



République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur
Et De Le Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABBES LAGHROUR –KHENCHELA-
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

FILIERE: Biologie

OPTION: Microbiologie

Thème

**Recherche des algues microscopiques et des
cyanobactéries dans les écosystèmes extrêmes
(Hammam Essalhine-khenchela-)**

Présenté par :

**RAHIM Aicha
SAOULI Madjida**

Encadré par :

BOUTARFA Soumia

Soutenu le : 14/06/2016

Jury de soutenance:

Présidente:	BENREDJEM Lamia	(M.A.A)	Univ. Abbès Laghrou - Khenchela.
Encadreur	BOUTARFA Soumia	(M.A.A)	Univ. Abbès Laghrou - Khenchela.
Examinatrice:	CHORFI Kelthoum	(M.A.B)	Univ. Abbès Laghrou - Khenchela.

Promotion: Mai 2016

Ce travail est réalisé au : Laboratoire pédagogique de faculté des sciences de la nature et de la vie -KHENCHELA-

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Nous remercions sincèrement: Mme **BENREDJEM L**, Maître assistante à l'Université de Khenchela, d'avoir accepté de presider le jury de ce modeste travail.*

*Nos vifs remerciements vont également à Mme **CHORFI K**, Maître assistante à l'Université de Khenchela, d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier notre encadreur Mme **BOUTARFA Soumia**, Maître assistante à l'université de Khenchela, Merci à vous pour votre patience, et votre gentillesse durant notre préparation de ce mémoire ont été déterminants dans la réalisation de notre travail.*

Sans oublier tous les membres du Laboratoire de biologie de l'université de Khenchela.

Un très grand merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

A MA MERE MAHBOUBA

*Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir
Tous ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la
reconnaissance que je te porte .En témoignage, je t'offre ce
modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour
l'affection dont tu m'as toujours entouré.*

A MON PERE DJAMEL

*L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la
plus digne de mon estime Et de mon respect. Aucune
dédicace ne pourrait exprimer mes sentiments, que Dieu te
préserve Et te procure Santé et longue vie.*

A MES FRERES

Saadi, Taki eddine, Aymen

A MES SCEURS

Nour el houda, Rima

A MA FAMILLE

A MES AMIS ...

AICHA



DEDICACES

Afin d'être reconnaissant en vers ceux qui m'ont appuyé et encouragé à effectuer ce travail je dédie ce modeste travail.

A mon très cher père Hocine pour son soutien moral et pour tous les sentiments d'affection et l'amour qui présent pour moi pilier de tous mes efforts.

A ma très chère mère Hafsia qui n'a cessé de me combler par leur amour et leur tendresse.

A ma très chère tante Wrida pour son aide et son soutien sans limite

A mon très cher frère Zakaria pour son soutien surtout, et ces encouragements qui m'ont aidé à aller jusqu'à au bout de cette thèse.

A tous les membres de ma famille sans aucune exception.

Et à tous ceux qui ma réussite leur tient à cœur.

MADJIDA



TABLE DES MATIERES

Liste des abréviations.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux.....	III
Liste des photographies.....	IV
Liste des annexes.....	V
Introduction.....	1

Etude bibliographiques

I	Phytoplancton.....	3
I.1	Définition.....	3
I.2	Habitat et écologie.....	4
I.3	Ecophysiologie du phytoplancton.....	5
I.4	Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique.....	5
II	Algues microscopique.....	6
II.1	Définition des algues microscopique.....	7
II.2	Caractéristiques générales des algues microscopiques.....	8
II.3	Classification des algues.....	8
II.3.1	Chlorophytes.....	8
II.3.2	Rhodophytes.....	10
II.3.3	Chrysophytes.....	10
II.3.3.1	Chrysophycées.....	11
II.3.3.2	Xanthophycées.....	12
II.3.3.3	diatomées (Bacillariophycées).....	12
II.3.4	Phéophytes.....	13
II.3.5	Pyrophytes.....	13
II.3.6	Cryptophytes.....	13
II.3.7	dinoflagellés (Dinophytes).....	14
II.3.8	Les Euglenophytes (Euglenas).....	15
II.4	Mode de nutrition algues microscopique.....	16

II.5	Composition des algues microscopique.....	16
II.6	Facteurs de production algale.....	17
II.7	Applications biotechnologiques des algues microscopiques.....	18
II.7.1	Alimentation humaine et animale.....	18
II.7.2	Utilisations industrielles.....	18
II.7.3	Colorants.....	18
II.7.4	Polysaccharides.....	19
II.7.5	Vitamines et autres produits.....	19
II.7.6	Imperméabilisants.....	19
II.7.7	Pharmaceutique.....	19
II.7.8	Cosmétique.....	20
II.7.9	Production de biocarburants.....	20
III	Cyanobactéries	21
III.1	Organisation cellulaire.....	22
III.2	Organisation morphologique.....	23
	Les cellules végétatives.....	23
III.2.1		
III.2.2	Les hétérocystes.....	23
III.2.3	Les akinètes.....	24
III.3	Classification.....	26
III.4	Ecologie.....	28
III.4.1	Une bactérie ubiquitaire.....	28
III.4.2	Symbioses.....	28
III.5	Les pigments photosynthétiques.....	28
III.5.1	Chlorophylles.....	29
III.5.2	Caroténoïdes.....	29
III.5.3	Phycobiliprotéines.....	29
III.6	Métabolisme.....	29
III.6.1	Photosynthèse.....	29

III.7	Mode nutritionnel des cyanobactéries.....	30
III.7.1	Photolithotrophie stricte.....	30
III.7.2	Photohétérotrophie.....	30
III.7.3	Chimiohétérotrophie facultative.....	30
IV	Les écosystèmes extrêmes	30
IV.1	Notions d'environnements extrêmes et d'extrêmophile.....	30
IV.2	Intérêt biotechnologique des extrêmophiles.....	31
IV.3	Thermophiles.....	32
IV.3.1	Classification.....	32
IV.3.2	Algues thermophiles.....	32
IV.3.3	Les cyanobactéries thermophiles.....	33
IV.4	Niches écologiques des thermophiles.....	33
IV.4.1	Biotopes naturels.....	33
IV.4.2	Biotopes artificiels.....	33
IV.4.3	Diversité taxonomique et métabolique des thermophiles.....	34
IV.5	Les sources thermales de l'Algérie.....	34
IV.6	Etats des connaissances en Algérie.....	34

Matériel et méthodes

I	Présentation de la zone de l'étude	36
II	Les étapes de l'échantillonnage.....	37
II.1	Préparation du matériel.....	37
II.2	Calibrage des appareils.....	37
III	Mesure des paramètres in situ de l'eau	37
III.1	Température.....	38
III.2	pH.....	38
IV	Prélèvement des échantillons	38
IV.1	Méthode de prélèvement.....	38
IV.2	Transport et conservation des échantillons.....	39

IV.3	Procédures de laboratoire.....	39
IV.3.1	Caractères morphologiques choisis.....	39
IV.3.2	Observation microscopique.....	39
IV.4	Taxinomie des microalgues et des cyanobactéries.....	40

Résultat et discussion

I	Les propriétés de la source thermique étudiée.....	41
I.1	Température et pH.....	41
II	Résultats d'identification des algues microscopiques et des cyanobactéries..	42
III	L'analyse du tableau de la classification des microalgues.....	43
IV	L'analyse du tableau de la classification des cyanobactéries.....	44
V	Les principales espèces des microalgues et Cyanobactéries.....	48
	Conclusion et Perspectives.....	57
	Références bibliographiques.....	59

Annexes

Résumés

Liste des abréviations

ADN: Acide désoxyribonucléique.

°C: Degré Celsius.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

DCE: Directive cadre de l'eau.

EPA: Eicosapentaénoïque.

EPS: Extra polymériques substances.

Fe²⁺:Oxydation du fer.

GES: gaz à effet de serre.

H₂O :L'eau.

H₂S: Oxydation du soufre.

M : mètre.

N: Azote.

NH₃: L'ammoniaque.

NO₃: Les nitrates.

NO₂: Les nitrites.

O₂ : Oxygène moléculaire.

P: Phosphore.

PH : Le potentiel d'hydrogène.

PSII: Photosystème II.

PSI: Photosystème I.

µm: Micro- mètre.

Liste des figures

Figure N°1:	Algues vertes (chlorophycées).....	9
Figure N°2:	Algues dorées (chrysophycées).....	11
Figure N°3:	Diatomées (bacillariophycées).....	13
Figure N°4:	Dinoflagellés (Dinophytes) (a) <i>Dinophysis caudata</i> ; (b) <i>Dinophysis tripos</i> (c) <i>Ceratium tripos</i> ; (d) <i>Ceratium furca</i>	14
Figure N°5:	Classes algales et leurs caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques (a) diatomées ; (b) Cyanophycées ; (c) Chlorophycées (d) chrysophycées ; (e) dinoflagellés ; (f) Cryptophycées	15
Figure N°6:	Diversité du champ d'application de microalgues.....	20
Figure N°7:	Structure d'une cellule de cyanobactérie.....	23
Figure N°8:	(a) Les cellules végétatives ; (b) Les hétérocystes ; (C) Les akinètes.....	24
Figure N°9:	Morphologie des cyanobactéries les plus fréquemment rencontrées.....	25
Figure N°10:	Arbre phylogénique de la vie.....	26
Figure N°11:	Représentation du point d'échantillonnage de Hammam Essalhine Khenchela.....	36
Figure N°12:	Taux des microalgues et Cyanobactéries récoltés dans la source thermale khenchela.....	45
Figure N°13:	Prédominance des différents embranchements de microalgues.....	46
Figure N°14:	Taux des principaux genres de Cyanobactéries récoltés dans la source thermale khenchela.....	46

Liste des tableaux

Tableau N°1:	Genres microalgues utilisés en industrie, avec leurs applications.....	21
Tableau N°2:	Classification des cyanobactéries selon les systèmes bactériologiques et botaniques.....	27
Tableau N°3:	Les propriétés de la source thermale étudiée	41
Tableau N°4:	classification, des espèces de microalgues recensées dans la région d'étude.....	42
Tableau N°5:	Classification des espèces des cyanobactéries recensées dans la région d'étude.....	44
Tableau N°6:	Caractères principaux des genres de cyanobactéries rencontrés.....	47

Liste des photographies

Photographie N°1:	Multi paramètre (HANNA HI8424).....	37
Photographie N°2:	<i>Spirulina subsalsa</i>	49
Photographie N°3:	<i>Chroococcus minutis</i>	49
Photographie N°4:	<i>Oscillatoria erythraea (a) et Oscillatoria Princeps (b)</i>	50
Photographie N°5:	<i>Oscillatoria sp.</i>	50
Photographie N°6:	<i>Spirogyra sp.</i>	51
Photographie N°7:	<i>Pyrophacus sp.</i>	51
Photographie N°8:	<i>Paraphysomonas vestita</i>	52
Photographie N°9:	<i>Synechocystis sp.</i>	52
Photographie N°10:	<i>Navícula sp.</i>	52
Photographie N°11:	<i>Achnanthes sp</i>	53
Photographie N°12:	<i>Chlorella sp₁</i>	53
Photographie N°13:	<i>Navícula minima</i>	53
Photographie N°14:	<i>Navícula kotschyi</i>	54
Photographie N°15:	<i>Prococentrum micans</i>	54
Photographie N°16:	<i>Diatoma sp.</i>	55
Photographie N°17:	<i>Nitzschia palea</i>	55
Photographie N°18:	<i>Phormidium sp.</i>	55
Photographie N°19:	<i>Chlorella sp₂</i>	56
Photographie N°20:	<i>Komvophoron sp.</i>	56
Photographie N°21:	<i>Navicula declivi</i>	56

Liste des annexes

Annexe I: Matériels

Annexe II: Fixateurs d'algues

Annexe III: Photos des espèces d'algues microscopiques et de Cyanobactéries

Introduction

Introduction

Au cours de ces dernières années, l'activité de recherche dans le domaine des microalgues s'est accrue et l'on connaît mieux maintenant leurs potentialités. L'Algérie est un pays riche par sa diversité écologique et géologique, il existe ainsi des écosystèmes extrêmes tels que les sebkhas, les sols désertiques et surtout les sources chaudes, exploitées pour leurs bienfaits, notamment thérapeutiques. Cependant, ces sources n'ont été que très peu étudiées d'un point de vue biodiversité et ce n'est que récemment qu'on a commencé à s'intéresser aux microorganismes habitants ces environnements locaux et les publications concernant le sujet sont encore très rares. Pourtant l'étude des microorganismes thermophiles ou hyperthermophiles indigènes à ces milieux hostiles à la vie peut aider à mieux exploiter cette importante source de molécules bioactives à des températures nettement plus élevées que celles d'organismes conventionnels, en particuliers leurs enzymes (**Kecha *et al.*, 2007 ; Bouanane D *et al.*, 2011**).

Les procaryotes thermophiles et hyperthermophiles aérobies hétérotrophes ont été isolées de plusieurs environnements et jouent un rôle important dans la dégradation de la matière organique (**Antranikian *et al.*, 2005**). Les enzymes produites par ces organismes sont extrêmement thermoactives, rigoureusement thermostables ayant même des activités à des températures dépassant les températures maximales de croissance de leurs organismes. Elles résistent souvent aux dénaturants chimiques tels que les détergents, les solvants organiques et les valeurs extrêmes de pH (**Antranikian *et al.*, 2005**).

Les microorganismes photosynthétiques occupent une fonction clé au sein des écosystèmes. A la base des réseaux trophiques aquatiques leur influence sur les cycles du carbone, de l'azote, du phosphore et du fer notamment est importante. Grâce à la photosynthèse, ces microorganismes autotrophes classés parmi les producteurs primaires ont un rôle majeur dans la mise à disposition du carbone sous forme organique ainsi que de dioxygène vers les organismes hétérotrophes des maillons trophiques supérieurs: 45% de la production primaire nette annuelle leur serait imputé à l'échelle du globe (**Falkowski *et al.*, 2004**).

Les microorganismes photosynthétiques comprennent, au sens large, tout organisme de taille microscopique, capable de pratiquer la photosynthèse et regroupent à ce titre à la fois des organismes eucaryotes et procaryotes. Les eucaryotes photosynthétiques sont communément appelés phytoplancton lorsqu'il s'agit d'organismes pélagiques ou microalgues, au sens large, comprenant à la fois les organismes pélagiques et benthiques (**Couté *et al.*, 2001**).

D'autre part, les cyanobactéries, organismes procaryotes pratiquant également la photosynthèse, ont souvent par le passé été associées aux microalgues. Cependant, outre de nombreuses fonctions communes au sein des écosystèmes, les microalgues et les cyanobactéries, constitutivement très différentes, sont aujourd'hui considérées comme deux groupes d'organisme distinct. (**Couté *et al.*, 2001**).

Les microalgues présentent une grande variété de modes de vies (mobiles, dérivant dans la colonne d'eau ou sessiles) et de morphologies cellulaires (sphériques, ovoïdes, fusiformes, cylindriques et même pyramidales). Ces organismes vivent principalement en cellules isolées de quelques microns à plusieurs centaines de microns pour les cellules les plus volumineuses, et parfois en colonies. Certains groupes ont développé des structures externes rigides aux motifs élaborés qui recouvrent la cellule et constituées principalement de silice pour les Diatomées (la frustule), de carbonate de calcium pour les Coccolithophoridés (le test) et de cellulose incrustée de silice pour les Dinoflagellées (la thèque). Cette forte diversité morphologique associée à une plasticité métabolique importante font l'ubiquité de ce groupe d'organismes. Outre leur présence dans les systèmes aquatiques marins, saumâtres et dulcicoles, certaines espèces ont fait preuve d'une forte adaptabilité et ont colonisé des écosystèmes peu favorables tels que les sols, les glaciers, les déserts et même les sources chaudes ou acides (**Thurman, 1997**).

Du fait de ces caractéristiques uniques, les microalgues sont aujourd'hui valorisées dans de nombreux domaines et notamment les industries pharmaceutiques, agroalimentaires, cosmétiques et aquacoles (**Spolaore *et al.*, 2006**) Relativement aux plantes supérieures et aux macroalgues, ces organismes unicellulaires sont capables de convertir l'énergie solaire en biomasse avec un rendement plus élevé mais surtout une meilleure production de composés d'intérêt (**Cadore et Bernard 2008**).

Ce projet se propose d'améliorer les connaissances sur les cyanophytes, et les algues microscopiques thermophiles. La station thermale de hammam Essalhine à Khenchela n'a fait jusqu'à présent l'objet que de quelques études portant sur la biodiversité et l'inventaire des algues microscopiques et des cyanobactéries. Le but de ce travail, et justement fait pour déterminer d'une part la diversité du plancton de cette retenue et d'autre part, pour ouvrir des portes sur l'exploitation des richesses de cette zone vierge (**Rahim et Saouli, 2016**).

Etude bibliographique

I. Phytoplancton

I.1. Définition

Le phytoplancton (du grec *phyton* ou plante et *planktos* ou errant) est constitué par l'ensemble du plancton végétal, c'est-à-dire des microorganismes photosynthétiques qui sont libres, passifs et en suspension dans la colonne d'eau. Il s'agit de cellules, colonies ou filaments qui ne peuvent nager et dont les mouvements dépendent de ceux de l'environnement aquatique et/ou qui sont mobiles (flagellés ou ciliés) mais dont les déplacements sont restreints (Noël Grogga, 2012).

La principale source d'acquisition de l'énergie s'effectue par phototrophie chez ces organismes, à partir de la lumière (photosynthèse = processus d'absorption des sels minéraux et du carbone sous forme de CO₂ et de rejet d'oxygène sous l'effet de la lumière). Les organismes qui se procurent l'énergie nécessaire à leur croissance et à leur reproduction en combinant les modes de nutrition autotrophe et phagotrophe sont qualifiés de «mixotrophes» (Stickney *et al.*, 2000).

Par ailleurs, de nombreuses cellules phytoplanctoniques (les chrysophycées par exemple) sont capables de réaliser la mixotrophie, c'est-à-dire qu'elles possèdent des capacités hétérotrophes et elles utilisent des substances organiques à la base de leur métabolisme ou sont même capables d'ingérer des bactéries (Domaizon *et al.*, 2003; Zubkov et Tarran, 2008).

Leur forme est extrêmement variée, la diversité morphologique étant souvent liée à une adaptation à la mobilité (flottaison, et mouvements verticaux). La chlorophylle *a*, un des pigments chlorophylliens, est le pigment majoritaire impliqué dans ce processus. Le phytoplancton se situe le plus souvent dans la couche supérieure éclairée des masses d'eau, dite zone euphotique dont la limite inférieure correspond à la profondeur recevant 1% de la lumière incidente (Zeitzschel, 1978).

Si les organismes phytoplanctoniques représentent seulement 1% de la biomasse des organismes photosynthétiques sur Terre, ils assurent 45% de la production primaire (Chisholm, 1995; Behrenfeld *et al.*, 2001). Ils sont ainsi à la base de la chaîne trophique pélagique et sont donc responsables d'une part essentielle de la production primaire dans les milieux aquatiques (Azam et Malfatti 2007).

I.2. Habitat et écologie

Les organismes qui constituent le phytoplancton est d'une extrême plasticité écologique. Ces espèces très ubiquistes colonisent les biotopes terrestres et aquatiques (**Fogg *et al.*, 1973**). et se retrouvent dans l'eau douce, saumâtre ou salée. Quelques espèces sont recensées dans les eaux thermales tandis que d'autres tolèrent les basses températures des lacs arctiques et antarctiques (**Skulberg, 1996**).

Certaines espèces vivent en association avec des animaux comme des protozoaires, des éponges ou des ascidies (endozoïques), ou avec des végétaux comme des fougères aquatiques ou des angiospermes (endophytiques) (**Couté et Bernard, 2001**).

Elles peuvent encore vivre en symbiose avec des champignons et des algues vertes comme dans le cas des lichens. Au cas où elles sont strictement aquatiques, elles peuvent être planctoniques, vivant dans la colonne d'eau, ou benthiques, fixées ou très proches des divers substrats (roches, coraux, algues, animaux) et se développent même à l'intérieur des sédiments (**Mur *et al.*, 1999; Couté et Bernard, 2001**).

