes terrestres. Il existerait sur le globe au moins 200 000 espèces différentes. Certains auteurs avancent même des chiffres supérieurs à un million d'espèces. Ces organismes constituent un groupe polyphylétique et très diversifié de procaryotes (les algues bleues ou cyanobactéries) et eucaryotes (où l'on retrouve les algues vertes, rouges et brunes). Le classement en divisions est basé sur diverses propriétés telles que la pigmentation, la nature chimique des produits de stockage issus de la photosynthèse, organisation des membranes photosynthétiques et d'autres caractéristiques morphologiques,

Les algues rouges et vertes appartiendraient à une même famille (Plantae) et seraient

apparues il y a deux milliards d'années. Les algues brunes et les diatomées seraient issues d'une association d'une micro-algue rouge et d'un organisme unicellulaire hétérotrophe, apparues il y a un milliard d'années elles forment la famille des Chromal véolates. A noter que certains travaux rapprochent les algues rouges des algues brunes en prenant en considération des marqueurs biogénétiques différents (**Julie, 2011**).

Les microalgues constituent un groupe extrêmement hétérogène rassemblé autour d'une cohérence physiologique : la photosynthèse oxygénique (**Andersen, 1992**).

Cette famille rassemblerait de plusieurs centaines de milliers à plusieurs millions d'espèces selon les estimations, parmi lesquelles 47000 espèces sont décrites (**Andersen et al, 1997 ; Sharma and Rai, 2011**).

Par comparaison, la diversité des plantes supérieures est de l'ordre de 400 000 espèces. La classification de cette diversité est complexe et la taxonomie est sujette à de fréquents bouleversements du fait notamment de l'utilisation des techniques de phylogénie moléculaire (**Sialve et Steyer, 2013**).

1.3. Les algues et les plantes aquatiques :

1.3.1 Les algues :

Les biologistes distinguent clairement les algues des plantes aquatiques; la plus part confondent ces notions. Établissons ici les définitions. Aujourd'hui dit organisme Eucaryotes possédant la chlorophylle a et faisant la photosynthèse oxygénique. Ne possède pas de système vasculaire. Possède des structures de reproductions simples ; se sont des êtres vivants capables de photosynthèse dont le cycle de vie se déroule généralement en milieu aquatique.

Elles constituent une part très importante de la biodiversité et la base principale des chaînes alimentaires des eaux douces, saumâtres et marines. Diverses espèces sont utilisées pour l'alimentation humaine, l'agriculture ou l'industrie ou elles ne constituent pas un groupe évolutif unique, mais désignent toute une série d'organismes pouvant appartenir à des groupes phylogénétiques très différents.

1.3.2.Plantes aquatiques :

Se sont des plantes qui ont les racines sous l'eau. Les racines peuvent être de 0 à 60cm sous l'eau et plantées dans la vase ou en panier dans les bassins artificiels. Vous trouverez une grande diversité de plantes avec des floraisons étalées dans le temps, des couleurs variant du jaune au blanc en passant par le bleu ou le rose et une grande diversité de hauteur, elles sont

utilisées pour la phytoépuration dans des stations d'épuration, les piscines naturelles ou les différents types de lagunage, sont des végétaux très évolués composés de feuilles (ou de thalles), chevalement de tiges ainsi que de racines. Ces structures comprennent des vaisseaux. Ces derniers ont l'apparence de nervures au niveau des feuilles. Ils servent à transporter l'eau et les sels minéraux nécessaires à la croissance de la plante. En raison de leurs vaisseaux, les plantes aquatiques sont des macrophytes vasculaires (**Anonyme, 05**).

Une plante aquatique est composée d'organes comme des feuilles vertes, des tiges et des racines ayant des dimensions et des formes différentes selon les espèces (**Anonyme, 05**).

D'autres espèces sont constituées de thalles et de racines. Les thalles ressemblent à un groupe, de minuscules feuilles vertes, sous lequel pendent de petites racines (**Anonyme, 05**).

Les racines, tiges, feuilles et thalles incluent des vaisseaux pour la circulation de l'eau et des sels minéraux. Au niveau des feuilles ou de certains thalles, ces vaisseaux ressemblent à des nervures. Vues de loin, les plantes aquatiques composées de thalles s'apparentent à des particules «flottantes».

Lorsqu'elles sont regroupées dans un même secteur, les plantes aquatiques qui flottent créent des «tapis flottants» et celles qui sont enracinées forment des herbiers (**Anonyme, 05**).

Certaines plantes vivent en surface (flottantes), d'autres sont enracinées dans le substrat. Parmi celles-ci, certaines occupent une portion de la colonne d'eau (enracinées et immergées) ou parviennent jusqu'à la surface (enracinées et flottantes). Les espèces enracinées poussent surtout en zone littorale peu profonde. Les plantes aquatiques se trouvent naturellement dans des zones à courant nul ou faible (**Anonyme,05**)

Retenons ainsi que les algues sont pour la plus part microscopiques, alors que, ce que nous observons au fond du lac sont des plantes aquatiques.

1.3.3. Les algues filamenteuses :

Les algues filamenteuses sont un fléau des aquariums d'eau douce. Elles apparaissent sur les feuilles des plantes aquatiques, sur le décor, et modifient l'esthétique du bac tout en créant des problèmes fonctionnels aux plantes. Pour réduire ces filamenteuses, il faut diminuer la charge organique de l'aquarium.

elles sont aussi désignées 'macrophytes non vasculaires'. Ce sont des filaments minces, fragiles et verts. Certains d'entre eux ressemblent à des cheveux mêlés flottant à la surface de l'eau. D'autres, qui sont accrochés à un substrat,

Certaines algues filamenteuses flottent à la surface. D'autres sont fixées sur un substrat

dur comme des roches, du ciment ou une bûche de bois.

Les algues filamenteuses flottantes se voient surtout dans des milieux à courant nul. Cependant, celles qui sont fixées sur un substrat croissent aussi dans des milieux à courant assez rapide.

1.3.4 Le Périphyton :

Le périphyton est une communauté complexe d'organismes microscopiques et de détritiques qui s'accumulent à la surface des objets tels que les roches, les branches, les piliers de quai et même les plantes aquatiques. Au lac des Îles, on le retrouve fréquemment sur les roches du pourtour du lac. De plus, celui-ci peut prendre différents aspects, mais il est généralement brun et visqueux.

Il ressemble à un amas souvent verdâtre et visqueux ayant une apparence mousseuse, recouvrant en partie ou en totalité des plantes aquatiques, du bois, des roches ou d'autres surfaces inertes. Les algues du périphyton ne poussent pas en longueur contrairement aux algues filamenteuses.

1.4 Physiologie :

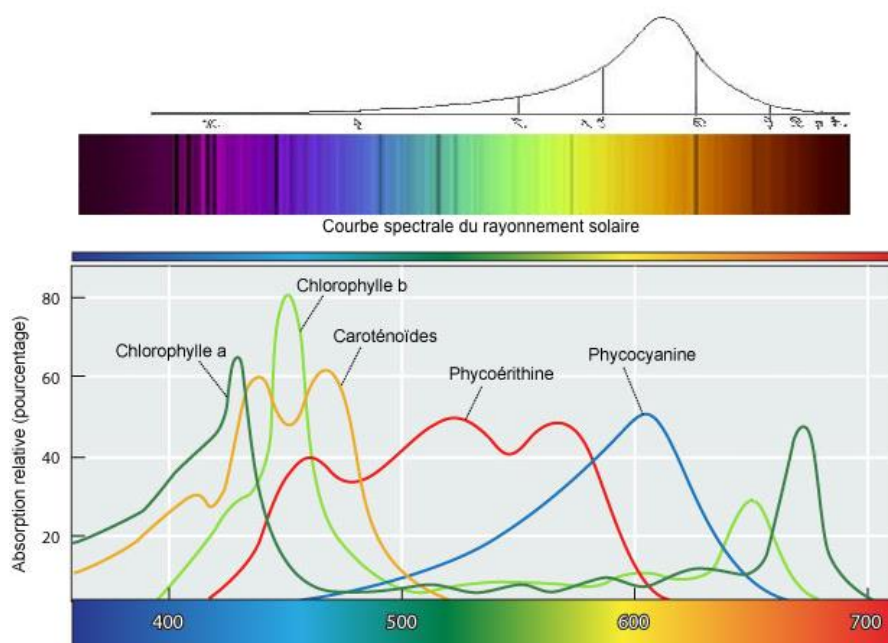
Dans l'ensemble, les cellules des algues présentent tous les caractères communs aux cellules eucaryotes. Elles possèdent généralement un noyau unique, mais le cytoplasme d'une forme filamenteuse en contient plusieurs. Quelques algues unicellulaires sont capables de mouvements amiboïdes tandis que d'autres disposent d'un ou de plusieurs flagelles pour se déplacer. Chez les diatomées, les mouvements sont liés à une sortie de l'eau par des orifices de la membrane.