Le phytoplancton comporte des organismes autotrophes qui possèdent, suivant les espèces, en plus de leurs remarquables possibilités d'adaptation à la température, une excellente adaptabilité aux variations lumineuses grâce à une composition pigmentaire qui leur permet d'utiliser une large gamme du spectre lumineux. Certaines espèces peuvent aussi se déplacer dans la colonne d'eau grâce à des glissements, à des mouvements hélicoïdaux ou à la présence de vésicules à gaz. Ces éléments leur permettent d'aller se positionner au niveau de leur optimum lumineux dans la zone euphotique ou de descendre dans les couches inférieures chercher des concentrations plus importantes en nutriments. D'autres peuvent s'affranchir partiellement des éléments nutritifs de part leurs capacités de stockage ou de transformation de l'azote atmosphérique (**Behrenfeld *et al.*, 2001**).

Selon Chorus et Bartram (1999), dans le phytoplancton il y a des organismes «écostratégiques» pouvant adopter plusieurs comportements qui les conduisent à dominer les communautés algales :

- «Ecostratégiques dispersés ou stratifiants». C'est le cas des genres *Planktothrix* et *Limnothrix*. Ce sont des espèces filamenteuses sensibles aux fortes intensités lumineuses. La régulation de la flottabilité est moins efficace chez ces espèces qui se retrouvent alors dispersées dans l'épilimnion, arrivant parfois à éliminer les autres organismes

phytoplanctoniques par simple ombrage. Cependant, ces espèces peuvent aussi adopter une stratégie différente en se développant au niveau de la thermocline où leur richesse en phycoérythrine leur permet d'absorber efficacement la lumière dans les longueurs d'ondes 490 à 570 nm (bleu et vert) ;

- « Ecostratégiques fixateurs d'azote ». Certaines espèces de cyanobactéries appartenant aux genres *Aphanizomenon*, *Nodularia*, et *Nostoc* peuvent profiter d'une limitation de la disponibilité en azote sous forme directement assimilable (NO_3^- ou NH_4^+) pour dominer les autres espèces grâce à leur fixation d'azote (**Chorus et Bartram, 1999**).

I.3. Ecophysiologie du phytoplancton

En supposant la lumière, la température et l'hydrodynamisme favorables à la croissance du phytoplancton, la biodisponibilité des nutriments présents dans l'eau commandent le développement des espèces phytoplanctoniques. La demande exercée par les organismes est fonction de la composition de leurs tissus vivants. L'une des sources de carbone est sous forme de gaz carbonique d'origine atmosphérique qui se dissout facilement dans les écosystèmes aquatiques par diffusion (**Hutchinson, 1957**).

Il est généralement admis que le carbone est excédentaire environ d'un coefficient 30, et donc rarement limitant (**Schindler et al., 1971; Schindler, 1974 ; Moss, 1980 ; Welch, 1980**).

Toutefois, dans les milieux très eutrophes, l'augmentation du pH entraîne une diminution de la solubilité des bicarbonates dans l'eau pouvant créer une limitation de croissance du phytoplancton (**Sevrine reyssac et al., 1996**). Par contre, l'azote peut être le facteur limitant du développement du phytoplancton (**Dufour et Berland, 1999**).

I.4. Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique

Qu'il s'agisse du phytoplancton, des macrophytes, des invertébrés ou des poissons, les indicateurs biologiques (bio-indicateurs) sont basés sur le même principe. La variété des taxons présents dans un prélèvement, leur assemblage, la présence ou l'absence de groupes sensibles (aux pollutions par exemple), donnent une indication sur la qualité des milieux. Ainsi, Blandin (1986) a donné au terme bio-indicateur la définition suivante: « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui par référence à des variables biochimiques cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques permet, de façon, pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ». A cet

effet, (**Reynolds *et al.*, 2002**) ont publié une description détaillée de 31 assemblages phytoplanctoniques qui peuvent être vus comme des groupes fonctionnels, c'est à dire des groupes d'espèces avec une sensibilité plus ou moins grande pour différentes combinaisons de propriétés physiques, chimiques et biologiques internes au lac (profondeur de la zone de mélange, lumière, température P, N, Si, CO₂ et pression de prédation). Le phytoplancton, qui est donc fortement influencé par les changements environnementaux, est considéré comme étant la première communauté biologique à répondre à l'eutrophisation, spécialement dans les lacs (**Solheim *et al.*, 2005 ;Padisak *et al.*, 2006; Salsamo *et al.*, 2006**).

Ainsi, ce compartiment biologique a été proposé puis imposé par la DCE (directive cadre de l'eau) comme élément de qualité biologique pour les lacs et est identifié aujourd'hui comme un bio-indicateur potentiel puisque répondant aux changements trophiques des masses d'eau. Trois paramètres relatifs au phytoplancton peuvent être utilisés pour l'évaluation de l'état écologique des lacs et la définition des statuts « très bon », « bon » et « moyen ». Il s'agit de l'abondance et la composition phytoplanctonique, la biomasse phytoplanctonique (via les estimations de la concentration de chlorophylle *a* et du biovolume moyen) et l'intensité et la fréquence des blooms planctoniques (**Anneville *et al.*, 2008**).

II. Algues microscopiques ou microalgues

Avant l'apparition de la vie, l'atmosphère de la Terre était riche en gaz carbonique et en méthane. Ce sont dans ces conditions hostiles que les premiers microorganismes sont apparus : les cyanobactéries il y a 3,5 milliards d'années et les eucaryotes il y a 1,8 milliards d'années (**Pflug, 1987**).

Ces algues bleues, rouges, vertes et brunes ont joué et jouent encore un rôle essentiel sur la planète. C'est grâce à ces organismes que l'atmosphère initiale hostile au développement d'espèces animales a été transformée en cette atmosphère respirable que l'on connaît aujourd'hui. Comme toutes les plantes, les microalgues sont capables, grâce à la photosynthèse, de recycler le dioxyde de carbone en oxygène et de convertir l'énergie solaire en une matière première constituant la base de la chaîne alimentaire des autres êtres vivants.

Au cours de leur évolution, ces microorganismes ont pu coloniser la quasi-totalité des niches écologiques dont la plupart sont des milieux extrêmes. Leur capacité d'adaptation à n'importe quel type de milieu est remarquable car ils peuvent fabriquer des structures de résistance lorsque les conditions écologiques sont défavorables. Ainsi, nous pouvons trouver des microalgues dans des environnements acides, alcalins, et même riches en acide sulfhydrique d'autres supportent le froid ou au contraire les hautes températures ou la sécheresse (**Couté, 1995**).

La plupart des algues se développent en milieu aquatique mais certaines sont terrestres et sont même capables de se développer sur les troncs des arbres ou façades des maisons. Cette adaptabilité à des conditions environnementales diverses s'explique d'une part grâce à un polymorphisme avec une certaine résistance développée lorsque les conditions sont défavorables à leur développement et, d'autre part, grâce à la production de métabolites en fortes concentrations lorsque leur milieu est modifié. Cette adaptation à des milieux très différents explique la variété d'espèces qui comporte actuellement, selon les estimations, entre 20 000 et 40 000 espèces différentes (**Thurman, 1997**).

Malgré cela, le monde scientifique ne s'intéresse que depuis peu aux microalgues. Leur étude reste limitée à une cinquantaine d'espèces clairement identifiées et à une vingtaine réellement exploitées. Contrairement aux végétaux aquatiques que l'on appelle communément « algues », l'existence des microalgues est ignorée du grand public. Ces organismes se distinguent de leurs congénères, par leur taille de l'ordre de quelques micromètres. En conséquence, à l'oeil nu, une microalgue est totalement invisible. Quelquefois et grâce à des conditions environnementales favorables, elles forment des « efflorescences » massives et monospécifiques (appelées fleur d'eau ou *bloom* en anglais) qui peuvent entraîner une coloration des eaux (**Couté, 1995**).

On peut trouver également, sur les structures immergées comme les coques de bateaux. Certaines espèces s'installent sur les murs des monuments ou sur les troncs des arbres en leur donnant une coloration très vive qui permet de les identifier d'autres microalgues vivent en symbiose avec des animaux (coraux, mollusques) et aussi, avec des champignons en formant des lichens. Les microalgues appartiennent au règne des eucaryotes caractérisés principalement par l'absence de racines, de tissus vasculaires et de feuilles mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments pour réaliser la photosynthèse (**Michel Cavalla, 2000**).

II.1. Définition des algues microscopiques

Les algues sont définies comme des organismes eucaryotes (excluant les cyanobactéries qui sont des procaryotes photosynthétiques) dépourvus de racines, de tige (absence de tissus vasculaires) et de feuilles, mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments accessoires pour réaliser la photosynthèse productrice d'oxygène. Les cyanobactéries (ex algues bleues ou Cyanophycées) sont généralement étudiées ensemble car bien que ne possédant pas de noyau, elles ont beaucoup d'affinités avec les algues vraies (**Michel Cavalla, 2000**).

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 (**Michel Cavalla, 2000**).

II.2. Caractéristiques générales des algues microscopiques

- Végétaux de taille microscopique (cellules de quelques microns) ;
- Organismes monocellulaires, parfois groupés en colonies ou multicellulaires (filaments) ;
- Habitat le plus souvent aquatique (eau de mer et eau douce) ;
- Multiplication le plus souvent par voie non sexuée ;
- Nutrition: autotrophe (photosynthèse), parfois possibilité de nutrition par voie hétérotrophe et mixotrophe ;
- Organismes eucaryotes (organites cellulaires: noyau, chloroplaste, mitochondries etc...) pour la plupart ou procaryotes (pas d'organites cellulaires) dans le cas des cyanobactéries (algues bleues) ;
- Classification usuelle sur base de la couleur (contenu pigmentaire): Chlorophycées algues vertes, Rhodophycées (algues rouges), Cyanophycées (algues bleues ou cyanobactéries) ;
- Croissance rapide par division cellulaire: plusieurs divisions par jour en conditions favorables
- production rapide de biomasse (**Fabrice Franck, 2010**).

II.3. Classification des algues microscopiques

La classification des algues microscopiques se base sur des caractères d'ordre biochimique, cytologique, morphologique ainsi que sur les différences de structure et de mode de reproduction. On en compte, dans la catégorie des eucaryotes les familles des Rhodophytes, Chrysophytes, Phéophytes, Pyrophytes, Chlorophytes, Cryptophytes, Dinoflagellés, et euglenophytes (**Bourrelly, 1972**).

II.3.1. Chlorophytes

Les Chlorophytes ont des plastes d'un beau vert franc et mettant de l'amidon en réserve. Cet amidon est logé dans les plastes (amidon intraplastidial). Il se colore en bleu-noirâtre, et souvent même, en noir par la solution iodo-iodurée. Les cellules nageuses possèdent habituellement deux fouets de même taille, rarement quatre ou plus. Les caractéristiques communes aux algues des deux infra-règnes sont, les pigments photosynthétiques (chlorophylles

a et b). Les algues vertes constituent un groupe polyphylétique d'organismes constitué de 550 à 570 genres, représentés par plus de 16000 espèces (**De Reviere, 2003**).



Figure N° 1 : Algues vertes (chlorophycées) (**Coste, 2008**).

Les chlorophycées forment un groupe extrêmement vaste et morphologiquement très diversifié. Elles sont réparties en 4 classes: Cet embranchement comporte quatre classes:

Les Euchlorophycées;

Les Ulothricophycées;

Les Zygochloales;

Les Charophycées (Bourelly, 1972**).**

Celles-ci comportent environ 500 genres, représentant plus de 15000 espèces (**John 1994**). Toutefois, la plupart des algues vertes planctoniques lacustres appartiennent à l'ordre des Volvocales et à celui des Chlorococcales qui font partie de la classe des Euchlorophycées (**Bourelly, 1985b**).

Les cellules des Volvocales possèdent une paroi cellulaire glycoprotéique pourvue de 2, 4 ou 8 flagelles de même taille, 1 noyau et 2 vacuoles contractiles localisées à la base des flagelles. Les chloroplastes de la plupart des volvocales sont en forme de U et les chlorophylles *a* et *b* sont les pigments majeurs (**Ettl, 1983**).

Les Chlorococcales sont unicellulaires ou coloniales avec une membrane bien définie, parfois de formes filamenteuses (**Ettl et Gärtner, 1988**). L'état végétatif est sous forme immobile et les flagelles sont absents au stade adulte. On distingue comme précédemment un noyau par cellule et les mêmes pigments majeurs (**Bourelly, 1985b**). Pour assurer leur reproduction, les Volvocales et les Chlorococcales forment des zoospores à l'intérieur de la paroi

cellulaire de la cellule mère. On distingue 3 types de zoospores: celles avec membrane et 2 fouets égaux, celles sans membrane et à fouets égaux et celles sans membrane et à fouets légèrement inégaux mais de même structure (**Bourrelly, 1985b**).

Dans les formes coloniales, chaque cellule de la colonie se divise par division végétative en n cellules formant $2 \times n$ cellules filles. On retrouve également 3 types de reproduction sexuée: isogamie (2 gamètes de même taille), anisogamie (gamète male plus petit que gamète femelle) et oogamie (gamète femelle non flagellé et gamète mâle flagellé) (**Nozaki, 2003**).

II.3.2. Rhodophytes

Communément appelées algues rouges et représentées par l'unique classe des Rhodophycées Elles sont constituées de 700 genres, avec plus de 10 000 espèces réparties en 11 ordres divisés en deux sous classes : les Bangiophyceae et les Floridophyceae d'après (**Lüning, 1990**).

Les Bangiophyceae sont principalement des algues unicellulaires et sont considérées comme des formes primitives d'algues rouges. Les Floridophyceae sont majoritairement des algues pluricellulaires et macroscopiques. Ce sont des algues de tailles moyennes (jusqu'à 1 mètre) et souvent épiphytes, c'est-à-dire qu'elles se développent sur d'autres végétaux. Les cellules des algues rouges sont non flagellées, elles sont souvent filamenteuses ; largement distribuées dans les mers et se réduisent, en eau douce, à quelques genres (**Bourrelly, 1972**).

La distinction avec les Cyanophycées sera souvent difficile à faire, car les pigments sont les mêmes: A côté de la chlorophylle a et d, on retrouve des pigments bleu et rouge Phycoérythrine et Phycocyanine accompagnés de Xanthophylles et de Caroténoïdes. Cependant, et à la différence des Cyanobactéries, ces pigments seront portés par un ou plusieurs plastes. Les réserves sont constituées par de l'amidon floridéen ou rhodamylon qui est une amylopectine proche du glycogène prenant une teinte acajou avec la solution iodo-iodurée (**Bourrelly, 1970; 1972**).

II.3.3. Chrysophytes

Grand groupe d'algues eucaryotes couramment appelées *algues dorées*, trouvées principalement dans l'eau douce. A l'origine, elles ont été prises pour inclure toutes les formes excepté les diatomées et les algues brunes multicellulaires. Pour beaucoup de chrysophytes, les parois des cellules sont composées de cellulose avec de grandes quantités de silice. Autrefois classées parmi les plantes, elles contiennent les pigments photosynthétiques de chlorophylle a et

c. Sous certaines circonstances, elles se reproduiront de manière sexuée, mais la forme courante de la reproduction est la division cellulaire (**Lando, 2011**).

Les Chrysophycées sont caractérisées par des chromatophores bruns, jaunes ou vert-jaunâtre. Ces algues ne possèdent jamais d'amidon, mais un polysaccharide. On en distingue 3 classes: les Chrysophycées, les Xanthophycées et les Bacillariophycées ou Diatomées (**Bourrelly, 1972**).

II.3.3.1. chrysophycées

Les chrysophycées sont des algues unicellulaires ou coloniales (rarement filamenteuses), dont certaines vivent dans une enveloppe protectrice appelée lorique. Leurs cellules possèdent un ou plusieurs plastes jaunes ou bruns à cause de la forte concentration en xanthophylles (lutéine, fucoxanthine, diadinoxanthine) et caroténoïdes (β -carotène) masquant la couleur due aux chlorophylles *a* (**Wetzel et al., 2001**).

La plupart de ces cellules obtiennent leur énergie par mixotrophie, c'est à dire qu'elles sont capables d'autotrophie et d'hétérotrophie. Dans le dernier cas, elles se nourrissent en consommant de la matière particulaire comme des bactéries ou des protistes (phagotrophie) ou bien en absorbant des molécules organiques complexes (osmotrophie). Le nombre de flagelles est variable. La plupart des cellules sont uniflagellées mais d'autres possèdent deux flagelles généralement de même taille. Beaucoup des espèces appartenant à cette classe n'ont pas de paroi cellulaire mais sont juste entourées d'une membrane cytoplasmique. D'autres possèdent une surface cellulaire couverte de plaques ou d'écailles siliceuses ou calcaires. La multiplication se fait par fission binaire ou par zoosporulation. Les phénomènes sexuels, rarement signalés, sont de nature isogamique. En période de repos, la formation endogène de kystes siliceux, globuleux, percés d'un pore obstrué par un bouchon, est caractéristique des Chrysophycées (**Sanders et al., 1990; Domaizon et al., 2003**).

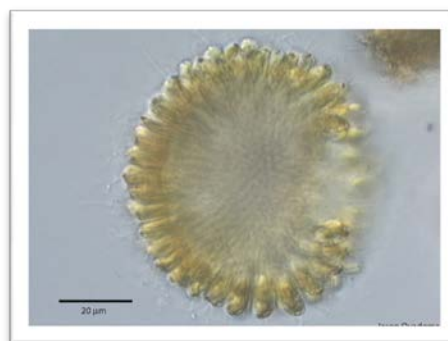


Figure N° 2 : Algues dorées (chrysophycées) (**Oyadomary, 2005**).

II.3.3.2. Xanthophycées

Les xanthophycées regroupent plus de 100 genres et environ 600 espèces dulçaquicoles. Elles vivent à l'état unicellulaire, colonial ou de filament et sont caractérisées par une plus grande proportion de pigments caroténoïdes (β -carotène) que de chlorophylle, ce qui peut expliquer leur couleur jaune-verte (**Ettl, 1978**). Les cellules mobiles possèdent deux flagelles de taille différente. La paroi cellulaire est souvent absente et quand elle est présente, elle contient une grande quantité de pectine et peut être siliceuse chez plusieurs espèces. Les xanthophycées se divisent essentiellement par fission binaire mais peuvent également former des zoospores. La reproduction sexuée, quand elle a lieu, est le plus souvent isogame (**Ott et Oldham-Ott, 2003**).

II.3.3.3. Diatomées (Bacillariophycées)

Les diatomées engloberaient plus de 100 000 espèces et on estime que seulement près de 15 000 ont été identifiées à ce jour. C'est un des groupes les plus importants du phytoplancton même si beaucoup d'espèces sont sessiles ou associées aux substrats littoraux. Leur caractéristique principale est la présence d'une paroi cellulaire siliceuse appelée frustule (**Germain, 1981**). Le pourtour des valves est connecté avec des bandes qui constituent la ceinture de la cellule. Ces microorganismes sont unicellulaires ou coloniaux et sont communément divisés en deux groupes: les diatomées centriques qui ont une symétrie radiale et les diatomées pennées qui ont une symétrie bilatérale. Les valves des diatomées pennées présentent des parties de cellules plus épaisses et dilatées. Chez certaines espèces, une fente, nommée raphé, traverse une partie ou la cellule entière alors que chez d'autres espèces, on observe une dépression de la paroi cellulaire appelée pseudoraphé. Quatre groupes de diatomées pennées sont différenciés sur la base de ces structures: les Araphidées, les Raphidoidées, les Monoraphidées et les Biraphidées. 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 diatomée. Les diatomées peuvent se produire sous forme plus compacte en tant que roche molle, crayeuse, légère, appelée *diatomite* (**Canter-Lund et Lund, 1995**).

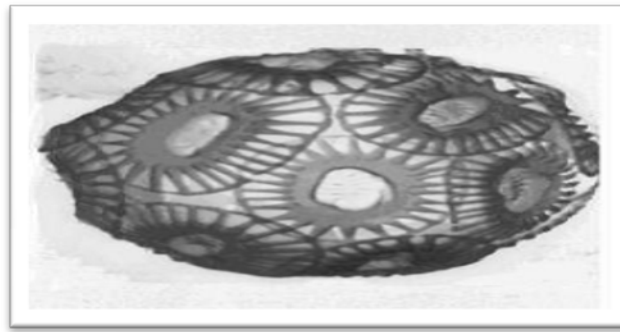


Figure N° 03 : Diatomées (bacillariophycées) (Benemann, 2008).

II.3.4. Phéophytes

Les Pyrophytes Dites aussi « Algues brunes », comprennent environ 1000 espèces, sont souvent marines et ne sont représentées en eau douce que par quelques genres fort rares. Elles sont alors fixées aux pierres en formant des touffes de filaments. Aucune d'elles n'est unicellulaire. Elles ont des plastes bruns, sans amidon. Les réserves sont formées par un polysaccharide très voisin de celui des Chrysophytes (Bourelly, 1972).