La lumière visible (lumière blanche) est composée d'un spectre de couleurs : violet, bleu, vert, jaune, orange, rouge (rangées dans l'ordre des longueurs d'onde de plus en plus élevées).

Sous l'eau, il y a une perte rapide (exponentielle) de l'intensité lumineuse qui dépend de la longueur d'onde de chaque composant. Ce phénomène s'appelle **l'absorption sélective** et il est dû aux vibrations et aux déformations des molécules de l'eau excitées par l'absorption de la lumière. L'absorption est plus forte aux longueurs d'onde élevées, les valeurs exactes dépendant de la transparence de l'eau (sédiment, plancton...). Le rouge, le plus affecté, est réduit à 1/3 de son intensité après un mètre et essentiellement perdu après un trajet de 4 à 5 mètres sous l'eau.

La figure donne une idée de l'importance relative pour différentes couleurs dans l'eau de la méditerranée; la distance de l'extinction "effective" d'une couleur est donnée en fonction de la longueur d'onde. Pour la lumière du soleil, la distance parcourue est généralement liée à la profondeur. Cela explique l'étagement littoral des algues en fonction de leur couleur.

Figure N° 17 : différentes couleurs dans l'eau de la méditerranée;



Les plastes sont des organites qui renferment des pigments de nature et de couleur variables dont le rôle est de capter l'énergie lumineuse au cours du processus de la photosynthèse. Le pigment vert est la chlorophylle, le brun la fucoxanthine, le rouge la photosynthèse. Le pigment vert est la phycoérythrine.

1.5. Ecologie:

Les algues assurent plus de la moitié de toute la photosynthèse de la terre et sont à la base de toutes les chaînes alimentaires aquatiques. Les algues brunes, majoritaires dans le varech, sont utilisées comme engrais, car elles sont riches en iode, en potasse et en soude. Certaines algues offrent un intérêt thérapeutique ou pour la fabrication de produits cosmétiques (mucilages, notamment). Enfin, la thalassothérapie recourt aux algues pour des bains ou des massages corporels.

Les algues constituent une part importante de l'écologie aquatique et adoptent des modes de vie très divers. Bien qu'elles soient toutes pourvues de chlorophylle, elles peuvent être autonomes (autotrophes ou saprophytes), parasites ou vivre en symbiose. Les algues contribuent à la limitation de l'effet de serre en fixant le carbone par photosynthèse.

- Algues autotrophes

- Algues flottantes du plancton
 - Algues unicellulaires, en colonies lâches ou filamenteuses formant le phytoplancton,
 - Algues flottantes de grande taille : les sargasses, algues brunes adaptées à la vie flottante,
 - elles ont donné leur nom à la mer des Sargasses, ou bien algues brunes ou rouges qui forment
 - des boules ou pelotes flottantes appelées aegagropiles.
 - Algues thermophiles
 - Algues aériennes
 - Algues fixées
 - sur des rochers : épilithes
 - Ce sont les algues des côtes rocheuses fixées par des crampons robustes aux rochers ou aux galets jusqu'à une profondeur de 50 à 75 m, mais elles se raréfient très rapidement avec la Profondeur au-delà de 30 m, les radiations utiles à la photosynthèse étant absorbées par l'eau de mer. Elles se développent plus sur des côtes en pente douce qui forment des plates-formes littorales étendues. C'est parmi ces algues qu'on trouve les espèces géantes : les laminaires,
 - les *Durvillea* de Nouvelle-Zélande longue de 10 m, ou les *Nereocystis* de la côte Ouest de l'Amérique du Nord dont les frondes peuvent atteindre 50 m de long.
- **NB : la posidonie (*Posidoniaoceanica*), espèce endémique de la Méditerranée, n'est pas une algue, mais une plante à fleurs de la famille des Posidoniacées.**
- La zostère est également une plante à fleurs. Quant à la salicorne, c'est une plante terrestre halophile (qui aime le sel).
- Sur des animaux : épizoïques comme les paresseux (aï ou unau) portent sur leur poils une algue brune pendant la saison sèche et verte pendant la saison des pluies, qui les aide à se confondre avec leur environnement.
- sur des végétaux : épiphytes
- sur du bois : épixyles
- Algues saprophytes
- Algues parasites
- Algues symbiotiques :
 - On appelle zoochlorelles ou zooxanthelles, les algues vivant en association avec des

organismes animaux, selon qu'il s'agit d'algues vertes ou d'algues brunes. Les organismes

concernés sont des spongiaires, des cnidaires, des bryozoaires ou des protozoaires.

- Avec des champignons : les lichens. Toutes les algues qui prennent part à la formation des lichens sont des Chlorophycées, la plupart unicellulaires.

Les plus grandes algues, appelées *algues marines* croissent surtout dans les fonds peu profonds et procurent des habitats différents. Des formes microscopiques, appelées phytoplancton, procurent la base de la chaîne alimentaire marine. Le phytoplancton peut être présent en forte densité notamment à cause de l'eutrophisation. Ce phénomène, appelé efflorescence d'algues, peut provoquer un changement visible de la couleur de l'eau.

Les *marées vertes* qui peuvent couvrir certaines plages d'un matelas nauséabond de quelques décimètres d'épaisseur et de quelques mètres voire dizaines de mètres de large, sont dues à la prolifération d'algues vertes, essentiellement *Ulva lactuca*, dans un milieu enrichi en nitrates par le ruissellement dans les zones d'agriculture intensive ou par un traitement insuffisant des eaux usées de zones urbaines.

Plusieurs espèces de micro-algues sont capables de passer d'une croissance photoautotrophe (grâce à de la lumière qui fournit l'énergie pour convertir le CO₂ en chaînes carbonées) à une croissance hétérotrophe (sans lumière) utilisant le glucose ou d'autres substrats carbonés utilisables pour le métabolisme du carbone et de l'énergie. Certaines algues peuvent également se développer par mixotrophie en combinant les deux modes (**Julie, 2011**)

1.6. Habitat :

Selon les groupes et les espèces, les algues sont capables de coloniser presque tous les milieux. Elles se rencontrent dans des eaux presque pures aux eaux surchargées en minéraux, des eaux thermales aux glaciers, des eaux acides aux eaux alcalines, ainsi que dans le milieu terrestre. En milieu aquatique, elles peuvent être planctoniques (en suspension dans l'eau et incapables de mouvements propres suffisants pour résister à ceux des masses d'eau) ou benthiques (fixées ou en relation étroite avec le fond). Un même groupe d'algues peut être significativement représenté à la fois dans le plancton et le benthos (les algues vertes, les diatomées) ou être très majoritairement planctonique (les haptophytes) ou presque

exclusivement benthique (les algues rouges et brunes). Les algues peuvent aussi être aériennes, se développer sur ou dans des végétaux ou des animaux, aquatiques ou terrestres. Certaines ont des habitats extrêmement spécialisés : la cyanobactérie *Cyanoderma*, n'est connue que sur les poils des bradypes (paresseux à trois doigts), l'algue rouge unicellulaire *Cyanidium caldarium*, présente un optimum de croissance à une température de 57 °C et à un pH de l'eau de 2 (eaux thermales acides).

Les algues sont surtout des plantes aquatiques, d'eau douce ou d'eau salée, voire de milieu humide. Elles sont tout particulièrement bien représentées dans les régions côtières.

Lorsque la mer se retire, les zones les plus hautes de la grève montrent, accrochées à leurs rochers, des algues de couleur verte. *Ulva lactuca* avec ses éléments ressemblant à des feuilles de laitue est une des plus communes, apparaissent ensuite les algues brunes, plus tardivement découvertes par la mer. C'est la zone de développement des Fucus.

Au niveau inférieur, seulement découvert lors des grandes marées d'équinoxe, on trouve encore des algues brunes mais du type laminaire. Peu à peu, jusqu'à une profondeur de 50 m, des algues rouges vont se substituer aux algues brunes.

1.7. Reproduction :

La reproduction peut être asexuée par mitose : bipartition pour les unicellulaires, bourgeonnement ou fragmentation pour les autres. Toutes les algues bénéficient, en principe, de cette possibilité végétative.

Il existe cependant toujours un vrai cycle de reproduction qui se compose de 2 parties distinctes (voir le schéma ci-dessous) :

on commence avec la germination de la spore (N sur le schéma ci-dessous) qui produit un gamétophyte (N) qui fabrique les cellules mâles (N) et femelles (N) ; ces dernières, après fécondation, donnent un zygote (2N), et ce zygote donne un sporophyte (2N) qui va, lui, produire les spores (N) après la méiose.

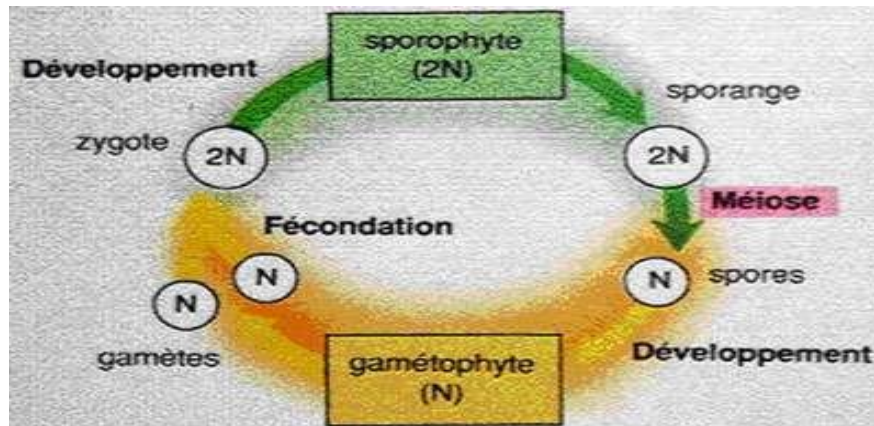


Figure N° 18 : Cycle général de reproduction de l'algue

Les micro-algues présentent l'avantage d'avoir un cycle de division très court, de l'ordre de quelques heures, permettant la production rapide de biomasse (plusieurs grammes de matière sèche par litre)

La reproduction des algues fait appel, comme chez tous les végétaux, à des spores et à des gamètes, mais selon des cycles variés et parfois complexes.

Leur développement fait intervenir plusieurs facteurs de croissance et conditions de culture comme : l'eau, les nutriments, la lumière, le CO₂, la température et le pH de la culture, ainsi que l'agitation. En fonction des souches cultivées l'eau est douce, marine ou saumâtre.

L'apport en eau et sa qualité vont conditionner et influencer la culture des algues. Pour une croissance optimale en photobioréacteurs, il est souvent nécessaire de débiter la culture dans une eau stérile dépourvue de tout autre micro-organisme ou molécule pouvant inhiber ou concurrencer la croissance des algues, ou au moins ensemercer avec une quantité significative de biomasse (Julie, 2011).

Les nutriments nécessaires à la croissance des algues varient en fonction du mode trophique, de la souche cultivée et de la source d'eau choisie.

Dans le mode autotrophe, les micro-algues sont capables d'utiliser des formes minérales azotées (nitrate, nitrite, ammonium), et phosphatées (phosphate). Quel que soit le mode de croissance, les algues nécessitent également du potassium, du fer et de la silice (pour les diatomées), du soufre, des métaux sous forme de traces, et des vitamines.

Comme pour tout végétal chlorophyllien, la photosynthèse permet de fixer le dioxyde de carbone atmosphérique ou dissous dans l'eau à partir de l'énergie lumineuse pour produire de la biomasse. Les algues utilisent différents pigments chlorophylliens leur permettant de capter

des photons de diverses longueurs d'onde.

En fonction des applications et des superficies de culture, la lumière naturelle (solaire) ou bien les algues sont éclairées par une source lumineuse artificielle (néons, Led...).

La température, le pH, le carbone inorganique dissous et le taux d'homogénéisation sont des facteurs importants pour la culture. En effet, en fonction de la souche, il existe des gammes pour ces paramètres garantissant une croissance optimale. Les performances de la culture peuvent être significativement dégradées loin de ces conditions optimales (**Boyen, 2011**).

Parmi les facteurs limitant la croissance il y a l'accumulation d'oxygène dans le milieu produit par la photosynthèse en système clos.

Il faut par ailleurs veiller aux risques de contamination par d'autres microorganismes dont la croissance plus rapide pourrait l'emporter sur les souches recherchées, ou bien par des prédateurs qui peuvent rapidement consommer la biomasse. Des virus peuvent également être responsables de dysfonctionnements des procédés de culture. Ce problème est en grande partie résolu pour les algues croissant en milieu extrêmophile, comme les eaux hyper-salées (telle que *Dunaliella salina*) ou hyper alcalines (telle que la spiruline) qui limitent la croissance des prédateurs et des microorganismes concurrents (**Sassi, 2011**).

1.8. Utilisation, exploitation et valorisation des algues :

Concernant la valorisation de cette immense richesse, elle n'en est qu'à ses balbutiements. En effet, bien que certaines macro-algues soient exploitées depuis l'antiquité dans la plupart des pays maritimes, notamment dans les pays d'extrême orient, leur exploitation à l'échelle mondiale reste marginale par rapport à la production végétale terrestre : 15 millions de tonnes de macro-algues (dont 13,5 Mt de culture) et 7 à 10 000 tonnes de micro-algues (100% en culture), contre 4 milliards de tonnes pour la production agricole.

La France, et l'Europe sont aujourd'hui en retard face aux pays asiatiques qui ont eux développés des techniques de production leur permettant aujourd'hui de satisfaire leurs besoins qui sont énormes, notamment en termes de consommation alimentaire. Mais leur production permet également de pouvoir exporter de la matière première dans le monde entier (**Findeling, 2011**).

Les micro-algues quand à elles ne pèsent aujourd'hui que 10 mille tonnes par an en culture contrôlée, c'est-à-dire en dehors des micro-algues utilisées pour le traitement des eaux résiduaires. Cette faible exploitation quantitative des algues, comparativement à la ressource potentiellement disponible en France, s'explique principalement par le manque de maturité industrielle d'une filière qui est en émergence. Elles jouent cependant un rôle important dans

le domaine de l'agroalimentaire en fournissant des gélifiants comme les carraghénanes et les alginates, qui n'ont pas d'équivalents d'origine terrestre. Leur utilisation dans le domaine de la cosmétique et de la chimie est en plein essor, indiquant un renouveau dans leur valorisation à l'échelle industrielle (**Mathieu, 2011**).

Les algues marines ouvrent de nombreuses perspectives pour la recherche et pour de nombreux secteurs économiques, au nombre de cinq: l'alimentation, la santé, les biocarburants de seconde et surtout de troisième génération, l'environnement et l'industrie. A cela, il faut rajouter d'autres activités comme la cosmétique.. L'Alimentation humaine, beaucoup d'algues sont utilisées dans l'alimentation humaine telles que le cas des algues microscopiques: Spiruline, Diatomée et Chlorelle. Pour le cas de la Spiruline, citée à titre indicatif, en raison de sa valeur nutritionnelle très élevée, cette algue bleue est considérée comme l'une des seules sources de protéines non animales, avec le soja, à contenir tous les acides aminés essentiels (**Simpore et al., 2006**).

D'autres types de macroalgues peuvent être intégrés dans certains ingrédients alimentaires, comme les pâtes. Les algues sont, aussi, la source de produits dites nutraceutiques: ingrédients actifs présents à l'état naturel dans un aliment qui procurent un effet bénéfique pour la santé. C'est le cas par exemple des acides aminés, des acides gras polyinsaturés comme le DHA (acide docosahexaénoïque ou l'oméga-3).

Parmi les algues marines les plus valorisées, on trouve les algues rouges comme *Gelidium*, *Gracilaria* et *Gracilariopsis*, dites algues agarophytes sources de trois phycocolloïdes: l'agar, l'alginate et les carraghénanes qui sont des polysaccharides aux propriétés épaississantes et gélifiantes. Ces phycocolloïdes sont utilisés aussi bien dans le domaine agroalimentaire que dans le domaine médical et industriel. L'agar est considéré comme étant l'agent gélifiant naturel le plus puissant que l'on trouve actuellement. On estime que les algues rouges représentent un potentiel important de ressource pour la production d'agar (**Mc Lachlan, 1985**).

Les algues appartenant au genre *Gelidium* constituent la principale matière première pour la préparation de l'agar, soit 44% de la production mondiale après les gracilaires qui contribuent pour 53% à la production (**Marinho-Soriano et Bourret, 2003**).

Egalement, les algues entrent dans la composition des aliments destinés aux animaux comme les huitres, les poissons, les crustacés et les volailles.