II.3.5. Pyrophytes

Les Pyrophytes Elles ont des plastes bruns, moins souvent rouges ou bleu-vert et mettent de l'amidon en réserve. Mais cet amidon n'est pas contenu dans des plastes ; il est extra-plastidial (Bourelly, 1970).

II.3.6. Cryptophytes

Les cryptophytes Sont unicellulaires, mobiles de par la présence de deux flagelles (de taille égale) et dépourvues de paroi cellulaire. En effet, l'enveloppe qui les entoure est appelée périplaste et est composé de deux couches distinctes, le périplaste interne (succession de plaques protéiques) et le périplaste externe (membrane protéique unique) qui entourent la membrane plasmique (Kugrens et Clay, 2003). Les cellules sont aplaties dorso-ventralement et sont pourvues d'une invagination antérieure qui porte les deux flagelles. Les pigments chlorophylliens sont la chlorophylle *a* et *c*. Les cellules contiennent une variété de pigments dont la phycoérythrine qui leur donne une couleur rougeâtre caractéristique. La reproduction se fait par fission binaire (Starmach, 1974; Bourelly, 1985a).

II.3.7. Dinoflagellés (Dinophytes)

Les dinoflagellés (Dinophytes) comprennent 550 genres et 4 000 espèces et sont des algues flagellées unicellulaires dont la plupart sont mobiles. Une ceinture transversale, le cingulum, encercle la cellule et la divise en une épithèque et une hypothèque alors qu'une invagination longitudinale, le sulcus, définit la face ventrale de la cellule. Ils possèdent des plaques de cellulose sur la partie externe de la membrane et la taxonomie de ces microorganismes est basée sur le nombre et l'arrangement de ces plaques (**Kofoid, 1909**). Ces plaques peuvent être très fines et sont parfois difficiles à voir par microscopie optique. Des pores apicaux, des extensions de plaques et des épines peuvent aussi apparaître chez certaines espèces. La chlorophylle *a* et *c2* sont deux pigments photosynthétiques majeurs des cellules de dinoflagellés, et des pigments surnuméraires comme le bêta-carotène et des xanthophylles (péridinine). La source d'énergie de stockage est l'amidon, présent sous forme de grains dans le cytoplasme des cellules (**De Reviars, 2003**).

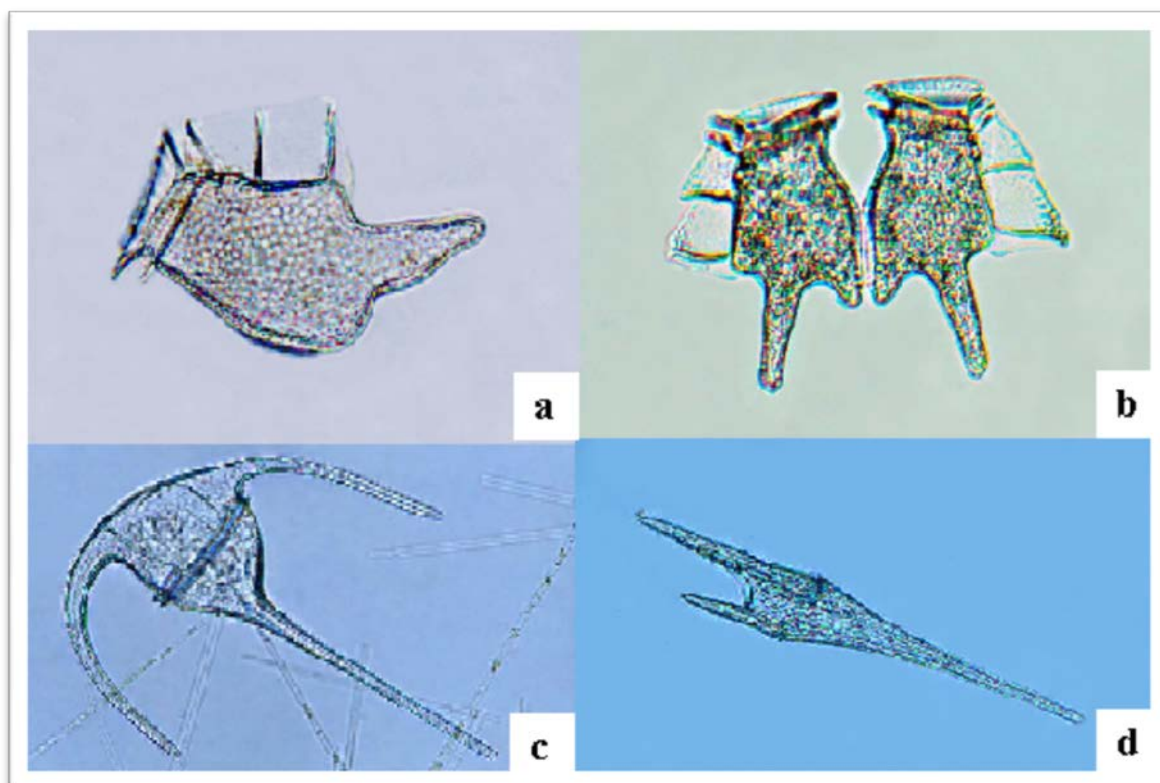


Figure N° 04 : Dinoflagellés (Dinophytes) (a) *Dinophysis caudata* ; (b) *Dinophysis tripos* (c) *Ceratium tripos* ; (d) *Ceratium furca* (**Benemann, 2008**).

II.3.8. Euglenophytes (Euglenas)

Les Euglenophytes sont réparties en 13 genres et plus de 2000 espèces. Ils sont presque tous unicellulaires, sans paroi cellulaire, possèdent un, deux ou trois flagelles qui émanent d'une invagination de la membrane cellulaire et rarement en colonie, une vacuole contractile et un stigma (« eyespot ») orange à rouge composé de globules de caroténoïdes (**Rosowski, 2003**). Bien que certaines euglènes soient non pigmentées, phagotrophes (capables d'ingérer des particules solides) et par conséquent considérés comme des protistes animaux (ex protozoaires), la plupart sont photosynthétiques et parfois hétérotrophes. Les cellules possèdent une structure péricellulaire particulière appelée pellicule. Cette pellicule est constituée de bandes de protéines que l'on retrouve sous la membrane plasmique des algues. Elles contiennent de la chlorophylle a et b et parfois des caroténoïdes (bêta-carotène, néoxanthine, diadinoxanthine...). La composition en pigment varie avec l'espèce et les conditions environnementales. En ce qui concerne leur mode de reproduction, la division cellulaire semble être la règle pour cette classe du phytoplancton (**Bourelly, 1985a**).

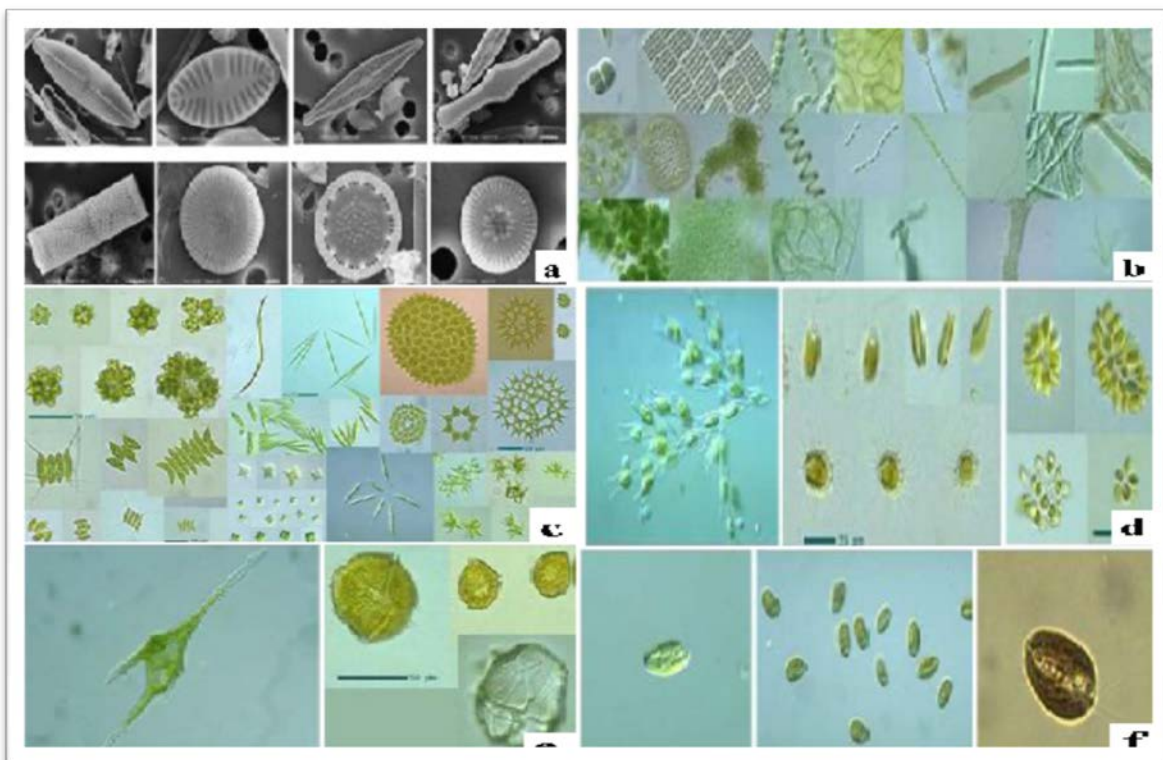


Figure N°05 : Classes algales et leurs caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques (a) diatomées ; (b) Cyanophycées ; (c) Chlorophycées (d) chrysophycées ; (e) dinoflagellés ; (f) Cryptophycées (**Saez et al., 2008**).

II.4. Mode de nutrition des microalgues

Les microalgues sont largement et principalement connues comme étant des organismes photoautotrophes. L'autotrophie est un mode de nutrition des microalgues leur permettant d'utiliser les rayons solaires afin de synthétiser leur énergie. Les microalgues de métabolisme autotrophe utilisent également une source de carbone inorganique comme le CO² pour la synthèse du carbone organique (**Becerra Celis, 2009**). Ce carbone organique est essentiel à la synthèse de toutes les composantes organiques nécessaires à leur survie. D'autre part, plusieurs microalgues ont un métabolisme hétérotrophe de nutrition et celles-ci n'ont pas besoin de l'énergie solaire. Elles utilisent plutôt une source de carbone organique pour la production de l'énergie et des composants organiques (**Becerra Celis, 2009**).

Les microalgues de métabolisme mixotrophe peuvent, soit avoir un métabolisme autotrophe, ou encore hétérotrophe. En effet, en absence d'énergie lumineuse, lorsqu'une source de carbone organique est disponible, le développement des chloroplastes est inhibé et ces microalgues métabolisent leur énergie en mode hétérotrophe (**Laura, 2011**).

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. Il est à noter que certaines carences en nutriments sont appliquées volontairement dans le but de stimuler la production de certains métabolites. Par exemple, une carence azotée phosphorée ou siliciée peut induire, chez certaines espèces, une forte accumulation de lipides. Pour le mode hétérotrophe, une source de carbone organique est utilisée (sucres, acides organiques, glycérol, etc.) (**Laura, 2011**).

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 (**Julie, 2011**).

II.5. Composition des microalgues

D'après (Guezzen, 2014), les microalgues ont une grande valeur biologique due à leurs richesses en :

- **Fibres** : de 33 à 61% ;

- **Calcium** : les microalgues sont une source abondante de ce minéral qui peut être jusqu'à 34% de la matière sèche;
- **Vitamines** : surtout la vitamine B12 à des teneurs assez importantes contrairement aux plantes terrestres;
- **Iode** : la teneur en iode des microalgues est exceptionnelle et peut atteindre jusqu'à 14296mg/kg matière sèche;
- **Protéines** : Les phycobiliprotéines sont les principaux pigments des algues rouges (phycoérythrine) et bleues (phycocyanine) ,possèdent des propriétés antioxydantes utilisées dans les traitements de certains cancers et maladies inflammatoires liées au stress oxydatif;
- **Polyphénols** : appelés phlorotannins chez les microalgues, ils sont présents surtout dans les phéophycées et montrent une activité antioxydante dans les tests in vitro;
- **Caroténoïdes** : des puissants antioxydants ,les algues brunes en sont riches en plus des fucoxanthine,β-carotène et violaxanthine. De nombreuses études ont démontré l'activité antioxydante des caroténoïdes et effets preventifs contre les pathologies (**Guezen, 2014**).

II.6. Facteurs de production algale

Les facteurs ayant un rôle important sur la production algale sont les suivants (**Stengel, 1970; Fulks et Main, 1991**).

- **L'éclairement** qui peut aussi être artificiel. Une photopériode de 16 heures de jour est un minimum optimal ;
- **La température** dont l'optimum est de 18 à 24°C selon les espèces ;
- **Le pH** qui doit être compris entre 8,2 et 8,7 ;
- **les nutriments**: l'azote et le phosphore,d'autres éléments devront aussi être présents (potassium, magnésium, oligoéléments...);
- **Le CO₂** : principale source de carbone ;
- **L'absence de consommateurs herbivores** (**Salomoni, 1991; Fulks et Main, 1991**) tels que les rotifères pour les espèces d'algues de très petite taille et surtout les daphnies, car ces organismes filtreurs peuvent provoquer un effondrement de la culture ;

II.7. Applications biotechnologiques des microalgues

II.7.1. Alimentation humaine et animale

C'est pour des raisons alimentaires que la culture des microalgues a eu un important développement à l'issue de la deuxième guerre mondiale. Les microalgues semblaient en effet prometteuses, du fait de leur composition et notamment de leur richesse en vitamines. Pourtant, les microalgues fraîches sont mal assimilées, car leur paroi épaisse est indigeste pour les monogastriques (**Soeder et Pabst, 1970**).

Un traitement thermique ou mécanique est nécessaire pour augmenter leur digestibilité (**Soeder et Pabst, 1970**). En outre, leur déficience en acides aminés soufrés (méthionine et cystéine) implique une supplémentation de l'alimentation (**De la Noüe et Proulx, 1986**).

Enfin, il ne faut négliger ni les risques de toxicité des algues à un haut degré d'incorporation, ni les risques sanitaires en cas de dysfonctionnement de la culture recevant le déchet organique. Actuellement, seule la spiruline semble avoir été vraiment utilisée en alimentation comme condiment et en apport protéique (**Clément et van Landeghem, 1970; Ittis, 1974; Fox, 1986**).

Les microalgues sont aussi des producteurs d'oméga trois qui peuvent être extraits et utilisés comme complément alimentaire pour l'Homme. Les microalgues synthétisent également des acides arachidonique et eicosapentaénoïque (EPA) et linoléique. L'EPA et l'acide arachidonique peuvent moduler le métabolisme humain (**Rebeloso Fuentes et al., 2000**).

II.7.2. Utilisations industrielles

Il s'agit vraisemblablement d'une utilisation plus prometteuse que la production de protéines d'origine unicellulaire alimentaires. Un grand nombre de substances peuvent être extraites des algues (**De la Noüe et al., 1990**).

La diatomite est utilisée comme matériel isolant contre la chaleur et le bruit, dans la fabrication de dynamite et d'autres explosifs, et pour des filtres, des abrasifs, et des produits similaires (**Potin, 2011**).

II.7.3. Colorants

Actuellement, le β carotène et la phycocyanine sont les deux seules substances d'origine algale à avoir été commercialisées (**de la Noüe et al., 1990**).

Le β carotène est un autre colorant, actuellement extrait de *Porphyridium cruentum*, qui sert notamment à colorer la margarine. Il sert aussi en pharmacie comme provitamine A, en cosmétique comme produit bronzant, et en aquaculture pour colorer la chair des truites (**Morice et Jamma, 1992**). D'autres colorants peuvent être extraits des microalgues: ce sont les phycobilliprotéines utilisées également comme marqueurs fluorescents (**Huntley et al., 1989**).

II.7.4. Polysaccharides

Ce sont des agents visqueux ou gelifiants. Les microalgues peuvent en produire, bien qu'elles ne soient pas encore compétitives avec les bactéries ou les macroalgues (**de la Noüe et al., 1990**).

II.7.5. Vitamines et autres produits

Les microalgues semblent être compétitives comme sources de vitamines A, B1, B6, D, E et K. D'autres substances peuvent être extraites: ce sont les acides gras polyinsaturés (comme l'acide arachidonique, l'acide eicosapentaénoïque, et l'acide docosahexaénoïque) utilisés dans les régimes anticholestérol et diététiques, les antioxydants, et les substances antibactériennes et fongiques (**de la Noüe et al., 1990**).

II.7.6. Imperméabilisants

D'après (**Huntley et al., 1989**), il serait possible d'imperméabiliser des terrains avec des tapis d'algues et de bactéries.

II.7.7. Pharmaceutique

Les extraits et les molécules biologiquement actives d'origine naturelles occupent aujourd'hui une place prépondérante dans notre société puisqu'elles sont à la base de nombreux principes actifs utilisés en pharmacie (**Gonzales, 1997**). Les algues représentent une source de substances polymériques actives, mise en évidence par de nombreux travaux de recherche. Les potentiels thérapeutiques de certaines de ces substances sont extrêmement prometteurs notamment comme agents antimicrobiens, agents antiviraux ou pour leurs activités envers certaines pathologies. (**Nakajima et al., 2009**) ont ainsi mis en évidence un composé extrait d'une algue verte marine, le diméthylsulfoniopropionate, qui présente des potentialités anticancéreuses. Certains hétéropolysaccharides sulfatés matriciaux, comme les fucoïdanes, sont également appropriés pour lutter contre les processus de formation et de croissance de tumeurs malignes (**Boisson-Vidal et al., 2007**).

II.7.8. Cosmétique

Les extraits d'algues sont régulièrement utilisés dans des crèmes cosmétologiques (Spolaore *et al.*, 2006). Pour des raisons de formulation, on note que l'utilisation de poudres d'extraits d'algues est plus fréquente que l'utilisation des végétaux entiers. Certaines molécules d'origine algale sont même utilisées en tant qu'excipient dans l'élaboration de produits dermatologiques (alginates). De nombreuses recherches tendent à valoriser l'utilisation des algues, notamment à la vue des enjeux économiques considérables liées aux produits cosmétologiques d'appellation biologique (Dabouineau, 2004).

II.7.9. Production de biocarburants

A l'heure actuelle, dans le contexte des changements climatiques et de la flambée des prix du baril de pétrole, les biocarburants obtenus à partir de matériaux organiques renouvelables se présentent comme une alternative aux énergies d'origine fossile pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et assurer une indépendance énergétique (Li *et al.*, 2008).

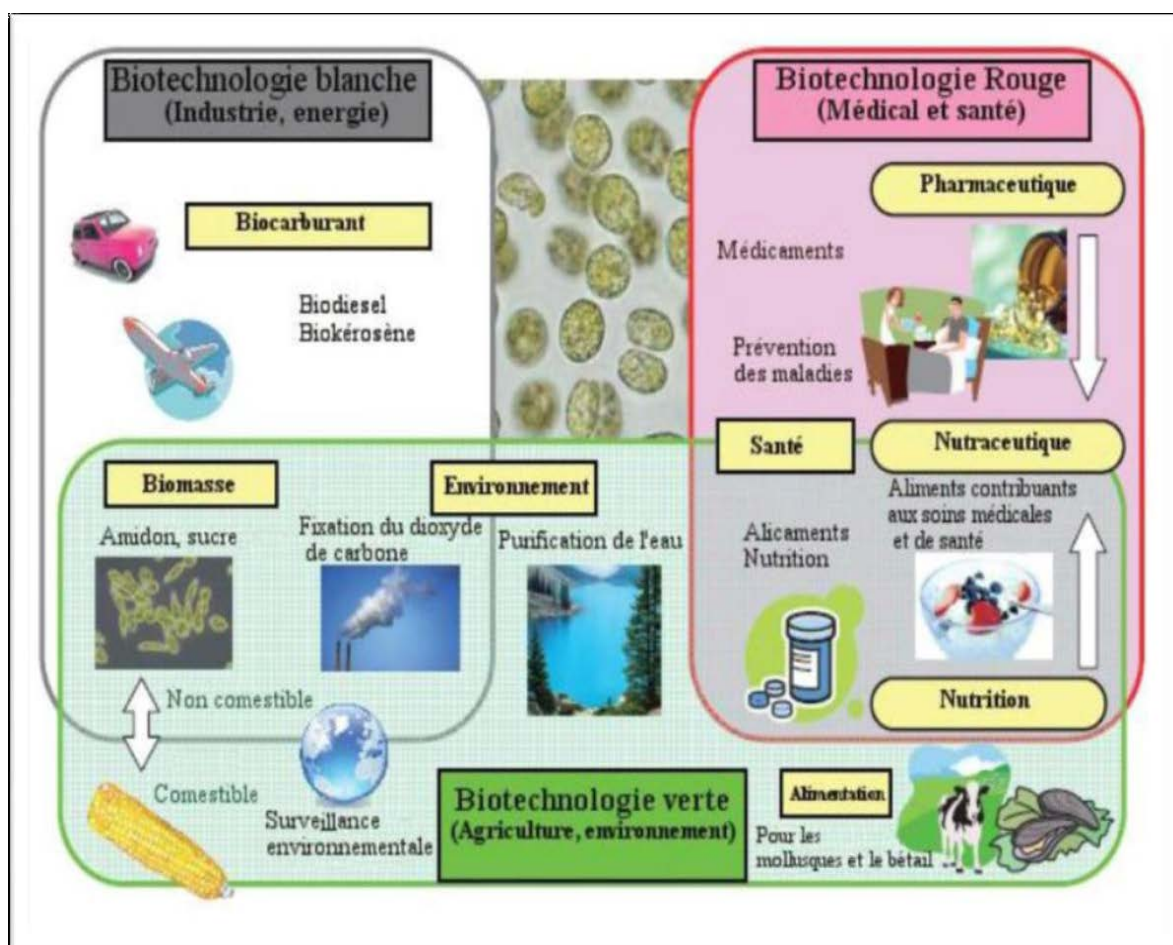


Figure N° 6 : Diversité du champ d'application de microalgues (Filali, 2012).