Chapitre II

Présentation de Dunaliella salina

II.1 *Dunaliella salina*

II.1.1. *Dunaliella salina* :

Le genre *Dunaliella* Salina. Ce sont des algues vertes trouvées dans les milieux lagunaires ; généralement bi-flagellé peuvent atteindre une taille de 16 à 24 µm de long et entre 10 à 15 µm de large , elle produit une couleur distincte rose et rouge souvent caractéristique des mares Salines (**Oren et Rodriguez, 2001**), et se caractérise par ses capacités à se protéger des espèces invasives .*D.salina* a été sélectionné par Michel Félix Dunal en 1838 dans les bassins d'évaporation saline en France et a pris le nom *Dunaliella Salina* en 1905 par Teodoresco qui a travaillé avec ces échantillons ou lui a donné une structure détaillée et des informations sur sa physiologie ; son mode de reproduction et son écophysiologie . *Dunaliella salina* est un organisme très primitif appartenant à une division des eucaryotes, qui ont évolué plus de 1.5 milliard d'année (**Segovia et al, 2003**)

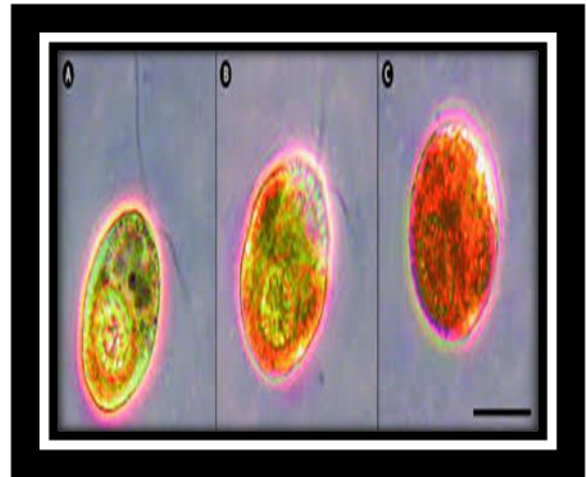
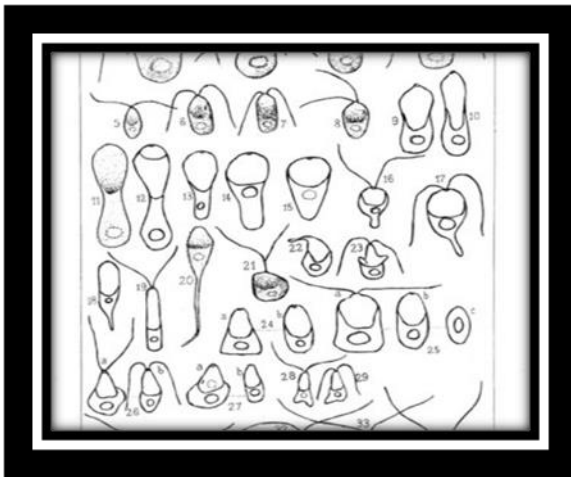


Figure N°19: Dessins de Hamburger (1905) figure N° 20 : *Dunaliella salina*

(1-4) et les cellules vertes (*Dunaliella viridis*),
(5-8), des formes diverses observées dans une
Chute qui devient plus concentré par évaporation,
(9-29), des formes sphériques obtenues par dilution

Divers nom scientifique de *Dunaliella* :

Dunaliella acidophila, *Dunaliella assymetica*, *Dunaliella baasbeckingii*, *Dunaliella bardawil*,
Dunaliella salina, *Dunaliella bioculata*, *Dunaliella carpatica*, *Dunaliella cordata*, *Dunaliella*
euchlora, *Dunaliella gracilis*, *Dunaliella granulata*

Massyuk, *Dunaliella lateralis*, *Dunaliella maritima*, *Dunaliella media*, *Dunaliella minuta*, *Du*

naliella parva, **Dunaliella peircei**, *Dunaliella polymorpha*, **Dunaliella primolecta**, **Dunaliella pseudosalina**, *Dunaliella quartolecta*, **Dunaliella ruineniana**, *Dunaliella salina*, **Dunaliella terricola**, *Dunaliella tertiolecta*, **Dunaliella turcomanica**, **Dunaliella viridis**, *Dunaliella viridis*

II.1.2. Taxonomie :

Dunaliella est devenu un organisme modèle idéal pour l'étude de l'adaptation au sel dans les algues. La mise en place du concept de bio soluté compatible pour assurer l'équilibre osmotique a été en grande partie basée sur l'étude de l'espèce *Dunaliella salina* (Oren, 2005). (Teodoresco, 1905-1906, in Oren, 2005)

Il trouve deux espèces: *Dunaliella salina* et *Dunaliella viridis*. La différence entre eux est au niveau de la taille des cellules ;et dans des conditions appropriées, il synthétise des quantités massives de pigments caroténoïdes, la coloration des cellules de couleurs vives rouge dont laquelle *salina* la produit .

Il n'est pas constaté d'auto floculation naturelle dans les cultures hypersalines de *D. salina*. De plus, cette dernière ne flotte pas sans déstabilisation de la suspension. La floculation induite par augmentation du pH lors de l'ajout de soude. Des efficacités de récupération supérieures à 90% et des facteurs de concentration autour de 20 sont atteints. Un mécanisme d'auto floculation, avec précipitation de $Mg(OH)_2$ est proposé pour expliquer la floculation par balayage de *D. salina*.

L'influence du débit d'injection de soude ajoutée est aussi étudié pour anticiper les contraintes relatives à l'industrialisation du procédé. Ce débit n'a pas d'effet sur l'efficacité de récupération des algues et réduit le facteur de concentration seulement pour les injections abruptes. L'augmentation naturelle du pH de culture par l'intermédiaire de l'activité photosynthétique pourrait permettre de réduire le taux de base consommé. Les cellules non-récoltées restent en vie durant l'augmentation du pH et pourraient être utilisées comme inoculum d'une nouvelle culture.

D'autres espèces ont été ajoutées ultérieurement au genre (*Dunaliella viridis*, *Dunaliella peircei*, *Dunaliella parva*, *Dunaliella polymorpha*, *Dunaliella anchlora*) notamment grâce à des études approfondies par Lerche (1937) et Butcher (1959) Lerche (1937) a étudié le matériel collecté à partir des lacs salés en Roumanie et en Californie. Elle a conclu que la première espèce *Dunaliella viridis* est hétérogène et devrait être divisé en plusieurs nouvelles espèces.

II .1.3. Cycle de vie :

Dunaliella salina est naturellement présente dans les marais salants et les mers à forte salinité (Polle et al., 2009). Elle est par exemple présente sur le site des salines d'Arzew l'étude illustrée dans ce mémoire est effectuée avec une souche isolée dans ces marais. Elle est l'un des organismes eucaryote les plus tolérants aux conditions environnementales extrêmes

II .1.4. La Reproduction :

Généralement la reproduction des algues s'effectue par multiplication végétative. Néanmoins, au cours de son cycle, qui atteint son apogée au printemps et en été, la *Dunaliella Salina* peut enchaîner une alternance de deux générations où tous les individus possèdent une morphologie presque identique mais différent en nombre de chromosomes. (Faller H. 2011; mediterraneo 2015), On distingue d'abord la reproduction **asexuée** qui consiste en la division du thalle. Cette fragmentation génère des organismes identiques appelés sporophytes marqués par une diploïdie. A la suite d'une méiose, on observe une production de zoospores quadriflagellés qui donnent naissance à des pieds mâles et femelles ou gamétophytes mâles et femelles haploïdes eux même producteurs de gamètes biflagellées . (Faller H. 2011; Garon-Lardiere S. 2004) .

C'est ainsi que provient la reproduction **sexuée** qui se traduit par l'union de deux de ces gamètes et la production d'un zygote à 2N, il est connu que chez les espèces *Salina* jusqu'à 60 % de leur biomasse est consacrée à la reproduction grâce à la grande capacité photosynthétique de leur cellules reproductrices. (Botany 2001) Ceci dit, ceci dépend de signaux environnementaux tels que la photopériode, la température, le pH, la salinité, la disponibilité des nutriments et la déshydratation et de facteurs saisonniers puisque cette reproduction atteint son maximum au printemps. (biofuels 2015; Pettett P. 2009)

II .1.5.L'habitat :

(Ben-Amotz. BenAmotz et al, in Borowitzka, 1990). Borowitzka, MA et Borowitzka, LJ, in Borowitzka, MA (1988) ont également proposé que le β -carotène agisse également comme un « puits de carbone » pour stocker l'excès de carbone produit lors de la photosynthèse dans des conditions où la croissance est limitée, mais la fixation du carbone photosynthétique doit se poursuivre (**Borowitzcaontrario**), cette caractéristique ne facilite pas la culture et la récolte de l'algue. Cette première étant très sensible aux forces de cisaillement, durant sa production, l'utilisation de pompes centrifuges est proscrite et la taille des tuyaux de circulation doit être choisie en conséquence (Borowitzka, 1991). Le choix des procédés de récolte étudiés dans le cadre de ce travail tient compte de cette fragilité.

Dunaliella est classé comme une espèce comestible de phytoplancton (micro-algues). Aucune étude de toxicologie humaine formelle ont été menées sur cette algue, cependant les effets néfastes de la consommation de l'ensemble des cellules de phytoplancton ou de β -carotène extrait de Dunaliella ont été rapportés dans les études cliniques humaines.

Dunaliella salina s'appuie sur un système de transport des ions Na^+ pour s'adapter à la pression osmotique exercée sur ses parois .ellea la faible capacité de pouvoir réaliser la photosynthèse dans un milieu hypersalin (**Raja et al., 2007; Liska et al., 2004**).

Ceci lui confère une originalité qui lui permet de se développer dans cet environnement quasi vierge d'organismes concurrents. Outre la non rigidité de sa paroi, Ceci lui permet de conserver une concentration en Na^+ intracellulaire très inférieure aux concentrations externes. Cette algue réagit aussi à une soumission rapide à des concentrations élevées en sel, en modifiant la composition de sa membrane. Dans ces circonstances, on constate au niveau membranaire des changements de compositions phospholipidiques, protéiques et une présence accrue de tubuline

L'autre caractéristique de Dunaliella salina est l'accumulation de glycérol due à l'imperméabilité de la membrane à ce composé (**Oren, 1999**). Cette accumulation participe aussi à l'équilibre de la balance osmotique.