Tableau N° I : Genres microalgues utilisés en industrie, avec leurs applications (Milledge, 2010)

Genres microalgues utilisés	Production annuelle en tonne	Applications et produits
<i>Arthrospira</i>	3000	Alimentation animale et humaine, phycobiliprotéines, cosmétique
<i>Chlorella</i>	2000	Nutrition humaine, aquaculture, cosmétique
<i>Dunaliella</i>	1200	Nutrition humaine, cosmétique, β -carotène
<i>Aphanizomenon</i>	500	Nutrition humaine
<i>Haematococcus</i>	300	Aquaculture, Astaxanthine
<i>Cryptocodinium</i>	240	Acide Docosaénoïque
<i>Schizochytrium</i>	10	Acide Docosaénoïque

III. Les Cyanobactéries

Anciennement appelées algues bleues, cyanophycées ou cyanophytes, les cyanobactéries sont des microorganismes procaryotes. Selon la classification phylogénétique, elles appartiennent au domaine des *Bacteria* (Garrity *et al.*, 2001).

Les Cyanobactérie c'est un Embranchement de bactéries aquatiques procaryotes 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 différences 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 donnant une couleur vert claire (Lando, 2011).

Contrairement aux bactéries, qui sont des décomposeurs hétérotrophes des déchets et des corps d'autres organismes, les cyanobactéries contiennent le pigment vert de la chlorophylle (aussi bien que les autres pigments), qui piège l'énergie du soleil et permet à ces organismes de

procéder à la photosynthèse. Les cyanobactéries sont ainsi des producteurs auto-trophiques de leur propre nourriture à partir de matières premières simples. Les cyanobactéries fixant l'azote ont seulement besoin d'azote et de dioxyde de carbone pour vivre: elles sont capables de fixer le gaz d'azote, qui ne peut être absorbé par les plantes, par l'ammoniaque (NH_3), les nitrites (NO_2) ou les nitrates (NO_3), qui peut être absorbé par les plantes et être converti en protéines et acides nucléique (**Potin, 2011**)

III.1. Organisation cellulaire

L'absence de membrane nucléaire et d'organites isolés indique que les cyanobactéries sont des procaryotes. En effet, tout comme le noyau, l'appareil photo synthétique n'est pas séparé du protoplasme par une membrane. Certains éléments cellulaires permettent de caractériser les cyanobactéries. La paroi cellulaire est de type gram négatif bien que la couche de peptidoglycane y soit plus épaisse que chez la majorité des bactéries gram négatives. Le protoplasme périphérique est principalement composé de thylacoïdes et de plusieurs types d'inclusions cytoplasmiques (**Prescott *et al.*, 2003**).

- **phycobilisomes**

Complexes de phycobiliprotéines (qui peuvent être composés de phycocyanines, de phycoérythrocyanines, d'allophycocyanines, ou encore de phycoérythrine). Ils permettent le captage du flux lumineux (en lien avec la photosynthèse et les thylacoïdes) (**De Reviere, 2003**).

- **cyanophycines**

Lieux de stockage du diazote fixé (sous forme de polymères d'arginine et d'acide aspartique) (**De Reviere, 2003**).

- **Des polyglucoses et des gouttelettes lipidiques** (réserves énergétiques) (**Castenholz, 2001**).
- **carboxysomes** (réserve de rubisco, enzyme qui permet la fixation du CO_2) On observe également des vésicules de gaz dont la paroi, exclusivement composée de protéines, est hydrophobe et perméable aux gaz (permet aux cyanobactéries d'ajuster leur flottaison) (**De Reviere, 2003**).

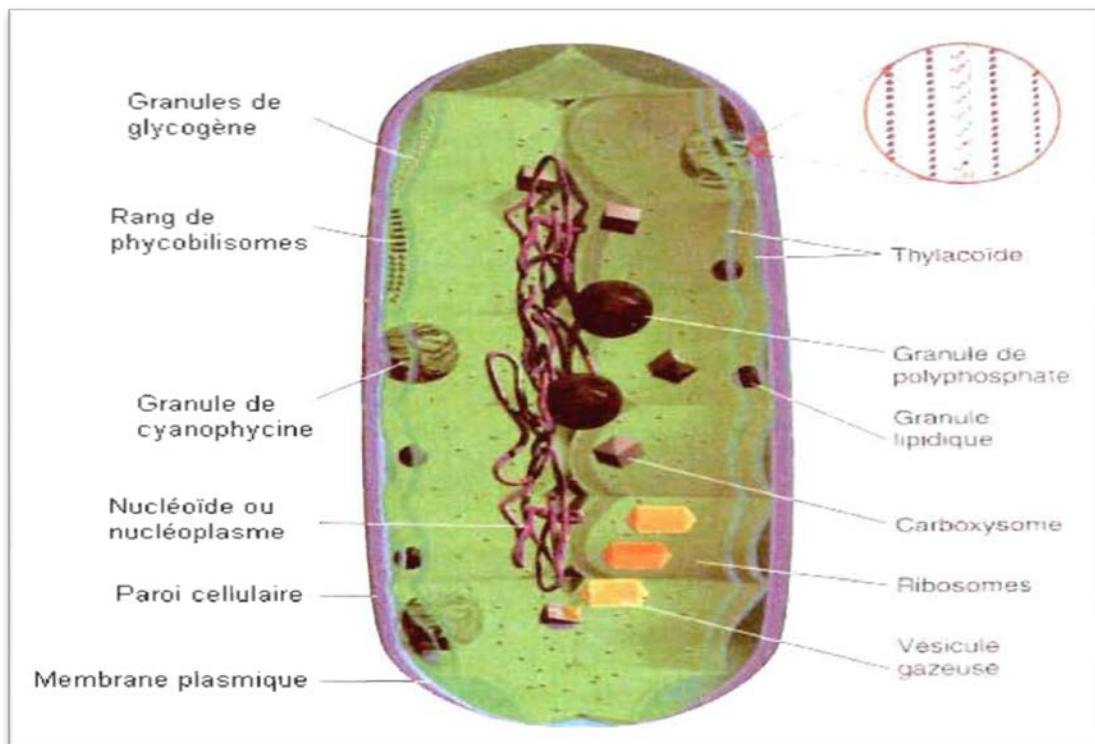


Figure N° 07 : Structure d'une cellule de cyanobactérie (Prescott *et al.*, 2003).

III.2. Organisation morphologique

L'organisation morphologique de ces organismes est très variée : unicellulaires libres ou en colonie, pluricellulaires filamenteux avec une gaine (appelés filaments) ou sans (appelés trichomes), avec ou sans ramification ou encore avec ou sans cellules différenciées. Ces organismes présentent trois types cellulaires différents (Komàrek *et al.*, 2003).

III.2.1. Les cellules végétatives, au contenu peu différencié (en microscopie photonique) sauf lorsqu'elles renferment des vacuoles gazeuses (aérotopes), très réfringentes (responsables de la flottabilité des thalles qui en possèdent), et de couleurs très diverses, conséquence des teneurs respectives en pigments photosynthétiques tels que la chlorophylle a (vert), la phycocyanine (bleu) et la phycoérythrine (rouge) et en substances hélioprotectrices (Komàrek *et al.*, 2003).

III.2.2. Les hétérocystes, à paroi épaisse et au contenu homogène faiblement coloré. Leur forme est sphérique, cylindrique, voire conique. Leur position dans le trichome est soit intercalaire, soit terminale à l'une des extrémités seulement ou aux deux, ou encore latérale (pédicellée). Les hétérocystes sont généralement solitaires mais peuvent aussi apparaître en paire et, plus rarement, en série. La présence, dans les hétérocystes, de la nitrogénase leur confère la capacité de fixer l'azote moléculaire dissous dans l'eau pour le transformer en azote assimilable par la cellule. Les hétérocystes ne sont présents que chez certaines formes filamenteuses et, ce,

seulement lorsque les conditions écologiques nécessaires à leur formation sont réunies (Komàrek *et al.*, 2003).

III.2.3. Les akinètes Ce sont des cellules généralement plus grandes que les cellules végétatives et les hétérocystes. Leur paroi est très épaisse et peut être colorée et ornementée. Leur contenu apparaît rempli de gros granules sphériques ou polyédriques. Leur teneur en ADN est plus importante, de même que celles de la cyanophycine (réserve protéique) et du glycogène (réserve de glucides). Les akinètes sont des cellules de repos, capables de résister à des conditions écologiques très défavorables et qui, après retour à une situation environnementale normale, peuvent germer et redonner un thalle. Les akinètes n'existent que dans certaines structures filamenteuses. Ils sont solitaires ou disposés en série dans le trichome, en position intercalaire ou subterminale, adjacente ou éloignée des hétérocystes (Komàrek *et al.*, 2003).

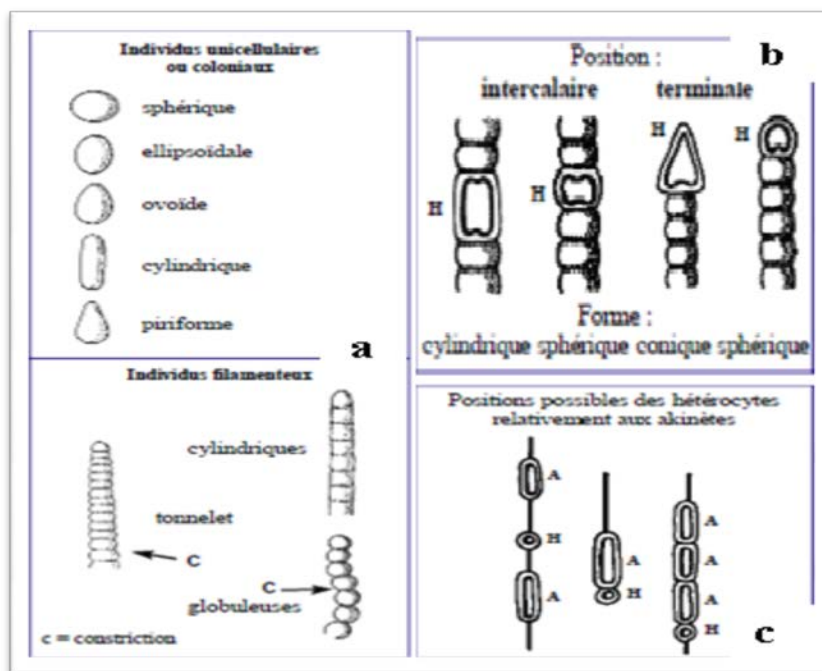


Figure N° 08 : (a) Les cellules végétatives ; (b) Les hétérocystes ; (C) Les akinètes (Komàrek *et al.*, 2003).

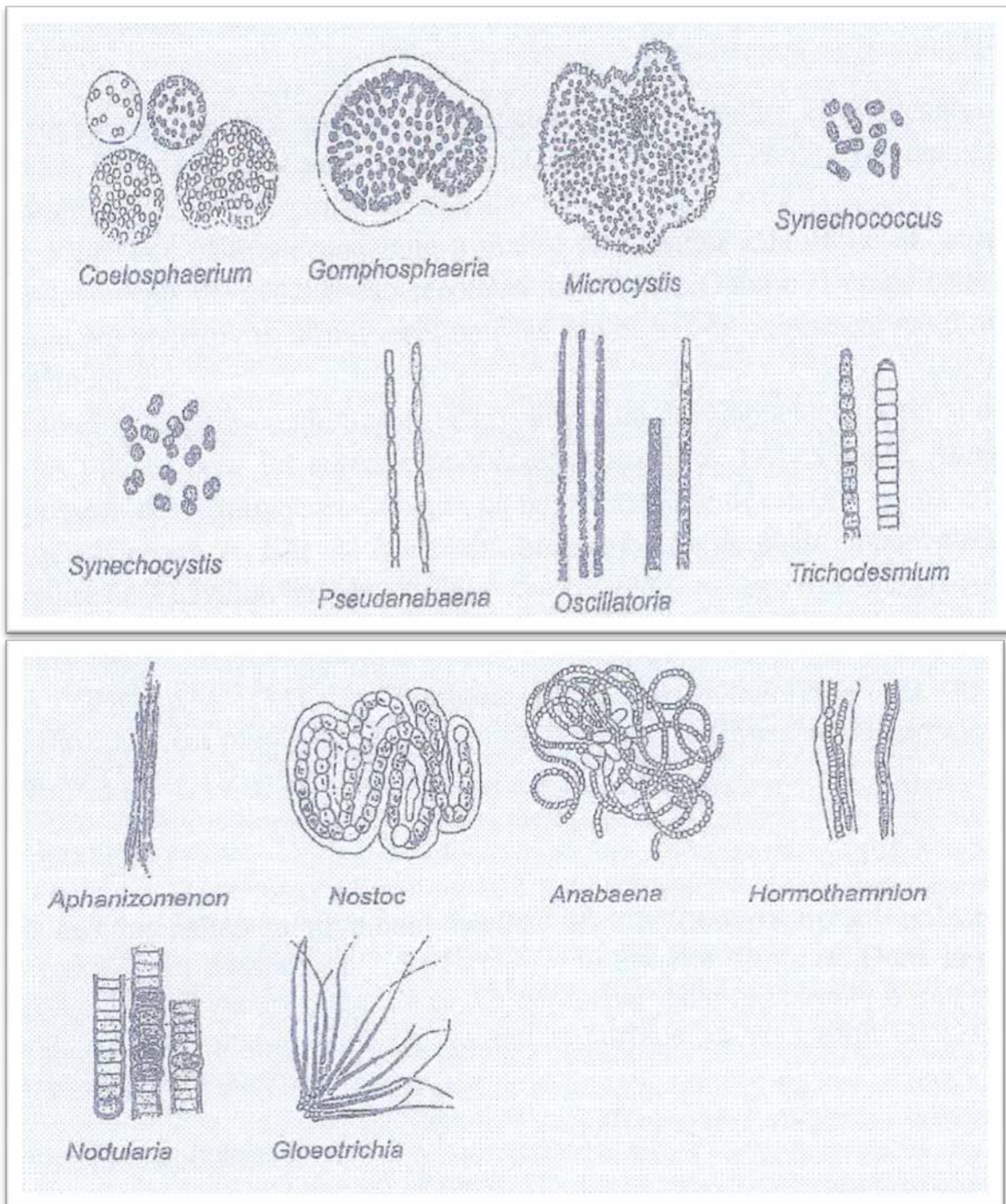


Figure N° 09 : Morphologie des cyanobactéries les plus fréquemment rencontrées (Silvano, 2005).

III.3. Classification

Les cyanobactéries aient des caractéristiques étant propres aux algues (présence de chlorophylle α et produisent de l'oxygène à partir de la photosynthèse) (Gobulic et Soeng Joo, 1999). Leur classification du point de vue systématique se trouve dans le règne des *bacteria* (Garrity *et al.*, 2001). Comme le montre l'arbre phylogénique (Figure N° 10).

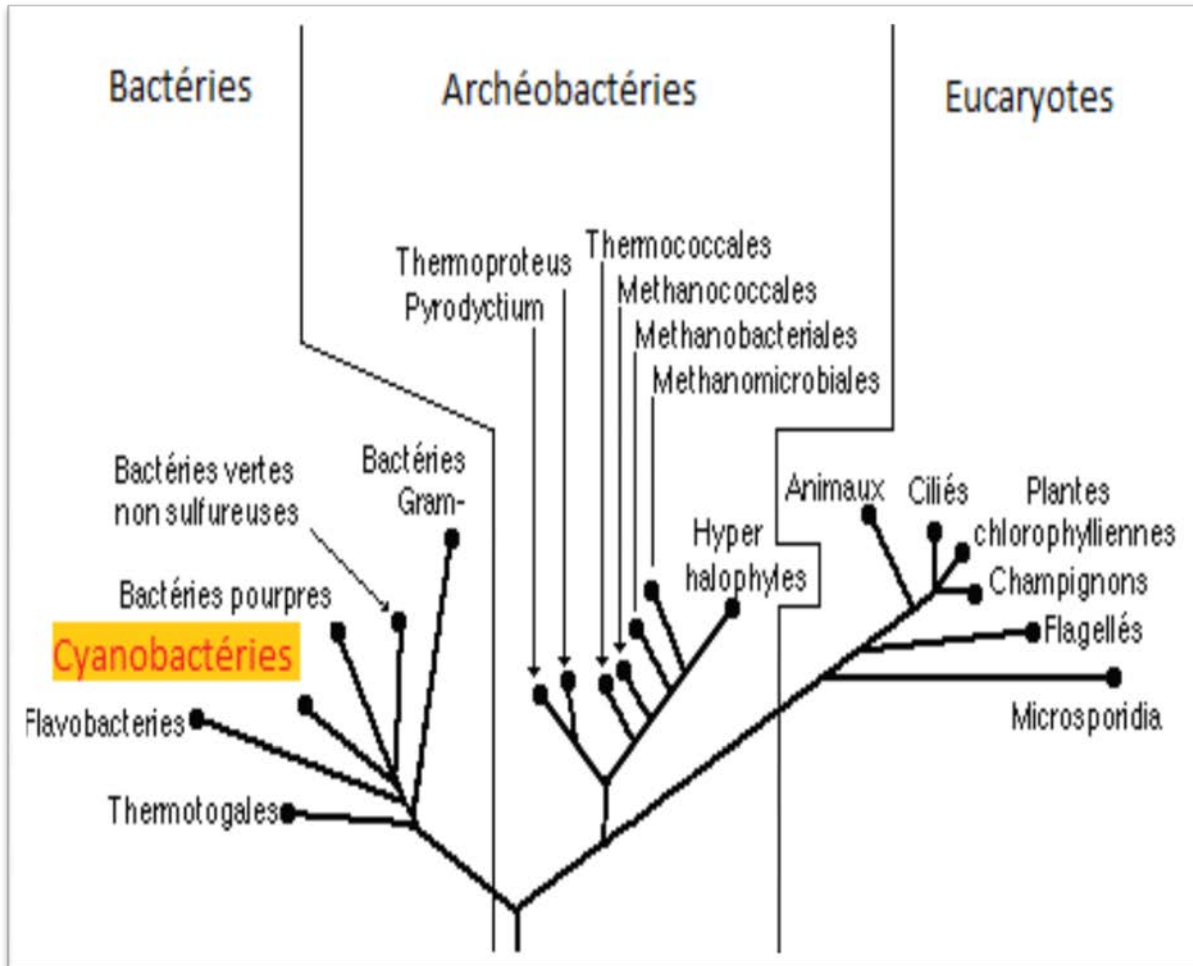


Figure N° 10: Arbre phylogénique de la vie (Woese, 1993).

A ce jour, la classification des cyanobactéries dépend à la fois du Code International de Nomenclature Botanique (I.C.B.N) (McNeill *et al.*, 2006) et du Code International de Nomenclature des Bactéries (I.C.N.B) (Lapage *et al.*, 1992) (tableau N°II). Dans la nomenclature botanique, les cyanobactéries appartiennent toutes à la classe des cyanophycées qui est divisée en quatre ordres (Chroococcales, Nostocales, Oscillatoriales, Stigonématales), eux-mêmes divisés en familles regroupant environ 150 genres et 2000 espèces. Dans la nomenclature bactériologique, les cyanobactéries se répartissent dans 5 sous-sections. La sous-section I comprend les cyanobactéries unicellulaires se divisant par fission binaire

(*Gloeobacter*, *Gloeocapsa*, *Gloeotheca*, *Synechococcus*, *Synechocystis*) ou par bourgeonnement (*Chamaesiphon*) La sous-section II est constituée des cyanobactéries unicellulaires qui se divisent par fission multiple (formation de baeocytes mobiles et immobiles) ou par fission binaire et multiple (*Dermocarpa*, *Xenococcus*, *Dermocarpella*, *Myxosarcina*, *Chroococciopsis*). La sous-section III regroupe les cyanobactéries filamenteuses dépourvues de cellules différenciées (*Spirulina*, *Oscillatoria*, *Pseudanabaena*) et la section IV regroupe les cyanobactéries filamenteuses qui possèdent des cellules différenciées telles que les hétérocystes et les akinètes (*Anabaena*, *Nodularia*, *Cylindrospermum*, *Scytonema*, *Calothrix*). Enfin, la sous-section V contient des cyanobactéries filamenteuses hétérocystées présentant des ramifications vraies (*Chlorogloeopsis*, *Fischerella*). (Lapage *et al.*, 1992 ; McNeill *et al.*, 2006).

Tableau N° II : Classification des cyanobactéries selon les systèmes bactériologiques (Lapage *et al.*, 1992) et botaniques (McNeill *et al.*, 2006)

CLASSIFICATION BACTERIOLOGIQUE	CLASSIFICATION BOTANIQUE
Sous-section I unicellulaires ou coloniales, multiplication par fission binaire et/ou formation d'exospores	Chroococcales unicellulaires ou coloniales
Sous-section II unicellulaires ou coloniales, multiplication par fissions multiples (baeocytes) ou en combinaison par fission binaire	
Sous-section III filamenteuses unisériées, non hétérocystées, sans ramification, à division cellulaire perpendiculaire à l'axe du trichome	Oscillatoriales Filamenteuses unisériées, non hétérocystées
Sous-section IV filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), à division cellulaire dans un seul plan	Nostocales filamenteuses, pas de ramification vraie, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes)
Sous-section V filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), présentant des ramifications, à division cellulaire dans plusieurs plans	Stigonematales filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), présentant des ramifications

III.4. Ecologie

III.4.1. Une bactérie ubiquitaire

On retrouve les cyanobactéries dans la plupart des environnements communs. En eaux douces, mais également en milieux saumâtres et marins. En milieu terrestre, elles sont présentes dans les sols, sur la glace, sur les rochers des hautes montagnes et même dans les déserts (**chorus et J.Bartram, 1999**).

Certaines espèces sont adaptées à des environnements « **extrêmes** » tels que glaciers, sources chaudes ou cendres volcaniques car elles peuvent supporter des températures extrêmes, de pH (eaux carbonatées et tourbières acides), de salinité (lacs hypersalés à oligotrophes). En milieu aquatique, les cyanobactéries sont soit planctoniques ou encore pélagiques si elles prolifèrent en suspension dans une colonne d'eau, soit benthiques quand elles se développent fixées à un support (**Lavoie et al., 2007**).

III.4.2. Symbioses

Certains genres (*Anabaena*, *Nostoc*, *Calothrix*,) peuvent former des associations symbiotiques avec divers organismes tels que des algues (diatomées), des champignons pour former des lichens, des bryophytes (**Solheim et al., 2004 ; Adams et Duggan, 2008**), des ptéridophytes, des plantes (gymnospermes et angiospermes), Les cyanobactéries fournissent à ces hôtes de l'azote et des carbones fixés (provenant réciproquement du N₂ et du CO₂) (**Adams et Duggan, 2008; Lee, 2008**).

III.5. Les pigments photosynthétique

La réalisation de la photosynthèse met en jeu un ensemble de pigments photosynthétiques. Le terme de "pigment" correspond au fait que ces molécules sont colorées, de part leur capacité à capter certaines radiations lumineuses. Les cyanobactéries synthétisent plusieurs types de pigments qui sont : chlorophylle *a* et *c*, phycocyanine, phycoérythrine, et les pigments d'accompagnements β -carotène et des xanthophylles. Certaines espèces ne possèdent que de la chlorophylle. Ces pigments ne sont pas portés par des plastes mais sont diffusés dans le cytoplasme et donnent aux cellules une coloration homogène généralement bleu-vert (**Bourrelly, 1966**).

Cette composition en pigments, spécifique des cyanobactéries, leur permettent d'exploiter le rayonnement solaire disponible sur une plus grande étendue de longueur d'onde comparé aux

autres algues, ainsi la photosynthèse est plus efficace même à faible intensité lumineuse. (**Lavoie et al., 2007**).

III.5.1. chlorophylles

Les chlorophylles sont des pigments verts, présent dans tous les organismes photoautotrophes. Ce sont les pigments les plus important du processus photosynthétique, également appelé *pigments photosynthétiques*. Leur coloration verte est due au fait qu'ils absorbent fortement le bleu et le rouge alors qu'ils réfléchissent le vert. Dans les plantes supérieurs, on retrouve deux types de chlorophylle, la chlorophylle a et la chlorophylle b (**Fox, 1991**).

IV.5.2. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments présentant une coloration jaune orangée. Ils sont capables d'absorber la lumière dans des régions du spectre où la chlorophylle absorbe faiblement et de transférer cette énergie lumineuse vers les pigments de chlorophylle. C'est ce que l'on appelle des *pigments accessoires*. Les caroténoïdes jouent également un rôle photoprotecteur en dissipant l'excès de lumière (**Fox, 1991**).

IV.5.3. phycobiliprotéines

Les phycobillines sont des pigments principalement présents chez les algues rouges et les cyanobactéries. Comme les caroténoïdes, ce sont des pigments accessoires transférant l'énergie vers les chlorophylles. Ils sont divisés en deux grands groupes : Les phycoérythrine caractérisées par une coloration rouge et les phycocyanines donnant une coloration bleue et émettant une fluorescence rouge (**Fox, 1991**).

III.6. Métabolisme

III.6.1. Photosynthèse

Les cyanobactéries sont des organismes photosynthétiques. Leur photosynthèse se déroule majoritairement en aérobie. Les électrons sont alors issus de l'oxydation de l'eau, notamment grâce aux photosystèmes PSI et PSII. Mais certaines cyanobactéries peuvent réaliser la photosynthèse en milieu anaérobie (les électrons sont alors issus de l'oxydation du soufre). La capture du flux lumineux nécessaire à la photosynthèse est assurée dans les thylacoïdes par la chlorophylle a (ainsi que la chlorophylle b et d chez certaines cyanobactéries) et par les

phycobiliprotéines, regroupées en agrégats au niveau de la membrane externe des thylacoïdes) (Lee, 2008).

III.7. Mode nutritionnel des cyanobactéries

Le mode nutritionnel des cyanobactéries peut être de trois types (Reviere, 2003 ; Lee, 2008).

III.7.1. Photolithotrophie stricte

Ces cyanobactéries ne peuvent croître qu'en présence de lumière, leur donneur d'électrons est minéral (H_2O ou H_2S) et leur source de carbone est inorganique (CO_2) ;

III.7.2. Photohétérotrophie

La croissance se fait également en présence de lumière, la source d'électrons est minérale (H_2O ou H_2S), mais ce groupe de cyanobactéries est capable d'utiliser une source de carbone inorganique ou organique ;

III.7.3. Chimiohétérotrophie facultative

Ces cyanobactéries sont phototrophes en présence de lumière, mais leur croissance peut également se dérouler dans l'obscurité en utilisant une source de carbone organique (limitée au glucose, au fructose et à quelques disaccharides (Reviere, 2003 ; Lee, 2008).

IV. Les écosystèmes extrêmes

IV.1. Notions d'environnements extrêmes et d'extrémophile

La croissance et la survie des organismes sont commandées par une série de facteurs physiques et chimiques, tous les deux biotique et abiotique. Un biotope pour un organisme est défini par un intervalle pour chacun de ces différents facteurs environnementaux. C'est donc un espace à n-dimensions, avec des limites supérieures et inférieures pour chacun des facteurs de croissance. Pour pouvoir définir un environnement extrême il faudrait d'abord définir ce qu'est un environnement non-extrême ou normal. Pour cela, un consensus général établit les facteurs physiques et chimiques les plus importants pour un environnement normal. Ces facteurs se situeraient approximativement à des valeurs de température de 4 à 50°C, de pH de 5 à 8,5 et de salinité entre celle de l'eau douce et celle de l'eau de mer (3,5%, p/v). Loin des environnements normaux, la diversité d'espèces diminue et le stress environnemental augmente. Les facteurs de

stress environnemental sont habituellement additifs, l'augmentation d'un facteur, augmente la susceptibilité de l'organisme envers d'autres facteurs. Il y a plusieurs facteurs biotiques qui déterminent la croissance des organismes mais les plus importants sont probablement les sources d'énergie et de nutriments, leur disponibilité, et les capacités métaboliques individuelles (**Kristjansson et Hreggvidsson, 1995**).

Un extrémophile est considéré comme étant un organisme dont les conditions de croissance optimales sont situées en dehors des environnements qualifiés de normaux (**Kristjansson et Hreggvidsson, 1995**).

MacElroy (1974) a mentionné pour la première fois le terme "de limite extrémophile", mais les définitions d'extrême et d'extrémophile sont naturellement anthropocentriques. Beaucoup d'organismes peuvent se développer dans des conditions extrêmes, mais pas nécessairement de façon optimale; ces organismes sont définies comme extrémotrophes (**MacElroy, 1974**).

Le terme extrémophile est le plus souvent employé pour rapporter des organismes procaryotes, puisque la majorité appartient au domaine des *Archaea*. Egalement, plusieurs termes sont utilisés pour décrire les extrémophiles et les extrémotrophes et des sousdéfinitions existent pour les organismes modérément-extrêmes, extrêmes et hyper extrêmes. Ces définitions se focalisent sur une unique extrémophilie environnementale mais beaucoup d'extrémophiles peuvent être classés sous plusieurs catégories, on parle souvent de polyextrémophilie en sachant qu'un environnement est souvent caractérisé par deux, voire plusieurs paramètres extrêmes. Parmi les microorganismes qualifiés d'extrémophiles, on rencontre ceux qui vivent en présence de fortes concentrations de sel(halophiles), ceux qui se développent à des températures froides ou chaudes (psychrophiles et thermophiles), et/ou dans des milieux très acides ou basiques (acidophiles et alcaliphiles) ou sous pressions élevées (**Horikoshi et Bull, 2011**).

IV.2. Intérêt biotechnologique des extrémophiles

Les extrémophiles ont, au cours de l'évolution, développé des stratégies adaptatives très variées. Ils présentent de ce fait un répertoire de voies métaboliques et de biomolécules originales leur permettant non seulement de survivre dans des conditions extrêmes, mais aussi de se développer souvent de manière optimale dans des niches écologiques extrêmes. Les propriétés singulières de certaines de ces biomolécules suscitent de ce fait l'intérêt des chercheurs (**Quérellou et Guézennec, 2010**).

L'étude des extrémophiles fournit de nouvelles clefs à la compréhension des processus de la vie dans des conditions extrêmes et démêle les mécanismes développés par les systèmes biologiques afin d'y faire face. Ces connaissances acquises sont par la suite employées pour développer de nouveaux bioproduits et bioprocédés dans divers champs tels que les industries de produits chimiques, pharmaceutiques, de produits de beauté, de textile, de papier et alimentaire (**Antranikian, 2009**).

IV.3. Thermophiles

IV.3.1. Classification

La température est une variable importante de chaque écosystème. Pour cette raison, la classification des organismes vivants sur la base de leur température optimale de croissance est considérée comme un aspect fondamental de la taxonomie microbiologique (**Wiegel et Canganella, 2001**).

La vie aux températures élevées est classée en forme thermophile ou hyperthermophile. Les thermophiles, sont des organismes vivants à des températures optimales de croissance comprises entre 50 et 80°C, les hyperthermophiles ont des optima au-dessus de 80 °C. La limite inférieure de thermophilie est retrouvée dans peu d'environnements dans la nature et est considérée comme étant la température au-dessus de laquelle il est très rare de retrouver des eucaryotes. La frontière hyperthermophile est arbitraire mais sépare les organismes qui se développent aux températures élevées. Les hyperthermophiles sont également caractérisés par la présence de la gyrase reverse, une enzyme responsable de la stabilisation de l'AND bicaténaire aux températures élevées (**Holden, 2009**).

IV.3.2. Algues thermophiles

La répartition des organismes thermophiles n'est pas seulement une expression de réponses de la température, cependant, mais peut aussi être influencée par la réponse des organismes aux facteurs abiotiques plus subtiles et par diverses dépendances ou des antagonismes avec d'autres populations de la même ou de différents niveaux trophiques (**Peary et Castenholz, 1964, Bauld et Brock ,1974**).

Les communautés de tapis thermophiles se développent dans les sources géothermiques à des températures allant jusqu'à 65 ° C environ (**Ward et al., 1998**). La température est un facteur physique important qui influence fortement le dégagement d'oxygène du photosystème II (PSII), la température dispose d'un certain nombre d'effets sur les membranes de cyanobactéries et

influe la disponibilité des nutriments et de son absorption (**Inoue *et al.*, 2001 ; Murata, 1989 ; Vonshak , 2003**).

IV.3.3. Les cyanobactéries thermophiles

Les cyanobactéries sont le groupe microbien le plus fréquemment rapporté constituant ces tapis et ils sont considérés comme les principaux producteurs primaires dans ces habitats (**Castenholtz, 1973**).

Les sources chaudes de plusieurs environnements mondiales sont colonisées par les cyanobactéries filamenteuses thermophiles appartenant aux genres : *Calothrix*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Pseudanabaena*, *Synechococcus*, *Synechocystis* et *Spirulina*. Les membres de deux genres *Phormidium* et *Synechococcus* sont communément fréquents dans ces habitats thermiques (**Ballot, 2004**).

IV.4. Niches écologiques des thermophiles

Les biotopes les plus communs dans lesquels vivent les thermophiles sont d'origine géothermique généralement associés à des zones tectoniques actives mais on les trouve également dans des biotopes chauds artificiels (**Calteau, 2005**).

IV.4.1. Biotopes naturels

Les environnements naturellement chauffés sont distribués entre les sites volcaniques terrestres (y compris les solfatares), les sources hydrothermales terrestres, les systèmes hydrothermiques sous-marins (sédiments, volcans submersibles, fumerolles, et passages), les sites souterrains, tels que les réserves de pétrole, et les sols chauffés par le soleil (**Oshima et Moriya 2008**).

IV.4.2. Biotopes artificiels

Les thermophiles habitent également les systèmes thermiques artificiels tels que les circuits d'alimentation et les réservoirs d'eau chaude, les centrales nucléaires, les usines géothermiques, les puits et forages de pétrole, le compost et les bioréacteurs (**Ferrera et Reysenbach, 2007**).

IV.4.3. Diversité taxonomique et métabolique des thermophiles

Les thermophiles sont métaboliquement divers et incluent des phototrophes, des chimiotrophes, des autotrophes et des hétérotrophes. Dans les passages hydrothermiques sous-marins, les fluides hydrothermiques contiennent des gaz tels que le CO₂, et des éléments minéraux oxydo-réducteurs (H₂S, S, Fe²⁺) utiles pour les chimiolithotrophes. Les hétérotrophes sont également présents, prospérant sur le carbone organique produit dans cet écosystème. La lumière atteint les environnements hydrothermiques terrestres et marins peu profonds, ce qui rend possible le développement des phototrophes (**Ferrera et Reysenbach, 2007**).

V. Les sources thermales de l'Algérie

Les traces retrouvées dans les stations thermales remontent à l'époque romaine. En effet les romains accordaient une importance très particulière aux sources thermales, très souvent ils construisirent leurs sites autour de ces sources, comme c'est le cas pour les sites suivants : Aquae Mauretaniae Cesarienne (Hammam Righa) ; Aquae Sirenses (Hammam Bouhanifia) ; Aquae Chibilita Nae (Hammam Meskoutine). L'inventaire des sources thermales du nord algérien fait état de l'existence de plus de deux cents (200) sources dont la température varie de 22 °C à 96 °C. L'utilisation principale de ces eaux chaudes est le balneology et dans une échelle plus petite, chauffage de l'espace et de serres chaudes (**Fekraoui et Kedaid, 2005**).

La température la plus élevée enregistrée pour la zone ouest est: 68°C (Hammam Abou Hanifia), 80°C pour la zone centrale (Hammam El Biban) et 98°C pour la zone de l'Est (Hammam Dbegh). Dans la zone sud, il existe des sources thermales avec une température moyenne de 50°C. Ceux sont surtout les régions du nord-est et celle du nord-ouest qui comptent le plus grand nombres de sources thermales (**Saibi, 2009**).

Les faciès dominants de ces eaux sont chloruré-calciques, sulfaté-calciques et bicarbonatés. Leur minéralisation est généralement supérieure à 1 mg/l. Le pH des eaux est généralement proche de la neutralité. Il est à noter que les caractéristiques géochimiques des eaux, nécessaires à une évaluation de la température en profondeur, sont rarement disponibles. Pour cela, des analyses chimiques seront effectuées sur une centaine d'échantillons (**Fekraoui et Abouriche, 1999**).

V.1. Etats des connaissances en Algérie

De par sa superficie et sa biodiversité, l'Algérie représente un immense gisement, sinon un réservoir important pour la recherche et la production de nouvelles sources alimentaires et

énergétiques. Il s'agit des algues microscopiques qui représentent un potentiel important dans la production de protéines, de lipides, de composés chimiques à usage pharmaceutique et dans la production des hydrocarbures. En effet, l'Algérie offre un champ d'investigation très étendu grâce à la variabilité des conditions climatiques auxquels sont soumis ces organismes aquatiques. Par ailleurs, l'Algérie par son réseau hydrographique dispose d'un nombre important d'écosystèmes d'eau douce.

Les eaux chaudes sont très abondantes dans toute la région qui s'étend de Sétif à Constantine et qui atteint Biskra, vers le Sud. Ces sources thermales sont une des manifestations des phénomènes volcaniques qui continuent à se faire sentir sous forme de séismes dans cette partie de l'Est Algérien (**Hélène, 1966**).

Dans ces écosystèmes, les végétaux (microphytes et macrophytes) sont encore peu étudiés. Pour ce qui concerne les microphytes (microalgues et cyanobactéries), quelques études ont été réalisées. Une étude de la composition chimique de ces eaux a été faite en 1940 et 1947, par Simone Guigue, mais la faune et la flore en sont mal connues. H. Gauthier en 1925 a donné une vue d'ensemble de la faune des eaux continentales de l'Algérie, mais n'a pas étudié spécialement les sources chaudes et de plus, n'a jamais signalé de Protozoaires dans ses diagnostics (**Hélène, 1966**). Les thermophiles sont évalués scientifiquement pour leur analogie avec les anciennes formes de vie sur Terre et comme une source de biocomposés thermostables. L'exploration de la biodiversité des cyanobactéries thermophile est donc une étape importante pour atteindre ces objectifs (**Debnath et al., 2009**).

Il apparaît alors nécessaire d'améliorer les connaissances sur ces organismes végétaux et de renforcer les capacités dans ce domaine. Pour cette présente étude, l'accent sera mis sur les microphytes (microalgues et cyanobactéries) qui suscitent une attention particulière à travers le monde du fait d'une part de leur exploitation dans les domaines de production alimentaire (la spiruline) ou énergétique (bioproduction d'hydrogène, biocarburant) et d'autre part à cause de la nuisance de certaines espèces qui secrètent des toxines (*Microcystis aeruginosa*, *Cylindrospermopsis raciborskii*...) (**Debnath et al., 2009**).

En Algérie, jusqu'à ce jour, peu de travaux ont porté sur les microalgues. Parmi les études on peut citer Etude de la Dynamique des Populations Phytoplanctoniques et Résultats Préliminaires sur les Blooms Toxiques à Cyanobactéries dans le Barrage de Ghrib (Ain Defla-Algérie) 76 espèces (**Debnath et al., 2009**).

Matériel et méthodes

Matériel et méthodes

I. Présentation de la zone d'étude

Choix de site d'étude

Pour la réalisation de notre étude, nous avons choisi un site à travers la wilaya de Khenchela

- Hammam Essalhine: (commune d'El Hamma).
- Site: Hammam Essalhine.