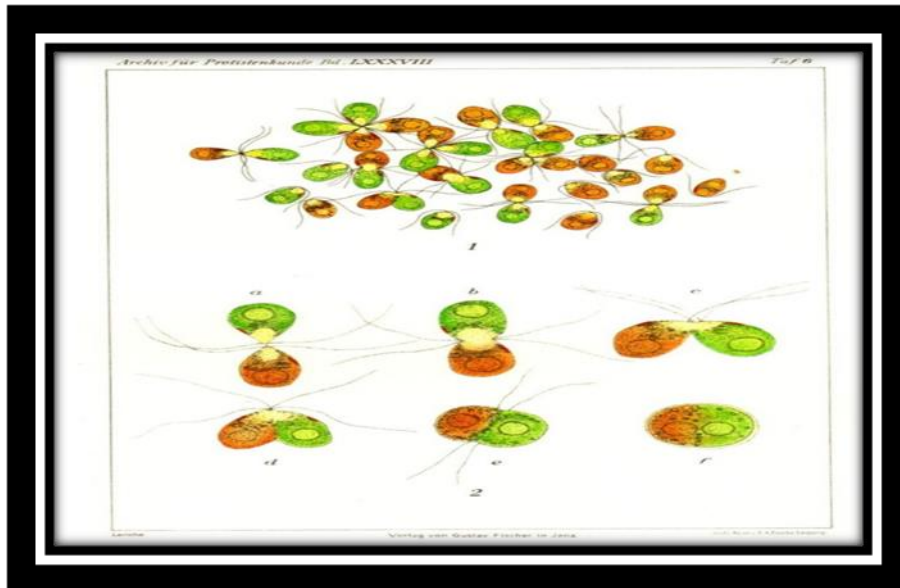


Figure N°21: Agrégation du rouge et du vert sous la forme de Dunaliella salina

II .1.6. Ecologie :

Dunaliella salina se trouvent dans des endroits à haute salinité telles que des saumures salées, marais salants et lacs hypersalines (**Brock, 1975**). Elle s'est adaptée à ces conditions par l'accumulation de glycérol pour équilibrer la pression osmotique. Elle est également adaptée aux rayonnements solaires à l'aide de β -carotène pour se protéger contre l'énergie ionisante (**Schilipaulis, 1991**).

Labbé (1921, 1922) ont montré des changements dans la structure de la communauté algale et en reliant ces facteurs aux variations de salinité (la pression osmotique, viscosité) de la saumure, mais il a également reconnu le rôle de l'intensité lumineuse et la température de l'eau, ainsi que du pH. Il a décrit un cycle annuel qui, au début de l'hiver quelques cellules

II .1.5.1. Besoins nutritionnels :

A Source d'Azote

la meilleure source d'azote pour *Dunaliella* est le nitrate (**Milko, 1962; Grant, Borowitzka, MA & Borowitzka, 1988 in Borowitzka, 1990**). Les travaux de Borowitzka, MA & Borowitzka (1988) ont montré que le nitrate d'ammonium inhibe la production de β -carotène, et dans l'absorption des cultures de plus en plus activement de l'ammonium conduit à une acidification du milieu qui provoque la mort de l'algue (**Borowitzka, 1990**).

Du fait de sa faible demande en énergie pour son assimilation, NH_4^+ est la source d'azote optimale pour la croissance de *Dunaliella salina*. Il est cependant montré qu'un apport en azote sous forme NO_3^- peut permettre d'accroître dans certaines conditions la production de glycérol (**Giordano, 2001**). Au delà d'une certaine concentration, les ions NH_4^+ deviennent toxiques pour la culture,

C'est pourquoi l'apport d'azote par NO_3^- est souvent privilégié (communication personnelle avec des spécialistes de la culture de *Dunaliella salina*).

B. Source de Carbone

Dunaliella salina est une algue phototrophe stricte, elle puise l'énergie nécessaire à son maintien et à son développement exclusivement dans la lumière. Lors de la photosynthèse, elle fixe du carbone inorganique (autotrophe).

La solubilité de ce carbone inorganique dans les eaux salées étant faible, il est nécessaire d'envisager des apports en carbone dans le cas d'une intensification de la culture. Une régulation du pH s'impose alors pour éviter de perturber la croissance en abaissant trop

Fortement le pH lors du bullage de CO₂ par exemple. Il faut noter que selon le pH, le carbone Inorganique n'est pas forcément sous une forme assimilable par la microalgue (Besson, 2013).

C . Source de Chlorure et de sulfate :

Massyk (1965) a montré que le ratio optimal Cr/So₂₄ pour la croissance de *Dunaliella salina* est de 3:2. Il est de 8:6 pour la production de β-carotène. Ces paramètres doivent donc être choisis en fonction de l'objectif de valorisation visé.

II .1.6. Facteurs du milieu :

1. pH

Les optimaux pour chaque critères sont généralement corrélés aux autres critères. Il n'est pas donné dans ce paragraphe de valeurs exactes

Bien que pouvant vivre dans une large gamme de pH, le pH optimal de culture de *Dunaliella salina* est compris entre 7 et 9 selon les études (Loeblich, 1982).

2. Température

Dunaliella salina peut tolérer des températures extrêmement basses en dessous de zéro (Siegel et al., in Borowitzka, MA,1990) la température optimale qui varie entre 20 et 40°C, selon la souche et la valorisation souhaitée mais des températures supérieures à 40 ° C sont habituellement mortelles.

3.La Salinité

En ce qui concerne la salinité optimale pour la croissance des algues, Mishra et al. (2008) proposent une salinité de 58 g/L avec une très bonne croissance à 116 g/L. Ce dernier résultat coïncide avec les travaux de Munoz et al. (2004) qui avancent une salinité optimale de croissance de 116 g/L tandis que les premiers résultats se rapprochent des gammes obtenues dans le cadre de cette étude.

II .1.7. Bio constituants actifs disponibles :

Dans son état naturel, chaque cellule de *Dunaliella salina* fournit un équilibre holistique de vitamines, minéraux et phytonutriments ; excitant :

1.Caroténoïdes

L'activité antioxydante du phytoplancton *Dunaliella salina* est due à sa forte teneur en caroténoïdes mélangés, une classe des pigments jaunes, oranges et rouges synthétisées par les plantes, les algues et les micro-organismes photosynthétiques. Parmi environ 600

caroténoïdes identifiés dans la nature, plus de 500 ont été trouvés dans *Dunaliella salina*.
(Besson ,2013)

2. Vitamines

Dunaliella salina contient une gamme de vitamines, y compris Vitamine E, diverses vitamines du groupe B: B1, B3, B5, B6, B12, l'acide folique et la provitamine A (bêta carotène naturel).

3. Minéraux

Cette algue est très riche en minéraux, y compris le magnésium, le potassium, le zinc,; le manganèse, le bore, sélénium et lithium. C'est son teneur en magnésium qui est particulièrement en excès.



**Figure N°22: Photographie aérienne des bassins de culture d'Earthrise Nutritionnels
(Cadoret et Bernard, 2008)**

Chapitre III

Présentation des zones d'étude

III.1 Généralités sur les zones humides :

III. 1.1 Généralités sur les zones humides :

La zone humide se caractérise par la présence permanente ou temporaire ;en surface ou a faible profondeur dans le sol ,d'eau disponible douce ,saumâtre ou salée souvent en position d'interface de transition entre milieu terrestre ou aquatique ,elle se distingue par une faible profondeur d'eau ;des sols hydromorphe ou non évolué, une végétation dominante composée de plante hydrophile au moins une partie de l'année enfin ;elle nourris et abrite de façon continue ou momentanée des espèces animales inféodées a ces espaces(**aliouane et saci ,2017**)

Dans les derniers décennies les zones humides ont acquis une grande importance , après la reconnaissance du rôle écologique significatif de ces dernières dans le contrôle de processus biophysiques d'une part ,et de leur fonction en tant que source de services environnementaux à la société ,qui influe sur son bien être d'autre part , ceci a conduit à l'établissement de politique visant a protéger , conserver et gérer ce flux de services a la société avec l'importance croissante prise par la biodiversité dans les agendas politiques, de nombreux pays y consacrent à présent des programmes nationaux de recherche de plus , il existe une série de groupes et d'organisations qui soutiennent et favorisent la recherche au niveau international.

La Convention sur les zones humides, signée à Ramsar, en Iran, en 1971, est un traité intergouvernemental qui sert de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales, régionales et nationales et par la coopération internationale, en tant que contribution à la réalisation du développement durable dans le monde entier

La Convention est entrée en vigueur en 1975 et compte à ce jour 163 parties contractantes, ou Etats membres, partout dans le monde. Actuellement, les parties ont inscrit sur cette liste plus de 2060 zones humides (ou sites Ramsar) méritant une protection spéciale:

Elles couvrent 197 millions d'hectares (1,97 million de kilomètres carrés) : plus que la superficie de la France, de l'Allemagne, de l'Espagne, de l'Italie et de la Suisse mises ensemble.

L'inscription d'un site sur la Liste de Ramsar lui confère le prestige d'une reconnaissance internationale et représente l'engagement du gouvernement à prendre toutes les mesures nécessaires pour garantir le maintien de ses caractéristiques écologiques.

Les caractéristiques des zones humides et leurs propriétés sont d'abord déterminées par les conditions climatiques, leur localisation et leur contexte géomorphologique. Ce sont, les conditions, hydrologiques qui déterminent le fonctionnement écologique des zones humides et permettent de les différencier des milieux terrestres bien drainés et des écosystèmes aquatiques d'eau profonde (**Zaafour, 2012**).

Les différentes fonctions ont souvent été regroupées en plusieurs catégories

- Fonctions hydrologiques/vis-à-vis du régime des eaux : contrôle des crues, recharge/décharge des nappes, dissipation des forces érosives...
- Fonctions biogéochimique/d'épuration / vis-à-vis de la qualité des eaux : Rétention des sédiments, rétention et élimination des nutriments et des contaminants.
- Fonctions d'habitat/régulation des chaînes trophiques/ressources : productivité primaire, poissons, faune sauvage, ressources agricoles...
- Fonctions de récréation, d'éducation, culturelles....

Les zones humides ont toujours attiré les populations en raison de leur localisation (côtière, en fond de vallée). De ce fait, ces endroits sont devenus l'un des écosystèmes mondiaux les plus touchés et les plus menacés par les activités humaines (industrialisation, et développement urbain (**Zaafour, 2012**)). 40 à 60% des zones humides d'Europe ont disparu entre 1950 et 1970. **Turner, (1992)** estime que la durée beaucoup plus importante des interventions humaines sur les milieux naturels permet de penser que la régression des zones humides a été plus sévère en Europe qu'aux Etats-Unis. Sur la période allant de 1955 à 1975, la superficie des zones humides disparue dans le monde est estimée à 3,5 millions d'hectares dont 87% des pertes sont imputés à l'agriculture, 8% à l'urbanisation et 5% à d'autres aménagements. Ces chiffres font dire à **Turner, (1992)** que la régression des zones humides n'a jamais été aussi intense que depuis la dernière guerre mondiale .

III.1.2. Les zones humides en Algérie :

L'Algérie est riche en zones humides qui font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle, le recensement préliminaire effectué au milieu des années 1990 a dénombré 254 zones humides naturelles.

Parmi elles, soixante peuvent être classées sur la Liste Ramsar des zones humides

d'importance internationale. Aujourd'hui, avec les nouvelles connaissances, le nombre de zones humides dépasse le millier si l'on inclut oueds, grottes, oasis, daya, et zones côtières, non comprises dans le premier inventaire (**Zaafour, 2012**).

Ces milieux qui font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle. Les zones humides jouent un rôle important dans les processus vitaux, accueillant une flore importante, des poissons et des oiseaux migrateurs (**Boumezbeur, 2005**).

L'Autorité de la Convention de Ramsar en Algérie, la Direction Générale des Forêts, a classé 26 sites sur la Liste de la Convention de Ramsar des zones humides d'importance

L'Algérie compte actuellement 50 zones humides classées sur la liste de la convention de Ramsar, selon le nouveau chiffre établi par le ministère de l'Agriculture et du Développement rural. L'ensemble de ces sites classés couvre une superficie de 2,99 millions d'hectares. En outre, 10 autres sites sont en cours de classement, ce qui permettra d'atteindre une superficie de 3,5 millions d'ha d'espaces classés ; elle dispose 1.451 zones humides dont 762 naturelles et 689 artificielles (**Zaafour.2012**).

III.2. Présentation de la zone d'étude :

III. 2.1. Salines d'Arzew :

III. 2.1.1. Présentation générale :

Les salines d'Arzew ou 'Melhe', font partie sur le plan administratif de la Wilaya d'Oran, Daïra de Bethioua et commune de Bethioua, Boufatis, Aïn Biya et Benfreha et de la wilaya de Mascara. A proximité passent de nombreuses routes, nationales et de wilaya comme la RN N°97 et le CWN°4. Le site s'étend sur une superficie de 5.778 hectares, avec une élévation de 60 mètres (minimum) et 339 mètres (maximum), latitude de 35°40 '00" Net longitude de °17'30" E (figure N°23) (Boumezbeur, 2005).



Figure N°23: Image satellitaire des salines d'Arzew, wilaya d'Oran (Google earth 2018).

III.2.1.2. Ecologie de la zone d'Arzew :

Ces milieux plus chauds et salés peuvent abriter des algues et une faune spécifique de crustacés notamment (Blanchard et Richard 1890) dont le plus connu est *Artémia salina* (Quayache, 2010), mais on y trouve aussi des copépodes comme *Arctodiaptomussalinus* (Saadi A & Champeau A 1994). Ils peuvent parfois aussi abriter des larves de moustiques vectrices de maladies (Hassaine K, 2014)

Ils sont aussi caractérisés par des espèces pionnières (Tremblin, G, 2000)

Ces espèces peuvent jouer un rôle important dans le réseau trophique locorégional (El Madani F, 1998) et notamment attirer une importante avifaune aquatique (Baaziz N, 2012)

III.2.1.3. Facteurs du milieu des salines d'Arzew:

Les salines d'Arzew jouent un rôle important dans la recharge, le renouvellement et l'alimentation des nappes phréatiques. Les eaux de ruissellement favorisant le captage des sédiments et la prévention contre l'érosion hydrique

Ecologiquement le site présente une physionomie monotone d'habitats peu diversifiés caractérisant en général les milieux salés, il fait partie du complexe de zones humides de l'ouest algérien qui englobe principalement la Sebkhia d'Oran comme exemple dont laquelle accueille des grands effectifs.



Figure N°22 : Sebkhia d'Arzew

III.2.1.4. Faune diversifié

L'avifaune est composée de 89 espèces réparties en 7 Anatidés, 5 Ardéidés, 25 Limicoles, 9 Goélands, Mouettes, Sternes et Guifettes, 8 Rapaces et 31 Passereaux. Parmi les oiseaux d'eau, 2 espèces sont prédominantes, le Flamant rose (*Phoenicopterus ruber roseus*) et le Tadorne de Belon (*Tadorna tadorna*). Le site accueille également des Laridés, il s'agit particulièrement du Goéland leucophaé (*Larus cachinnans*) et de la mouette rieuse (*Larus ridibundus*). Les autres espèces sont présentes mais avec des effectifs très modestes. Le site héberge également un nombre important de passereaux et familles apparentées de granivores et d'Alaudidés, Colombidés et de Laniidés (DGF, 2005).

III.2.2 Salines de la wilaya d'El Bayadh :

III. 2.2.1 Présentation et localisation générale :

Géographiquement, la Wilaya est comprise entre les parallèles 30° 42' et 34° 28' de l'altitude Nord et entre les méridiens de longitude 0° 24' à l'Ouest fuseau 30 et 2° 16' à l'Est fuseau 31.

Le chott Chergui est une vaste dépression orientée Nord-est/Sud-ouest s'étendant au Sud des monts de Saïda sur environ 170 Km de long et 20 Km de large. Les bords de cette dépression correspondent aux côtes 1.000 m et le fond aux côtes 985-990 m, bien que c'est une zone très riche en ressources en eaux, généralement salées en surface et thermales en profondeur.

Les Hautes Plaines (Bougtob-El Kheiter) sont formées d'une série de bassins topographiquement fermés. Le sous bassin est un chott de superficie de 1200 Km². il est inclus dans un des plus grands bassins versants de l'Algérie (Bassin artésien puissant de Chott Ech Chergui). Cette zone se situe, au Nord-Ouest de la région d'El Bayadh, cadré dans un espace délimité en longitude par 0° Est, et en latitude par 34° Nord.

Elle est limitée :

- Au Nord par Marhoum (Sidi Bel Abbés) et la région de Maamoura, et au Nord-est par Ain Skouna (Saïda).
- Au Sud par les régions Alfaville, Tousmouline et au Sud-est par Kef El Ahmar et la région d'El Bayadh.
- A l'Ouest par El Biod (Mécherai) et au Sud-ouest par Mécherai et Naama.
- A l'Est par la région de Rogassa.