La station thermale Hammam Essalhine se situe dans un étroit graben, entouré par des reliefs de tout bord. Dont on peut citer Dj. Aidel au sud, Dj. Aurès et son prolongement Dj Feraoun à l'Ouest de la commune d'EL-Hamma au nord et une chaîne de collines à l'Est. (Berkani, 2011).

La station thermale de Hammam Essalhine (Khenchela) est située dans la commune d'El Hammam, à 7 Km au Nord Ouest de chef de la wilaya de Khenchela dans une dépression montagneuse.

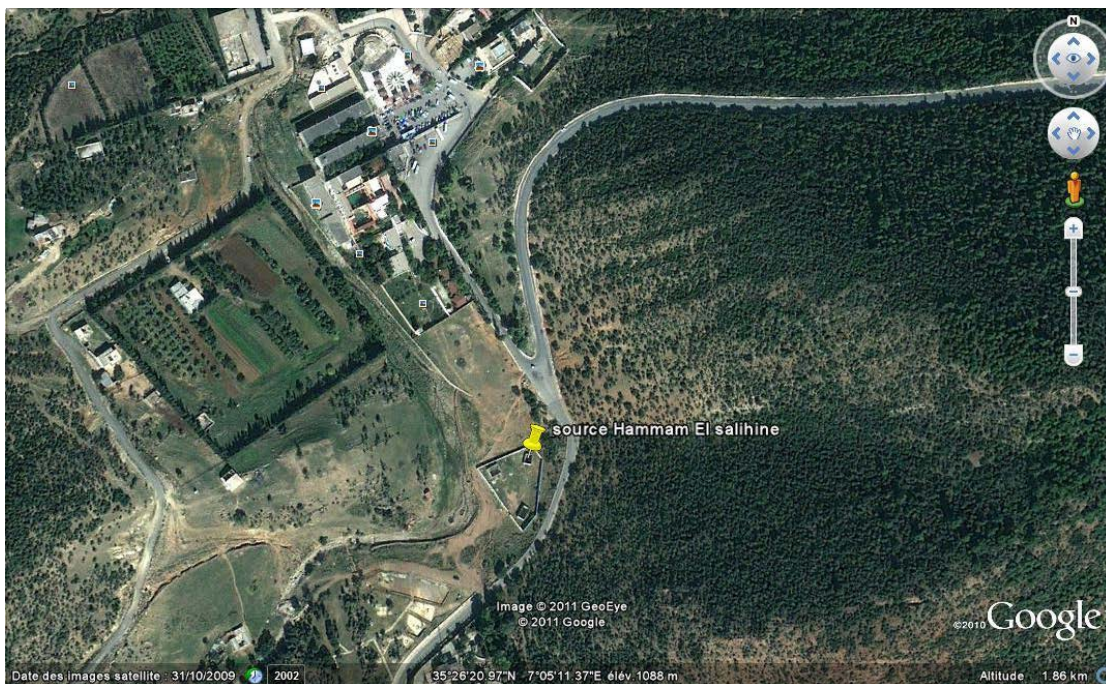


Figure N°11 : Représentation du point d'échantillonnage de Hammam Essalhine Khenchela. (Google earth)

Coordonnées géographiques

- Altitude de 1062m.
- Latitude: 35°26' 17.98" Nord.
- Longitude: 7°05'08.16" Est.

II. Les étapes de l'échantillonnage

II.1. Préparation du matériel

Les échantillons d'eau sont prélevés dans des flacons en verre stériles et bien rincés avec l'eau à échantillonnée.

Comme règle générale, le matériel de terrain consiste en une série de bouteilles d'échantillonnage, une glacière, un échantillonneur (lorsque l'accessibilité au site et la température de site selon la taille du cours d'eau) et des instruments de mesure, tels qu'un multi paramètre, thermomètre et un pH-mètre de terrain.

Le volume des flacons à utiliser ainsi que le volume d'eau à prélever dépendent des paramètres qui doivent être analysés (**Berkani, 2011**).

II.2. Calibrage des appareils

Lorsque des instruments de mesure sont utilisés sur le terrain, leur calibrage est une essentielle à l'obtention de données exacte et précises. Les appareils les plus communément utilisés sont le multi paramètre, le thermomètre, et le pH-mètre (**Berkani, 2011**).

III. Mesure des paramètres in situ de l'eau

Mesure des paramètres (T°, pH) de l'eau sont mesurés in situ au moment du prélèvement.



Photographie N° 1: Multi paramètre (HANNA HI8424).

III.1. Température

La température est mesurée à l'aide d'un thermomètre, la lecture est faite après avoir plongé le thermomètre dans l'eau pendant quelques secondes.

Elle se fait au moyen d'un multi paramètre, un appareil de mesure fournissant des valeurs de température en °C pour connaître la température de l'eau avec une bonne précision.

III.2. pH

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre de terrain ~~KIBANA~~ la mesure est réalisée selon les étapes suivantes:

- Plonger la sonde du pH mètre dans l'eau;
- Attendre quelques secondes la stabilisation de l'affichage sur l'écran, puis lire le résultat de la mesure.

IV. Prélèvement des échantillons

IV.1. Méthode de prélèvement

Le Prélèvement des échantillons d'eau ont été réalisés pendant le mois d'avril 2016, on prélève les échantillons des microalgues, on a 02 sites de prélèvement, et chaque site nous avons pris 03 échantillons, donc on a 06 échantillons de la source thermale Hammam Essalhine. Sur ces échantillons les espèces ont été identifiées au microscope optique.

Permettre d'effectuer en plusieurs façons, selon la taille du cours d'eau et l'accessibilité au site et la température de site. Dans les sources moins chaudes, l'idéal est de se placer au centre du cours d'eau et de remplir les bouteilles à la main, au milieu de la colonne d'eau, en faisant face au courant. Lorsque la température élevée empêche le prélèvement à la main comme c'est le cas dans notre étude, nous utilisons des supports et/ou des gants résistants à la chaleur (**Bouannane et al., 2011**).

Les échantillons d'eau sont prélevés dans des flacons en verre stériles et bien rincés avec l'eau à échantillonnée, de préférence de couleur ambrée afin d'éviter tout dommage mécanique ou thermique potentiel et tenus hors de toute lumière du jour.

Les microalgues planctoniques (flottantes) et fixés (sur des supports) ont été récoltées par prélèvement d'eau à la surface du plan d'eau ou par grattage de la surface de tout support présent au niveau de la station à l'aide d'une brosse. Les échantillons d'eau ont été fixés avec

Une solution de formaldéhyde à 5 % est ajoutée à un volume équivalent à celui de l'échantillon pour avoir la concentration finale de 5%. Il permet une conservation pour une longue durée. Une quantité de Lugol (solution Iodo-iodurée) est aussi ajoutée à l'échantillon jusqu'à ce que celui-ci prenne une teinte jaune clair.

Le Lugol facilite la sédimentation des micro-algues. Les flacons bouchés et agités, sont gardés à 4°C. Les échantillons prélevés ont été maintenus à l'abri de la lumière jusqu'à leur analyse. Sur ces échantillons les espèces ont été identifiées au microscope optique.

IV.2. Transport et conservation des échantillons

Le processus de conservation permet de préserver l'intégrité des échantillons, prélevés entre le moment de l'échantillonnage et celui de l'analyse en laboratoire. Cette étape est nécessaire puisque plusieurs paramètres peuvent subir des modifications physiques ou des réactions chimiques dans le récipient, ce qui altère la qualité originale de l'échantillon. Afin d'obtenir des analyses fiables. Il est recommandé de conserver les échantillons à l'obscurité et à une température de 4 °C (**Berkani, 2011**).

IV.3. Procédures de laboratoire

IV.3.1 Caractères morphologiques choisis

D'après la littérature, plusieurs caractères morphologiques peuvent permettre de distinguer les taxons. Parmi eux nous avons choisis : le type de thalle, la forme du thalle, la forme et l'agencement des cellules, la présence ou l'absence d'enveloppe gélatineuse et l'ornementation.

IV.3.2. Observation microscopique

Un microscope optique, d'objectifs grossissant de 40 et 100 diamètres,. Les accessoires photographiques, bien que non essentiels, pourront permettre de confirmer plus tard des décisions taxinomiques. L'observation de ces algues microscopiques s'effectue aux grossissements successifs 40; 100. Agiter le flacon, prélever une goutte, la déposer sur une lame et recouvrir d'une lamelle; (préalablement nettoyée à l'alcool). Laisser sécher les lames à température ambiante et à l'abri de la poussière: Les lames sont prêtes pour l'observation au

microscope. Pour les espèces formant des amas gélatineux, une portion de touffe a été écrasée entre lame et lamelle dans une goutte d'eau puis observée **Bourrelly (1985, 1968, 1966)**.

IV.4. Taxinomie des microalgues et des cyanobactéries

L'identification des algues et des cyanobactéries est établie par observation de leurs caractères morphologiques à l'aide d'un microscope optique. A partir de la description, des dessins et des dimensions, une identification des espèces a été rendue possible par comparaison de nos données à certains travaux comme ce de : **Bourrelly (1985, 1968, 1966)**.

*Résultats
et discussion*

Résultats et discussion**I. Les propriétés de la source thermique étudiée****Tableau N°III:** Les propriétés de la source thermique étudiée (Rahim ; Saouli. 2016)

Source H. Essalhine	Site (1)	Site (2)
Localisation	35°26'N / 07°05'E	35°26'N / 07°05'E
T (°C) mesuré in-situ	53	42
pH mesuré in-situ	7.07	7.08

I.2. Température et pH

La température est un facteur qui intervient dans le développement et la croissance cellulaire des microalgues. Les microalgues n'ont pas toutes le même comportement vis à vis de la température. Elles peuvent être hypothermales, mésothermales ou encore hyperthermales.

On note que La sources étudiée est caractérisée par une température varie de 42 à 53 et un pH de 7.07, 7.08. Selon Richard 1996, une eau est considérée comme hypothermale si elle possède une température comprise entre 21 et 35°C ; mésothermale dans le cas ou sa température varie de 35 à 45°C et hyperthermale si elle possède une température supérieur à 50°C.

Les données présentées dans le tableau N°III nous permettent de conclure que les deux sites de la source thermique étudiée se caractérisent par des eaux hyperthermales (**Richard, 1996**).

Les eaux de la source thermique Hammam Essalhine, dont le pH est 7.07, 7.08, sont des eaux neutres.

En pratique, cela signifie que les microorganismes thermophiles/hyperthermophiles colonisant ces écosystèmes possèdent des rangs de températures optimales de croissance

II. Résultats d'identification des algues microscopiques et des cyanobactéries

L'identification des espèces d'algues microscopiques et des cyanobactéries est faite en se référant à l'ensemble des clés d'identification de **Bourrelly (1970); Couté (1995)**, les photographies ont été prises avec un appareil photo numérique, équipé d'un microscope optique.

Les résultats d'identification sont exprimés avec les noms de genres et d'espèces pour l'identification de microalgues et des cyanobactéries recueillis à partir de nos prélèvements dans la station thermale de la région d'étude.

Notre recherche des algues microscopiques de deux sites de la source thermale hammam Essalhine nous avons permis de déterminer 25 espèces identifiées qui se répartissent à 17 espèces appartenant à 10 genres de microalgues et 08 espèces appartenant à 06 genres des cyanobactéries.

Tableau N°IV : Classification, des espèces de microalgues recensées dans la région d'étude

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espec
<i>Charophytes</i>	<i>Conjugatophyceae</i>	<i>Desmidiales</i>	<i>Desmidiaceae</i>	<i>Cosmarium</i>	<i>Cosmarium sp</i>
	<i>Klebsormidiopeae</i>	<i>Klebsormidies</i>	<i>Klebsormidiaceae</i>	<i>Klebsormidium</i>	<i>K.flaccidum</i>
<i>Dinophytes</i>	<i>Dinophyceae</i>	<i>Prorocentrales</i>	<i>Prorocentraceae</i>	<i>Proocentrum</i>	<i>P.micans</i>

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espec
<i>Chlorophytes</i>	<i>Zygnematomyceae</i>	<i>Zygnematales</i>	<i>Zygnemataceae</i>	<i>Spirogyra</i>	<i>Spirogyra</i> sp
	<i>Trebouxiphyceae</i>	<i>Chlorellales</i>	<i>Chlorellaceae</i>	<i>Chlorella</i>	<i>Chlorella</i> sp ₁ <i>Chlorella</i> sp ₂
<i>Chrysophytes</i>	<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	<i>Navicula</i> sp ₁ <i>N.minima</i> <i>N.tripunctata</i> <i>N.kotchy</i> <i>N.declivi</i>
		<i>Bacillariales</i>	<i>Bacillariaceae</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia</i> <i>palea</i> <i>Nitzschia</i> sp ₁ <i>Nitzschia</i> sp ₂
		<i>Diatomales</i>	<i>Diatomophyceae</i>	<i>Diatoma</i>	<i>Diatoma</i> sp
		<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthaceae</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes</i> sp
	<i>chrysophyceae</i>	<i>ochromonadales</i>	<i>synuraceae</i>	<i>Paraphysomonas</i>	<i>P .vestita</i>

D'après le tableau IV, nous pouvons dire que notre région d'étude abrite 17 espèces appartenant à 10 genres de microalgues ont été identifiés.

On a quatre Embranchements suivants : *Chlorophytes*, *Chrysophytes*, *Charophyta*, *Dinophytes*.

III. L'analyse du tableau de la classification des microalgues

Nous avons l'embranchement *Charophyta* qui est représenté par deux ordres. L'ordre *Desmidiiales* du apparaît avec une seule famille *Desmidiaceae* qui est représentée par une seul espèce de genre *Cosmarium*, et l'ordre des *Klebsomidies* apparaît avec une seule famille *klebsormidiaceae* qui est représentée par une seul espèce de genre *Klebsormidium*, et se rencontrent dans la classe des *Conjugatophyceae* et la classe des *Klebsormidiopeae* Nous avons recensé 03 espèces pour l'embranchement *Dinophytes* appartient a une seule ordre *Porocentrales* et, la famille des *prorocentracea* est représentée un seul espèce de genre *Prococentrum*

Nous avons recensé 03 espèces pour l'embranchement *Chlorophytes* appartient a 02 ordres. *Zygnematales*, cet ordre présent une seule famille *Zygnemataceae*, est représentée par un genre *Spirogyra* qui est représenté par une seule espèce. Et la classe des *Trebouxiphyceae* apparaît avec une seule famille *Chlorellaceae*, qui est représentée par 02 espèces de genre *Chlorella*.

Nous avons 11 espèces de totales de l'espèce appartient d'embranchement chrysophytes qui comporte 05 ordres *Naviculales Bacillariales Diatomales Achnanthales, ochromonadales* qui appartiennent à une seule classe et chaque ordre représent par une seule famille. Cinq espèces se retrouvent dans genre de *Navicula*. Le genre *Nitzschia* contient 03 espèces, Par ailleurs, une seule espèce a été marquée pour les autres genres *Diatoma, Achnanthes, Paraphysomonas*.

L'embranchement des Chrysophytes est la plus importante, elle est représentée par 11 espèces.

Tableau N°V : classification, des espèces des cyanobactéries recensées dans la région d'étude

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce
<i>Cyanobacteria</i>	<i>Cyanophyceae</i>	<i>Oscillatoriales</i>	<i>Oscillatoriaceae</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>O.princeps</i> <i>O.erythraea</i> <i>Oscillatoria sp</i>
			<i>Gomontiellaceae</i>	<i>Komvophoron</i>	<i>K. sp</i>
			<i>Phormidiaceae</i>	<i>Phormidium</i>	<i>sp</i>
		<i>Spirulinales</i>	<i>Spirulinaceae</i>	<i>Spirulina</i>	<i>subsalsa</i>
		<i>Chroococcales</i>	<i>Chroococcaceae</i>	<i>Chroococcus</i>	<i>minutis</i>
			<i>Nitrospiraceae</i>	<i>Synechocystis</i>	<i>sp</i>

D'après le tableau N°V, nous pouvons dire que notre région d'étude abrite 08 espèces appartenant à 06 genres de cyanobactéries ont été identifiés, ce qui souligne la faible diversité des communautés en développement dans la zone d'étude.

IV. L'analyse du tableau de la classification des cyanobactéries

Nous avons compris 08 espèces et 06 genres de *Cyanobacteria*, Cette embranchement est la plus importante. Qui comporte 03 ordres, *Oscillatoriales*, Cet ordre

présent trois familles *Oscillatoriceae* avec 03 espèces recensées appartient à un seul genre *Oscillatoria* et famille *Phormidiaceae* avec une seule espèce appartient à un seul genre *Phormidium*, et aussi la famille *Gomontiellaceae* possède une seule espèce appartient à un seul genre

L'ordre *Spirulinales* représentée une seule espèce qui se retrouve dans genre des *Spirulina* et l'ordre *Chroococcale* est représentée deux genres, Le genre *Chroococcus* contient une seule espèce et le genre *Synechocystis* est représenté par une seul espèce.

Le recensement des microalgues totalise 17 espèces et des cyanobactéries totalise 08 espèces de la région d'étude.

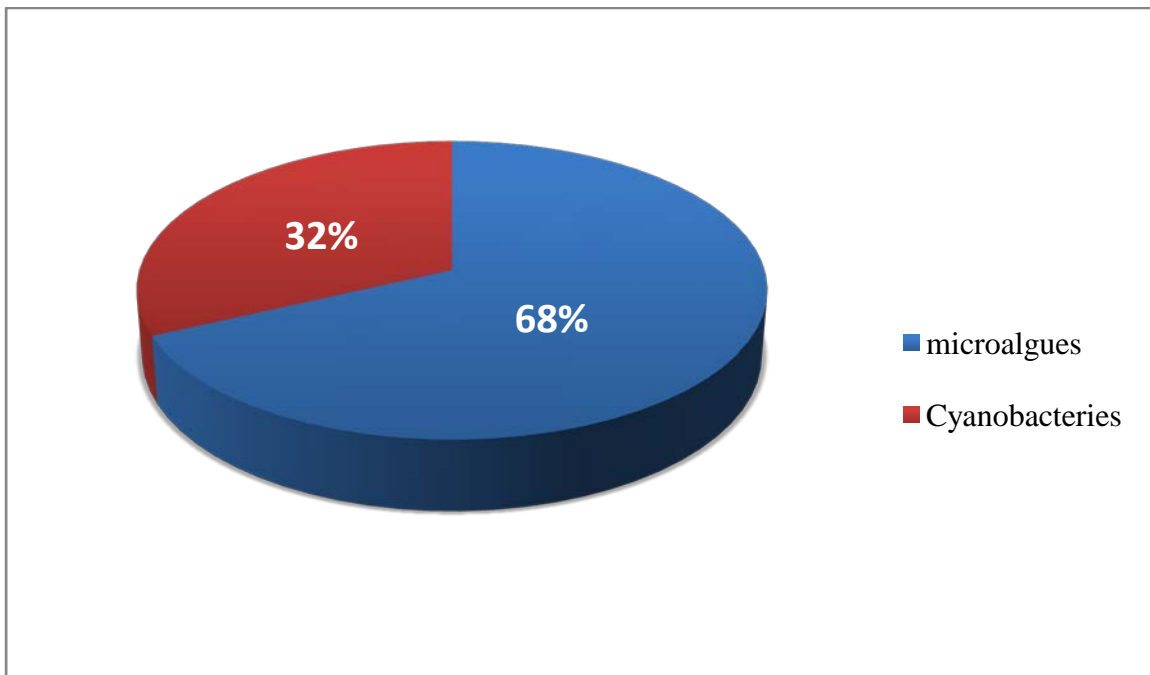


Figure N°12: Pourcentage des microalgues et cyanobactéries récoltés dans la source thermale Khenchela.

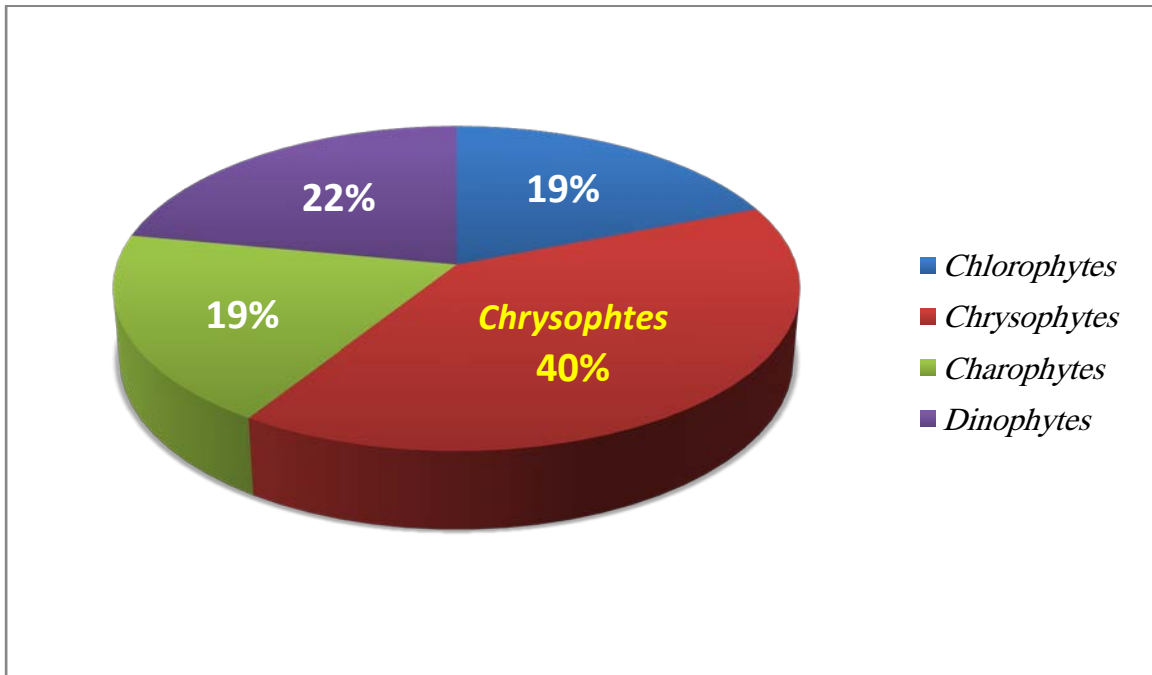


Figure N°13 : Pourcentage des différents embranchements de microalgues.

Les résultats de la figure N°13, marquent que l’embranchement prédominant est les Chrysophytes, Il représente 40 % de l’ensemble des embranchements composant le peuplement des microalgues au niveau du la source thermique de kenchela.

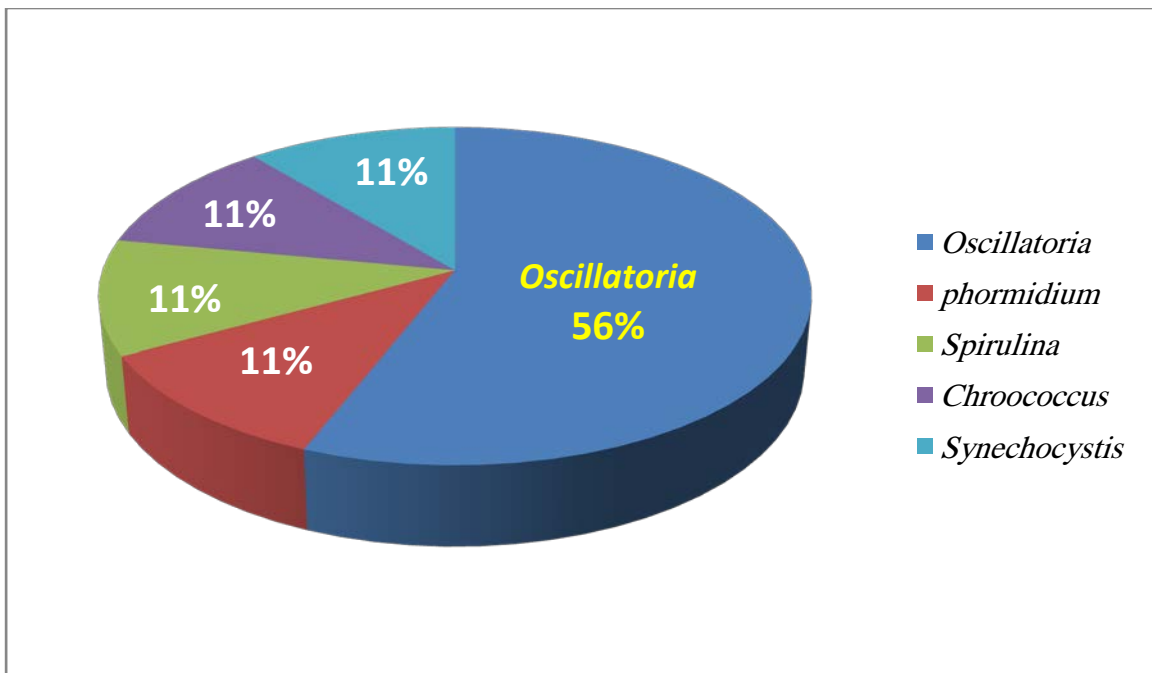


Figure N°14 : Pourcentage des principaux genres de Cyanobactéries récoltés dans la source thermique kenchela.

Les résultats de la figure N° 14, montrent que le genre *Oscillatoria* est prédominant Il représente 56% de l'ensemble des genres composant le peuplement des Cyanobactéries au niveau de la source étudiée.

Tableau N°VI : Caractères principaux des genres de cyanobactéries rencontrés

Les résultats consignés dans le tableau N°VI ont été obtenus grâce à l'étude morphologique des différents genres de cyanobactéries rencontrés

Genre	<i>Chroococcus</i> <i>Synechocystis</i>	<i>Phormidium</i> <i>Oscillatoria</i> <i>Spirulina</i>
Thalle	unicellulaires ou coloniales	pluricellulaire
Forme générale	Bacilles ou coques Agrégats non filamenteux	Filaments, trichomes non ramifiés
Hétérocystes	Non	Non
Mobilité	Presque toujours immobiles	Généralement mobiles
Espèces	<i>Chroococcus minutus</i> <i>Synechocystis sp</i>	<i>Phormidium sp</i> <i>Oscillatoria sp</i> <i>Oscillatoria erythraea</i> <i>Spirulina subsalsa</i>

La forme du thalle permet de séparer les espèces de cyanobactéries recensées en deux groupes **Bourrelly (1985)**.

1- le groupe des espèces à thalle unicellulaire: *Chroococcus minutus*, *Synechocystis sp*

2- le groupe des espèces à thalle pluricellulaire: *Phormidium sp*, *Oscillatoria sp*, *Oscillatoria erythraea*, *Spirulina subsalsa*, *Oscillatoria princeps*, *Komvophoron sp*.

Discussion

Le recensement de la flore algale de la région d'étude de Khenchela, totalise 25 espèces.

Les résultats expriment que la diversité des communautés en développement dans la source thermale est dominée par les *Chrysophytes*.

Le nombre élevé des algues microscopiques montre l'existence d'un certain nombre de conditions facilitant la croissance des espèces dans la station, caractérisée par des eaux thermophiles. La température est un des paramètres les plus importants pour la diversité des espèces des sources thermales. Nous pouvons conclure que les espèces de microalgue en général sont capables de proliférer sous les conditions environnementales des eaux thermales. Les eaux thermales étudiées ont une température de 42 à 53°C. Donc la source est dite hyperthermale, Cette étude montre une grande diversité spécifique de la station thermale (25 espèces).

Cette étude montre la présence de 25 espèces nouvelles des algues microscopiques et des cyanobactéries pour la station thermale Il s'agit de :

-03 espèces de *Chlorophytes* (*Spirogyra sp*, *Chlorella sp*₁, *Chlorella sp*₂).

-11 espèces de *Chrysophytes* (*Navicula sp*, *Navicula minima*, *Navicula tripunctata*, *Navicula kotchyi*, *Navicula declivi*, *Nitzschia sp*₁, *Nitzschia sp*₂, *Nitzschia palea*, *Diatoma sp*, *Achnanthes sp*, *Paraphysomonas vestita*).

- Deux espèces de *Charophytes* (*Cosmarium sp*, *Klebsormidium flaccidum*).

- Un seule espèce de *Dinophytes* (*Prococentrum micans*)

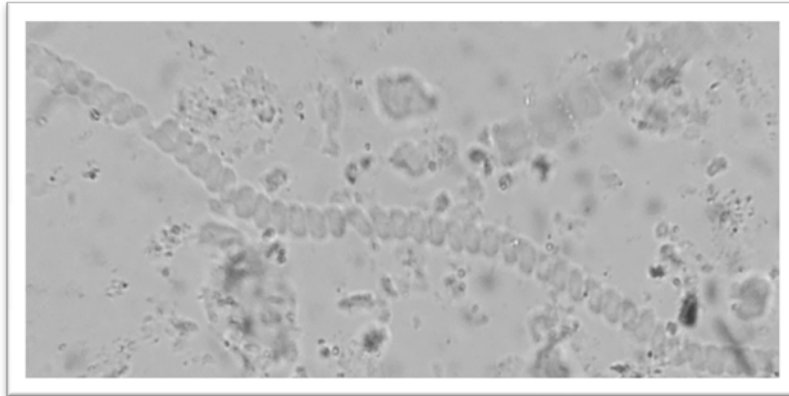
-08 espèces de *Cyanobacteria* (*Oscillatoria princeps*, *Oscillatoria erythraea*, *Oxillatoria tenuis*, *Phormidium sp*, *spirulina subsalsa*, *Chroococcus minutus*, *Synechocystis sp*, *Komovophoron sp*).

V. Les principaux espèces des microalgues et Cyanobactéries

Les taxons vont maintenant être décrits :

***Spirulina subsalsa* (Geitler, 1932).**

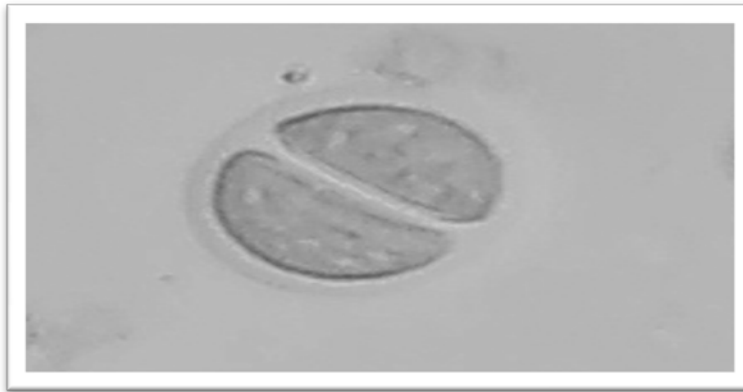
Sous microscope, elle se présente sous forme filamenteuse avec trichomes étroitement enroulés spirales présentant les caractères suivants : non ramifié; sans hétérocyste; sans gaine visible.



Photographie N° 02: *Spirulina subsalsa* (G100).

Chroococcus minutis

Cellules de 4,8-5,1 um, entourées d'une gaine mucilagineuse.



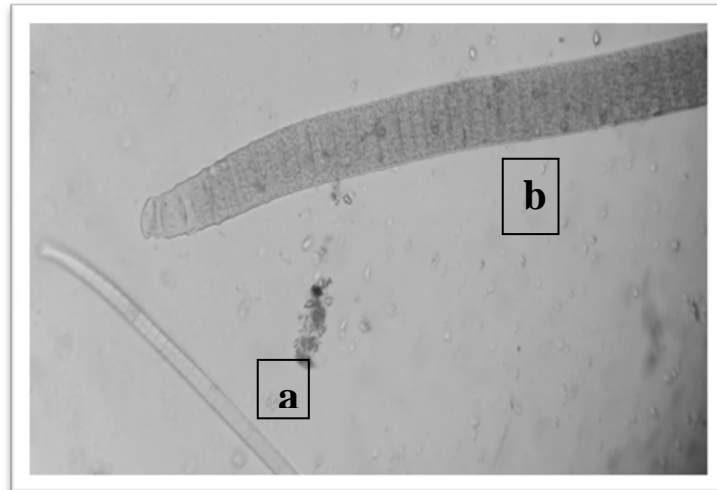
Photographie N° 3: *Chroococcus minutis* (G40).

***Oscillatoria* (Castenholz, 2001).**

Cyanobactérie filamenteuse, Trichomes souvent mobiles, absence des hétérocystes ou akinètes pas de gaine persistante.

Oscillatoria erythraea

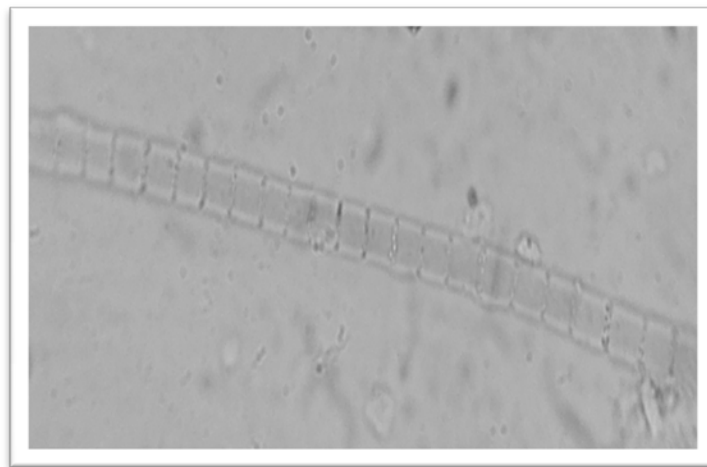
Trichomes non spiralés cellules toutes semblables (pas d'hétérocyste) différenciation apicale



Photographie N° 4: *Oscillatoria erythraea* (a) et *Oscillatoria Princeps* (b) (G40).

Oscillatoria sp

Est un assemblage de cellules discoïdes recouvertes par une membrane externe ; de diamètre 30 μm



Photographie N° 5: *Oscillatoria sp* (G100).

Spirogyra sp.

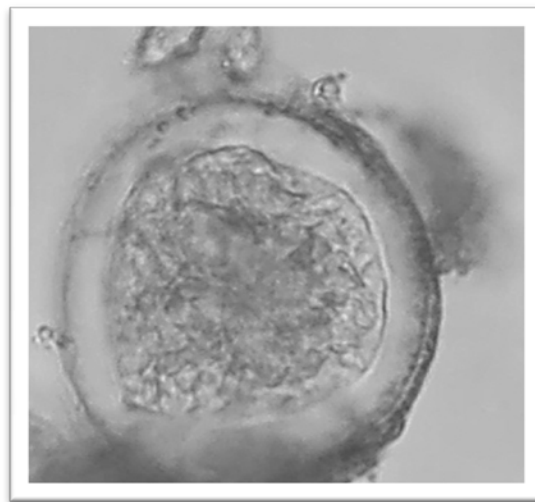
Microalgue verte, pas de ramification, chloroplaste en forme hélice « rubané ».



Photographie N° 6: *Spirogyra sp* (G40).

***Pyrophacus sp* (Balech, 1988).**

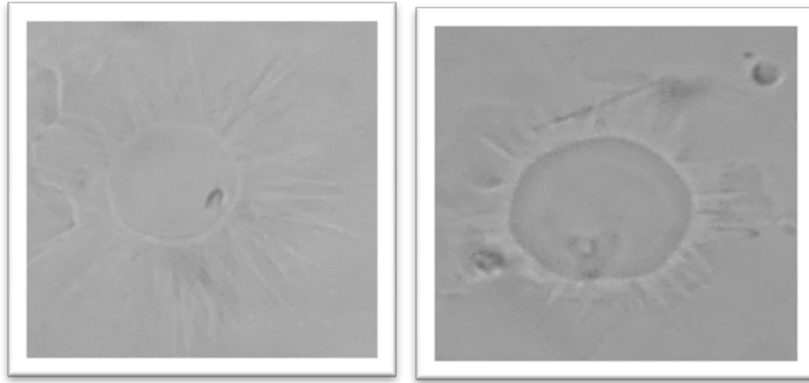
Cellule aplatie, en forme de lentille bi-convexe en vue latérale, Chloroplastes présents , Taille de 40-60 um Genre exclusivement d'eaux tempérées ou chaudes.



Photographie N° 7: *Pyrophacus sp* (G100).

Paraphysomonas vestita

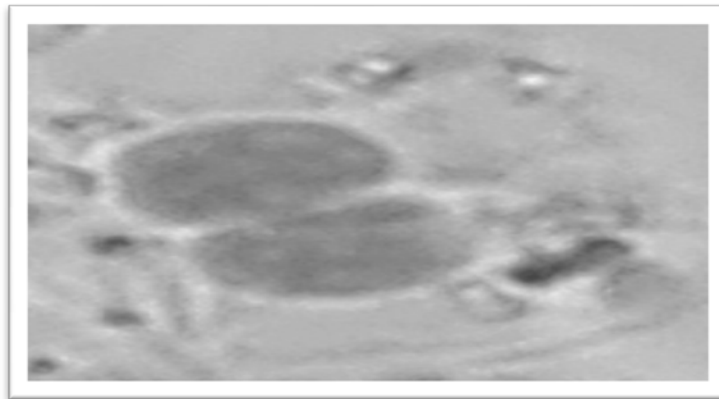
Microalgue de nombreuses échelles ont encerclé la cellule visible par microscopie optique



Photographie N° 8: *Paraphysomonas vestita* (G100).

Synechocystis sp

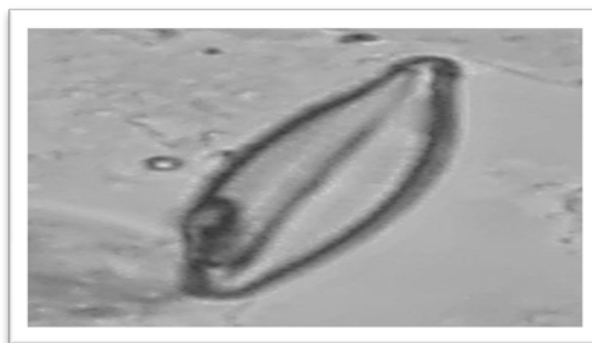
Cellules sphériques sont solitaires libres et dépourvues de gaines gélatineuses.



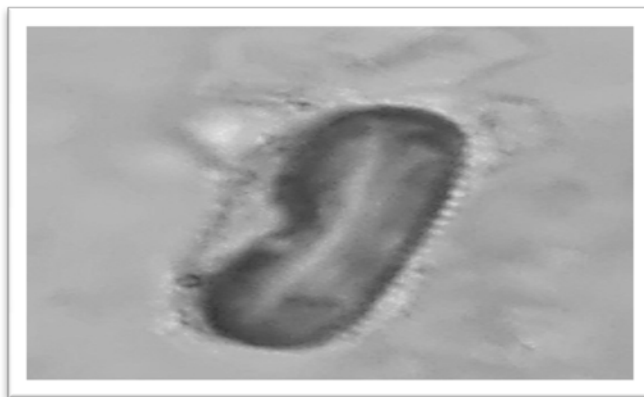
Photographie N° 9: *Synechocystis sp* (G100).

Navicula sp

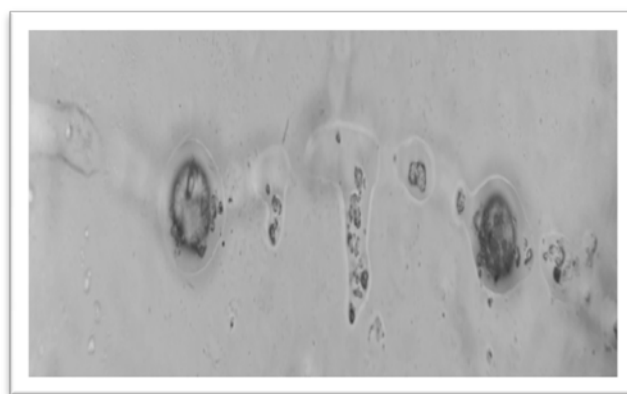
Diatomées pennées, la forme est appelée naviculoid (pôles arrondis)



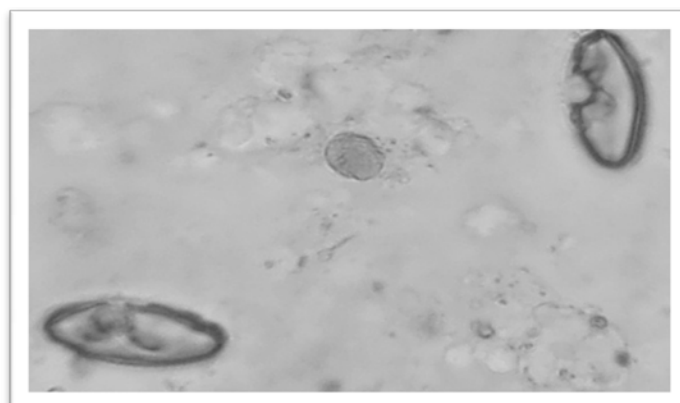
Photographie N°10: *Navicula sp* (G100)



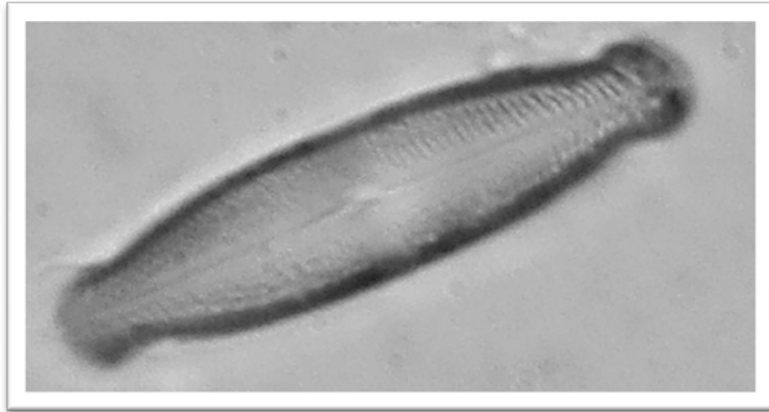
Photographie N° 11: *Achnanthes sp* (G100).