III. 2.2.2 Ecologie de la région d'El Bayadh (Bougtob) :

Le territoire de la Wilaya d'El Bayadh est marqué par l'aridité qui s'accroît du nord au sud, la Wilaya d'El Bayadh est constituée de (03) trois zones ou étages bioclimatologiques distinctes qui sont:

➤ .Les hautes plaines steppiques :

Cette zone se caractérise par l'amplitude élevée (34 à El Kheiter), la faiblesse et l'irrégularité des précipitations (208 à El Kheiter), la gelée (40 à 60 jour) et la présence de vents chauds (sirocco) avec des périodes sèches. Sur le plan bioclimatique, cette zone fait partie de l'étage aride frais. (Djebaili, 1978).

➤ . **L'Atlas saharien :**

Elle présente une situation bioclimatique (semi-aride froid) relativement plus avantageuse par rapport à celle de la partie Saharienne de la Wilaya. Bénéficie de l'apport en eau et alluvions provenant des sommets et versants des reliefs montagneux dont les altitudes varient entre 1300 m et 2008 m (2008 m Djebel Ksel à l'Ouest de la localité de Stitten. Les précipitations sont relativement plus importantes par rapport aux autres zones l'Hiver et plus rigoureux et l'enneigement dépasse 10 jours par an. **(Djebaili, 1978).**

➤ . **La région Présaharienne :**

Les altitudes décroissent du Nord au Sud de 1000 à 500 m environ à la partie extrême Sud de la Wilaya où en note la présence de l'Erg Occidentale qui renforce l'aspect désertique de cette zone avec une période estivale plus longue et plus chaude. L'hiver est marqué par les gelées et des températures avoisinantes 0° C.

*On distingue deux formes de dépressions: les Dayas et les Chotts.

- Les Dayas sont des dépressions circulaires de faibles dimensions (quelques dizaines de mètres).

- *Les Chotts, il s'agit du Chott Chergui d'altitude moyenne de 100 m. C'est un vaste système endoréique du Quaternaire moyen qui couvre plusieurs dizaines de Km² où s'accumulent les eaux de ruissellement salées. La zone centrale, la plus basse, est sans végétation à cause de la teneur saline trop élevée.

III. 2.2.3. Réseau Hydrographique :

Le Bassin du Chott Chergui est caractérisé par une grande zone endoréique où les quelques oueds qui existent convergent vers des Chotts et sebkhas. Le réseau hydrographique est peu développé sur l'ensemble du bassin. De nombreux oueds prennent leurs sources dans l'Atlas tellien et s'écoulent ensuite vers le centre du Chott.

- Au Sud : le réseau est moins important, il est représenté par deux principaux Oueds qui prennent sa source dans l'Atlas saharien et se déverse dans le bassin fermé du Chott Chergui (Oued El Bayadh, Oued Sidi Naceur)

- Au Nord : Le plus grand nombre de ces Oueds prend naissance au Nord dans les crêtes de l'Atlas Tellien et se déverse dans le Chott (Bougtob-El Kheiter).Donc on peut compter les Oueds suivant

(Ouedkherab, Ouedfalit, OuedBeiter, Oued El Mekhareg, OuedSmar, OuedSonnema, OuedKouifet, OuedFaid Ahmed).

III. 2.2.3.2. Géologie :

La dépression du chott est formée d'affleurements calcaireo-dolomitique de l'Aaléno Bajo-Bathonien constituent les monts de Saïda et Frenda au Nord et au Sud dans la région de Bougtob-El Kheiter jusqu'au la bordure de l'Atlas Saharien.

Les formations du jurassique supérieur surmontant l'Aaléno-Bajo-Bathonien (jurassique moyen) forment une épaisse série argileuse dans la moitié Sud du bassin. Elles deviennent gréseuses au pied de l'Atlas saharien où elles affleurent largement.

III. 2.2.3.4 Climat :

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type désertique, avec un module pluviométrique moyen annuel de 223,23 mm, une température moyenne annuelle de 16,49 °C, ainsi qu'une quantité d'eau évaporée moyenne annuelle de 339,18 mm.

L'année pluvieuse est celle de 2008-2009 et 2009-2010 avec une hauteur de presque 289mm, et l'année la plus sèche est celle de 2004-2005 avec 82mm. Les mois les plus pluvieux sont les mois de novembre, septembre, et le mois d'avril avec des hauteurs successives de 28,03, 27,33 et 27,08 mm, tandis que les mois les plus secs sont janvier et Juillet avec des valeurs de précipitation moyennes mensuelles respectives de 10,39 et 10,21 mm.

Pour la pluviométrie saisonnière, l'automne est la saison plus humide (79,87 mm), le printemps est une saison moins humide avec une hauteur de précipitation de 65,8 mm, par contre les saisons d'hiver et d'été sont plus secs (39,05 et 38,53 mm).

La température moyenne mensuelle maximale est atteinte au mois de juillet avec une valeur égale à 29,14°C et la plus basse est enregistrée au mois de décembre ou elle est de 6°C Les valeurs d'évaporation les plus élevées sont enregistrées aux mois de décembre, janvier et novembre (44,78 mm, 41,08 mm et 39,98 mm), les mois restants sont caractérisés par des quantités d'eau évaporées comprises entre 18,97 mm du mois septembre et 27,56 mm du mois février.

La répartition annuelle de l'évaporation fait apparaître un maximum à l'année (2010-2011) avec une quantité d'eau évaporée de 452,5mm, Les minimums apparaissent dans les années (2001-2002), (2002-2003) et (2003-2004) avec des valeurs d'eau évaporée de 274,2, 270,9 et 260,2 mm respectivement.

III. 2.2.2.5. Hydrochimie

Les eaux souterraines de la région Bougtob-El Kheiter sont caractérisées par des pH compris entre 7 et 8,6. La température des points d'eaux étudiés est comprise entre 24 et 38°C, on peut dire que ça peut être des eaux thermales. La conductivité est importante du fait de la teneur en sels dissous élevée.

III. 2.2.2.6. Hydrogéologie

L'étude hydrogéologique de la région de Bougtob-El Kheiter nous a permis de mettre en évidence la formation aquifère de la région les plus importantes sont celles de calcaire dolomitique de l'Aaléno-Bajo-Bathonien et argile à gypse avec calcaire carapace (lacustre) de remplissage du tertiaire continental, les grès continentaux avec sable et grès parfois argileux qui représentent l'aquifère barrémo-albien.

*Au niveau hydrogéologique, La wilaya d'El Bayadh est inscrite sur deux bassins versants, limités par la ligne de partage des eaux passant le long de l'Atlas Saharien. La zone nord de la wilaya est drainée vers le Chott Chergui qui constitue l'exutoire de tout le bassin versant des hautes plaines oranaises. Les piémonts sud de l'Atlas Saharien déversent leurs eaux de précipitation dans le bassin versant du Sahara où s'inscrivent les trois quarts du territoire de la wilaya.

Le régime hydrographique et son évolution sont conditionnés le climat hostile et les facteurs géomorphologiques. Les eaux pluviales s'écoulent vers des zones de concentration ou d'évaporation (endoréisme). Cette particularité est à l'origine de dépressions plus ou moins circulaires (**Daya**).

Les eaux se lient avec des gypseux du Trias lorsqu'elles traversent les terrains salés, donnant naissance aux **Sebkha**, zones de concentration puis d'évaporation des eaux qui se transforme durant l'été en étendues abiotique recouvertes d'une carapace de chlorures divers .

Conclusion

Conclusion :

Les conditions de culture pour la production de la biomasse de l'algue halophyte *Dunaliella Salina*, ont été optimiser en utilisant la méthode des plans d'expériences, qui consiste en une suite ordonnée d'essais d'une expérimentation, Chacune d'elle permet d'acquérir de nouvelles connaissance en contrôlant un ou plusieurs paramètres d'entrée , afin d'obtenir des résultats validant un modèle avec une bonne économie .

Pour étudier les effets du changement des valeurs de chaque paramètre qui agit sur la savoir la température, la salinité, l'intensité lumineuse et la concentration de nitrate, nous avons procédé à des essais pour fixer leur valeurs et les classer par ordre d'importance.

La culture des micro-algues avec les conditions optimisées ont confirmé que les réponses maximales ont été atteintes pour les quatre facteurs cités précédemment.

La production de la biomasse est une opération dynamique, ce travail nous a permis de déterminer l'importance de chaque facteur ainsi que les interactions entre eux , Ceci qui nous a permis de déterminer les facteurs agissants de façon directe sur la réponse (la production de la biomasse), et leurs interactions ainsi que leurs actions sur la productivité de cette algue.

Références Bibliographiques

A

- Aasen, a. J., eimhjellen, k. E., & liaaen-jensen, s. 1969.** An extreme source of betacarotene.
- Ahmane Ali, 1990,** Contribution à l'étude sédimentologique de la grande sebkha d'Oran (Algérie), *Thèse de l'Université de Paris 06*, Paris, France, 244p.
- Alexandre Besson, 2013.** etude multi-échelle de DS développement d'un procédé d'autofloculation de microalgues. *thèse de. thèse de doctorat université de toulouse* p17.
- Amaro, helena m., guedes, a., & malcata, f. Xavier. 2011.** Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. *Applied Energy*, 88(10), 3402–3410.
- Aminot, alain, & kerouel, roger. 2004.** Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses.

B

- Babel, Sandhya, & Takizawa, Satoshi. 2011.** Chemical pretreatment for reduction of membrane fouling caused by algae. *Desalination*, 274(1-3), 171–176.
- Becker, E. W. 2007.** Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology advances*, 25(2), 207-210.
- Ben-Amotz, A., & Avron, M. 1981.** Glycerol and Beta-carotene metabolism in the halotolerant alga *Dunaliella* : a model system for biosolar energy conversion. *Trends in Biochemical Sciences*, 6, 297–299.
- Ben-Amotz, A** Accumulated {beta}-Carotene of *Dunaliella bardawil* in Protecting the Alga against Damage by Excess Irradiation. *Plant Physiology*, 91(3), 1040.
- Benemann, J. R. 1997.** CO₂ mitigation with microalgae systems. *Energy conversion and management*, 38, S475–S479.
- Benemann, J. R., Koopman, B. L., Weissman, J. C., Eisenberg, D. M., & Goebel, R. P. 1980.** Development of microalgae harvesting and high rate pond technology. *Algal Biomass*, 457–499.
- Bernard O, 2011 :** Olivier BERNARD [INRIA] LIVRE TURQUOISE, Algues, filières du futur *Édition Adebitech – Romainville* 182p. 2011.
- Blanchard R. & Richard J. 1890.** — Sur les crustacés des Sebkhass et des chotts d'Algérie. *Bulletin de la Société zoologique de France* 45: 136-138
- Borodyanski, genady [il], & konstantinov, irina [il]. 2002** (June). Microalgae separator apparatus and method. *Brevet US2002079270 (A1)*.

C

Cadoret, Jean-Paul, & Bernard, Olivier. 2008. La production de biocarburant lipidique avec des microalgues - promesses et défis. *Journal de la Société de Biologie*, 202(3), 201–211.

Cadoret, J-Paul, 2011. [IFREMER] LIVRE TURQUOISE, Algues, filières du futur Édition Adebitech – Romainville 182p. 2011.

Castrillo, M., Lucas-Salas, L.M., Rodriguez-Gil, C., & Martinez, D. 2013. High pH-induced flocculation-sedimentation and effect of supernatant reuse on growth rate and lipid productivity of *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology*, 128(0), 324–329.

E

Edwards, M., & Benjamin, M. M. 1992. Effect of preozonation on coagulant-NOM interactions. *Journal-American Water Works Association*, 84(8), 63–72.

Elmaleh, S., Coma, J., Grasmick, A., & Bourgade, L. 1991. Magnesium induced algal flocculation in a fluidized bed. *Water Science & Technology*, 23(7-9), 1695–1702.

Etude agropédologique de la plaine de Mleta-Tlelat. Oran 1974. Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique.

F

Ferguson, C., Logsdon, G. S, & Curley, D. 1995. Comparison of dissolved air flotation and direct-filtration. *Water Science and Technology*, 31(3-4), 113–124.

Fiche descriptive Ramsar des zones humides algérienne d'importance internationale.

Fiche descriptive sur les zones humides: 28 janvier 2001.

Findeling A, 2011. [Veolia Environnement] LIVRE TURQUOISE, Algues, filières du futur Édition Adebitech – Romainville 182p. 2011.

G

Gandolfo R, 2011 : Robert GANDOLFO [Pôle Mer PACA] LIVRE TURQUOISE, Algues, filières du futur Édition Adebitech – Romainville 182p. 2011.

Gao, Baoyu, Zhu, Xiaobiao, Xu, Chunhua, Yue, Qinyan, Li, Weiwei, & Wei, Jincheng. 2008. Influence of extracellular polymeric substances on microbial activity and cell hydrophobicity in biofilms. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 83(3), 227–232.

Garg, Sourabh, Li, Yan, Wang, Liguang, & Schenk, Peer M. 2012. Flotation of marine

microalgae : *Effect of algal hydrophobicity. Bioresource Technology*, 121(0), 471–474.

Gao, S. S, Du, M. A, Tian, J. Y, Yang, J. Y, Yang, J. X, Ma, F., & Nan, J. 2010. Effects of chloride ions on electro-coagulation-flotation process with aluminum electrodes for algae removal. *Journal of Hazardous Materials*, 182(1-3), 827–834.

, M., & Afsharzadeh, S. 2008. Microalgal Biotechnology : Carotenoid and Glycerol Production by the Green Algae *Dunaliella* Isolated from the Gave-Khooni Salt Marsh, Iran. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 13(5), 540–544.

Hassaine

Carotenoid actions and their relation to health and disease. -*Mol. Aspects Med.*, 2005, **26**(6), 459-516.

L

Labbé A. 1921. Sur les modifications adaptatifs de *Dunaliella salina*. *Dunal CR Acad Sci.* 172:1074-1076

Labbé A. 1922. Les variations de la concentration en ions hydrogen DANS les marais salants, Comme Facteur biologique. *CR Acad Sci.* 175 :843-845

Labbé A. 1921. Le cycle de évolutif de *Dunaliella salina*. *CR Acad Sci.* 172 :1689-1690.

M

Macedo M.F., Miller A.Z., Dionísio A., Saiz-Jimenez C., 2009. Biodiversity of cyanobacteria and green algae on monuments in the Mediterranean Basin: an overview. *Microbiology (Reading, England)*, 155(Pt 11), 3476–90.

Mollah, M. Y. A, Morkovsky, P., Gomes, J. A. G, Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. L. 2004. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 114(1-3), 199–210.

Morgan, N.C- 1982. An ecological survey of standing waters in North West Africa: II. *Site descriptions for Tunisia and Alegria.*

Moulton, T. P, Borowitzka, L. J, & Vincent, D. J. 1987. the mass-culture of *Dunaliella salina* for beta-carotene - from pilot-plant to production plant. *Hydrobiologia*, 151, 99–105.

Munoz, J., Mudge, S. M, & Sandoval, A. 2004. Effects of ionic strength on the production of short chain volatile hydrocarbons by *Dunaliella salina* (Teodoresco). *Chemosphere*, 54(8), 1267–1271.

T

Takagi, M., Karseno, & Yoshida, T. 2006. Effect of salt concentration on intracellular accumulation of lipids and triacylglyceride in marine microalgae *Dunaliella* cells. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(3), 223–226.

V

Van Den Hende S., Vervaeren H., Boon N., 2012. Flue gas compounds and microalgae: (bio)chemical interactions leading to biotechnological opportunities. *Biotechnology advances*.

Vandanjon, L., Rossignol, N., Jaouen, P., Robert, J. M., & Quemeneur, F. 1999. Effects of shear on two microalgae species. Contribution of pumps and valves in tangential flow filtration systems. *Biotechnology and Bioengineering*, 63(1), 1–9.

Viecelli, J. A. 1984. Analysis of a relationship between the vertical distribution of inorganic carbon and biological productivity in the oceans. *Journal of Geophysical Research : Oceans*, 89(C5), 8194–8196.

Références Bibliographiques

- ✓ *Biblio-net - Webmaster 1: <http://commons.wikimedia.org/wiki/>*
- ✓ *[commons.wikimedia.org/wiki/File:Sebkha arzew.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sebkha_arzew.jpg) (consulté le: 26-04-2013).*
- ✓ *[LP://WWW.aquaportail.com/fiche-algue-2931-dunaliella salina.html](http://WWW.aquaportail.com/fiche-algue-2931-dunaliella_salina.html) (consulté le: 15-01-2013).*

Annexes

ANNEXE I

Les sites d'Algérie inscrits sur la Liste de la conversion de Ramsay de la zone d'importance internationale entre 1982 et 2006.

Nom de la zone humide	Année D'inscription	Superficie (ha)	Type de zone humide	Wilaya	Critères Ramsar d'inscription
1-Lac Tonga	1982	2.700	Lac d'eau douce côtier, marais et aulnaie	El Tarf, commune de Oum Tboul, Parc National d'El kala	5 critères sur 8 (1,2,3, 5, et 6).
2-Lac Oubeira	1982	2.200	Lac d'eau douce côtier. Végétation périphérique	El Tarf, commune d'El Frine, Parc National d'El kala	3 critères sur 8 (1,5 et 6).
3-Le lac des oiseaux	1999	170	Lac d'eau douce côtier Végétation en périphérie	El Tarf, commune du lac des oiseaux	2 critères sur 8 (3, et 6).
4-Chott Ech Chergui	2001	855.50	Chott salé, continental saumâtre et d'eau douce. Forêt humide de Tamarix	Wilaya de Saïda, Nâama, El Bayadh	3 critères sur 8 (1, 2, et 4).
5-Guerbes	2001	42.100	laine d'inondation côtière, lacs d'eau douce et saumâtres, marais, aulnaie.	Wilaya de Skikda	5 critères sur 8 (1,2,3, 6, et 8).
6-Chott El	2001	362.00	Chott et	Wilaya de	4 critères sur