Photographie N° 12: *Chlorella sp₁* (G40).



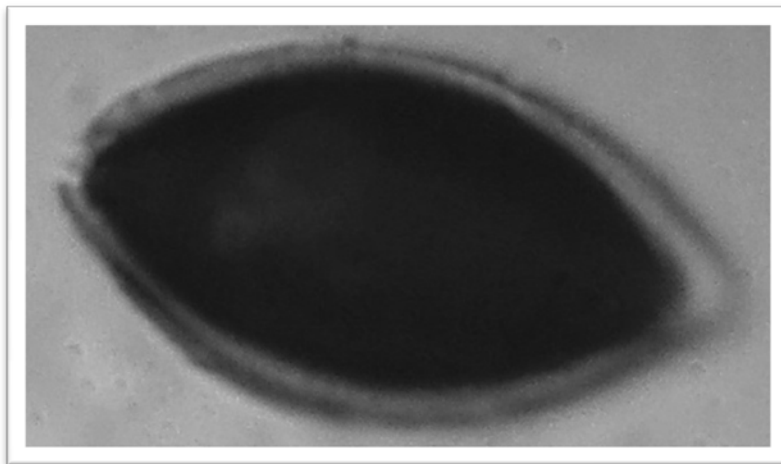
Photographie N° 13: *Navícula minima* (G100).



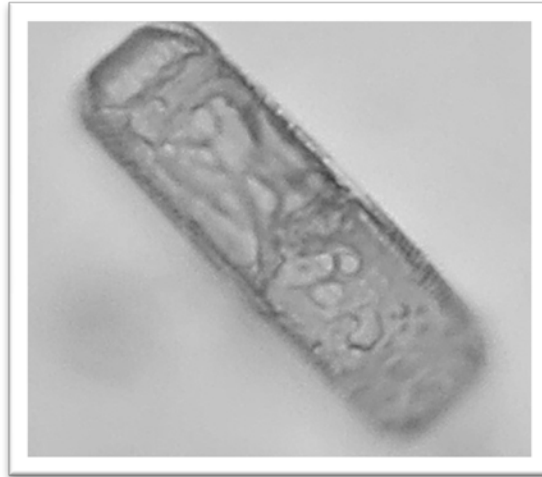
Photographie N° 14: *Navícula kotschy* (G100).

Prococentrum micans

Est une Cellule de forme très variable arrondie, aplatie latéralement.



Photographie N° 15: *Prococentrum micans* (G100).



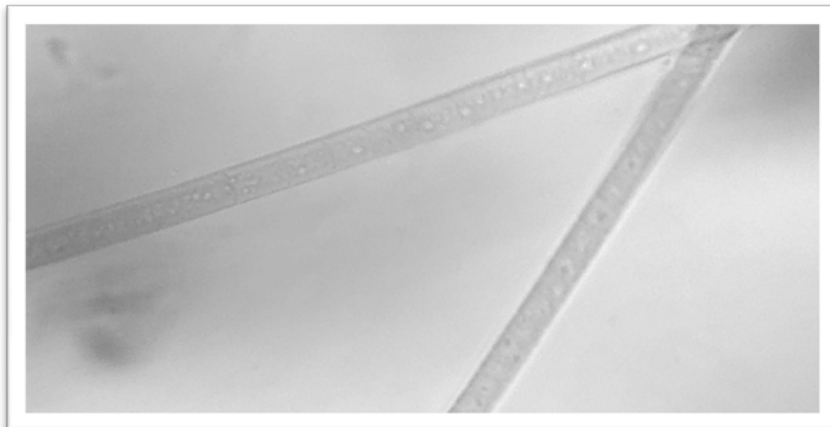
Photographie N°16: *Diatoma sp* (G100).



Photographie N°17: *Nitzschia palea* (G100).

Phormidium sp (Castenholz, 2001).

Un seul trichome par gaine, les hormogonies sont mobiles



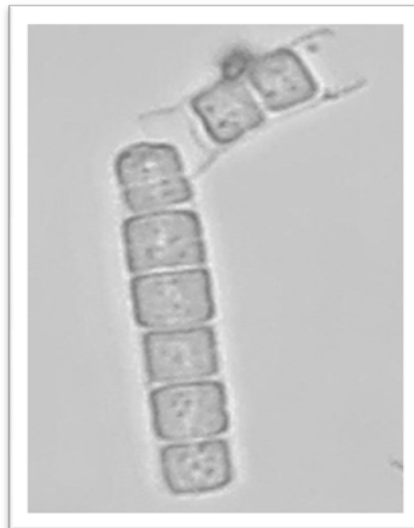
Photographie N° 18: *Phormidium sp* (G40).



Photographie N° 19: *Chlorella sp*₂ (G100).

Komvophoron sp

Trichomes courts entouré d'une couche mucilagineuse, des cellules en forme de cylindre avec, marge concave.



Photographie N° 20: *Komvophoron sp* (G40).



Photographie N° 21 : *Navicula declivi* (G100).

*Conclusion
et perspectives*

Conclusion et Perspectives

Ce travail a été initié dans le but de contribuer à une identification de la biodiversité des cyanophytes et des micro-algues associées à la source thermale de *Hammam Essalhine* de la wilaya de Khenchela. Cette étude a été menée par une étude morphologique suivie d'un inventaire et une estimation de la richesse spécifique à cette station thermale.

L'étude morphologique a permis d'identifier 25 espèces d'algues et de Cyanobactéries dont 17 espèces appartenant à 10 genres de microalgues ; répartie en quatre Embranchements *Chlorophytes*, *Chrysophytes*, *Charophyta*, *Dinophytes*. Dans l'embranchement *Charophyta* qui est représenté par deux ordres. L'ordre *Desmidiales* apparaît avec une seule famille *Desmidiaceae* qui est représentée par une seul espèce de genre *Cosmarium*, et l'ordre des *Klebsomidies* apparaît avec une seule famille *klebsormidiaceae* qui est représentée par une seul espèce de genre *Klebsormidium*, et se rencontrent dans la classe des *Conjugatophyceae* et la classe des *Klebsormidiopeae*

Nous avons recensé 03 espèces pour l'embranchement *Chlorophytes* appartient a 02 ordres.

Nous avons identifié 08 espèces et 06 genres de Cyanobacteria , Cette embranchement est la plus importante qui comporte 03 ordres, Oscillatoriales, Cet ordre présent trois familles Oscillatoriceae avec 03 espèces recensées appartient à un seul genre Oscillatoria et famille Phormidiaceae avec un seul espèce appartient à un seul genre Phormidium et la famille Gomontiellaceae avec un seul espèce appartient à un seul genre, l'ordre Spirulinales représentée un seul espèce qui se retrouve dans genre des Spirulina et l'ordre Chroococcale est représentée deux genres, Le genre Chroococcus contient un seul espèce et le genre Synechocystis est représenté par une seul espèce.

Cette diversité algale de 25 espèces semble être élevée si on prenait le facteur température comme référence décisive. Parmi ces espèces, la majorité est nouvelle pour l'Algérie indiquant que peu d'études ont concerné les microalgues du pays comme d'ailleurs de presque tous les pays d'Afrique. Les résultats de cette étude traduisent aussi que l'Algérie possède dans l'ensemble une flore algale intéressante et diversifiée en particulier celle appartenant aux cyanobactéries. Ces résultats permettront de renforcer les connaissances sur les microalgues du Khenchela en particulier et l'Algérie en général. L'embranchement des algues microscopique est la plus importante, elle est représentée par 08 espèces.

A partir de ce travail, quelques perspectives peuvent être envisagées afin de compléter cette étude :

- ✚ Poursuivre l'identification des espèces récoltées dans le site d'étude : source thermale de Hammam *Essalhine*;
- ✚ Procéder à l'illustration (photos, dessins) des espèces identifiées ;
- ✚ Décrire et d'identifier les espèces de diatomées ;
- ✚ Extraire et purifier les molécules bioactives produites (enzymes) ;
- ✚ Confirmer l'identification de ces souches par des tests chimiotaxonomiques et des analyses phylogénétiques.

*Références
bibliographiques*

A

Adams, DG., Duggan PS. (2008). Cyanobacteria-bryophyte symbioses. *J Exp Bot.* 59(5): 1047-58p. Review.

A.I.E.A. (2005). Radiological Conditions at the Former French Nuclear Test Sites in Algeria: Preliminary Assessment and Recommendations. STI/PUB/1215, Austria.

Anneville, O., Kaiblinger, C., Tadonléké, R.D., Druart, J.C. et Dokulil, M.T. (2008). Contribution of Long-Term Monitoring to the European Water Framework Directive Implementation. Proceedings of Taal 2007 : The 12th World Lake Conference. Sengupta, M. et Dalwani, R. (eds). 1122-1131p.

Antranikian, G. (2009). Extremophiles and Biotechnology in: Encyclopedia of Life Sciences (ELS). John Wiley and Sons, Ltd: Chichester; 1-5p.

Arthrospira, Stizenberger. (1852). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (D. R. Boone & R.W. Castenholz, eds.) 1: 542-543p.

Assunção, P., Jaén-Molina R., Caujapé-Castells, J., Jara, A., Carmona, L., Freijanes, K., Mendoza H. (2011). Phylogenetic position of *Dunaliella acidophila* (Chlorophyceae) based on ITS and *rbcL* sequences. *Journal of Applied Phycology*, 24(4), 635–639p.

Azam, F. et Malfatti, F. (2007). Microbial Structuring of marine ecosystems. *Nature Reviews Microbiology.* 5 : 782-791p.

B

Balech.(1988). et Lindholm,T. (1985). Guide pratique à l'usage des analystes du Réseau National de Surveillance du phytoplancton.

Ballot, A. (2004). Cyanobacteria in Kenyan Rift Valley lakes – A biological and toxicological study. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades des Doktors der Naturwissenschaften (Dr.rer. nat.) eingereicht im Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie der Freien Universität Berlin.

Barranguet, Christiane., Veuger Bart., Sebastien, A.M., Beusekom, Van., Marvan, Peter Sinke Jan J. et Win, Admiraali. (2005). Divergent composition of algal-bacterial biofilms developing under various external factors . *British Phycological Society.* 40: 1–8p.

Bartram J., Carmichael, W.W., Chorus, I., Jones, G., Skulberg, O.M.(1999). Introduction. In Toxic Cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. E and FN Spon, London. 416p.

Bauld, J., and T. D. Brock. (1974). Algal excretion and bacterial assimilation in hot spring algal mats. *Journal of Phycology* 10:101-106p.

Becerra-Celis G., G. Hafidi, S. Tebbani., D. Dumur and A. Isambert.(2008). « Non-linear predictive control for continuous microalgae cultivation process in a photobioreactor », *ICARCV 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, Hanoi, Vietnam, December 17-20p.

Behrenfeld, M. J., Randerson, J.T., McClain, C.R., Feldman, G.C., Los, S.O., Tucker, C.J., Falkowski, P.G., Field, C.B., Frouin, R., Esaias, W.E., Kolber, D.D et Pollack, N.H. (2001). Biospheric primary production during an ENSO transition. *Science*. 291 : 2594–2597p.

Benemann, J.-R. (2008). Open Ponds and Closed Photobioreactors – Comparative Economics. In Benemann Associates and Manager International Network on Biofixation of CO₂ and Greenhouse Gas Abatement (réd), 5th Annual World Congress on Industrial Biotechnology & Bioprocessing, Chicago, 30 avril, 2008.

Berkani, C. (2011). Etude hydrochimique des sources thermales des Aurès. Mémoire de Master .Département d'écologie.Univ. Khenchela, 23, 24, 47, 51, 52, 53p.

Boisson-Vidal, C., Zemani, F., Calliguirri, G., Galy-Fauroux, I., Collic-Jouault, S., Bordat, P., H. Cousse, E., Neuzil, B. Dufy. (2007). Eau thermale d'avène et dynamique du calcium intracellulaire *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 139, 21-44p.

Bouanane-Darenfed, A., Fardeau, L., Grégoire, P., Manon, J., Kebbouche-Gana, S., Benayad T. (2011). *Caldicoprobacter algeriensis* sp. nov. a New Thermophilic Anaerobic, Xylanolytic Bacterium Isolated from an Algerian Hot Spring, *Current Microbiology*.; 62: 826-32p.

Bourrelly, P. (1966). Les algues vertes, initiation à la systématique, Tome I. Collection Faunes et Flores actuelles, édition Boubée, Paris. 511p.

Bourrelly, P. (1968). Les algues jaunes et brunes, Tome II. Collection Faunes et Flores actuelles, édition Boubée, Paris. 438 p.

Bourelly, P. (1970). Algues d'eau douce; Initiation à la systématique. Tome III : Les Algues bleues et rouges, les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines. Edition N.Boubée et Cie
572 p.

Bourelly, P. (1972). Les Algues d'eau douce ; Initiation à la systématique. Tome I : Les Algues vertes. Edition N.Boubée & Cie, 512 p.

Bourelly, P. (1985a). Les algues d'eau douce, initiation à la systématique », Tome III. Collection Faunes et Flores actuelles, édition Boubée, Paris. 512p.

Bourelly, P. (1985b). Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique. Tome III: Les algues Vertes. Editions N. Boubée et Cie, Paris.

Brookes, J., Regel, R., Shaw, G., Burford, M., Burch, M., Linden, L., Meyn, T., Mcneale, K., Newcombe, G., Rinck-Pfieffer, S., Smith, M. And Ho L. (2004). Reservoir Management Strategies for Control and Degradation of Algal Toxins. AWWA Research Foundation Project 2976, Australia.

C

Cadoret, JP., Bernard, O. (2008). La production de biocarburant lipidique avec des microalgues : promesses et défis. Journal de la Société de Biologie 202:201–211p.

Calteau, A. (2005). Relations évolutives entre les bactéries et les archées hyperthermophiles. Thèse de doctorat en microbiologie, université de Bretagne occidentale, France. 21-23p.

Canter-Lund, H et Lund, J.W.G. (1995). Freshwater Algae : Their microscopic world explored. Biopres Limited, Bristol.

Castenholtz, RW. (1973). Ecology of blue-green algae in hot springs. In: Carr NG, Whitton BA (eds) The biology of blue-green algae. University of California Press, Los Angeles, 379–414p.

Castenholz, RW. (2001). Phylum BX. Cyanobacteria. Oxygenic Photosynthetic Bacteria. In: Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Volume 1: The Archaea and the Deeply Branching and Phototropic Bacteria. Second Edition. G. Garrity, D. R. Boone, and R. W. Castenholz (eds.) Springer-Verlag, New York.

- Castenholz, R.W., Rippka, R., Herdman, M., Wilmotte, A. (2001).** Form- genus I.
- Chisholm, S.W. (1995).** The iron hypothesis : Basic research meets environmental policy. Reviews of Geophysics. 33p : 95RG00743.
- Chisti, Y. (2007).** Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25:294–306p.
- Chorus, I., Bartram, J. (1999).** Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. E & FN Spon: London. 416 p.
- Clément, G., Van Landeghem, H. (1970).** Spirulina: ein günstiges Objekt für die Massenkultur von Mikroalgen. Ber. Dtsch. Bot. Bd. 83 (11): 559-565p.
- Comte Sophie . (2005).** Interactions entre des exopolymères extraits de biomasses épuratoires et les métaux. université de Limoges. Thèse de doctorat.
- Coste, S. (2008).** III. Les algues, In CIRAD. Ecofog.
- Couté, A. (1995).** « Diversité chez les microalgues », Techniques sciences méthodes, génie urbain génie rural, 1, 20-24 p.
- Couté, A., Bernard, C. (2001).** Les cyanobactéries toxiques. In: Toxines d'algues dans l'alimentation, Frémy, J. M. & Lassus, P. (Ed), Ifremer, Brest, 21-37p.
- *D***
- Dabouineau, L. (2004).** Un autre regard sur les algues marines. Le Rôle d'eau. 118, 1-4p.
- Da Silva, A.F., Lourenço, S.O., Chaloub, R.M. (2009).** Effects of nitrogen starvation on the photosynthetic physiology of a tropical marine microalga *Rhodomonas* sp. (Cryptophyceae). Aquatic Botany. 91(4) : 291-297p.
- Debnath, M; Mandal, N. C and Ray. S. (2009).** The Study of Cyanobacterial Flora from Geothermal Springs of Bakreswar, West Bengal, India. Algae Vol. 24(4): 185-193p.
- De La Noüe, J., Proulx, D. (1986).** Intérêt des biomasses d'algues et d'invertébrés obtenues par recyclage. Entropie 130,131: 17-32p.
- De La Noüe, J., Proulx, D., Dion, P., Gudin, C. (1990).** Drugs and chemicals from aquaculture. In: N. DE PAUW et R. BILLARD (eds), Aquaculture Europe '89- Business joins science. EAS spec. publ. 12: 389-418p.

De Reviere, B. (2003). Biologie et phylogénie des algues. Belin (Eds). Tome 1: 1-352 et 2: 1-256p.

Domaizon, I., Viboud, S. et Fontvieille, D. (2003). Taxon-specific and seasonal variations in flagellates grazing on heterotrophic bacteria in the oligotrophic Lake Annecy - importance of mixotrophy. FEMS Microbiology Ecology. 46 :317-329p.

Dufour, P. and Berland, B. (1999). Nutrient control of phytoplanktonic biomass in atoll lagoons and Pacific Ocean waters: studies with factorial enrichment bioassays. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 234 (2): 147-166p.

E

Ettl, H. (1978). Xanthophyceae. Ettl, H., Gerloff, J. et Heynig, H. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.

Ettl, H. (1983). Chlorophyta I (Phytomonadina). Ettl, H., Gerloff, J. Heynig, H. et Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.

Ettl, H. et Gärtner, G. (1988). Chlorophyta II (Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales). Ettl, H., Gerloff, J. Heynig, H. et Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.

F

Fabrice, F. (2010). la production de biodiésel à la partir de micro algues: une technologie immature mais prometteuse.

Falkowski, P.G., Katz, M.E., Knoll, A.H., Quigg, A., Raven, J.A., Schofield, O., Taylor FJR. (2004). The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. Science 305:354–360p.

Falkowski, P.G., Knoll, A.H. (2007). Evolution of Primary Producers in the Sea. China: Elsevier Academic Press.

Falkowski, P.G., Raven, J.A. (1997). Aquatic Photosynthesis. Blackwell Science.

Fay P. (1983). The blue-greens, London; Baltimore, Md., U.S.A.: E. Arnold.

Fekraoui, A. et Abouriche, A. (1999). Ressources Géothermiques du Nord de l'Algérie
Éléments de l'Atlas Géothermique Rev. Energ. Ren. : Vaalorisation. 159-162p.

Ferrera, I., Reysenbach, A.L. (2007). Thermophiles in: encyclopedia of life sciences. John
Wiley and Sons; 1-9p.

Filali, R. (2012). Estimation et commande robustes de culture de microalgues pour la
valorisation biologique de CO₂. Thèse doctorat Sciences et Technologies de l'Information des
télécommunications et des Systèmes, AUTOMATIQUE. HAL.221p.

Fouilland, E. (2012). Biodiversity as a tool for waste phycoremediation and biomass production.
Reviews in Environmental Science and Biotechnology 11:1–4p.

Fox, RD. (1986). Algoculture : la spirulina, un espoir pour le monde de la faim. Edisud, Aix en
provence : 319 p.

Fox, RD. (1999). La spiruline : technique, pratique et promesse. Edisud: 246. ISBN 2-7449-
0100-8. 18-129 p.

Fogg, G.E., Stewart, W.D.P., Fay, P., Walsby, A.E. (1973). The blue-green algae. Academic
Press-London and New York. pp. 9-297p.

Fulks, W., Main, K.L. (1991). The design and operation of commercial scale live feeds
production systems. In: W. FULKS et K.L. MAIN (eds), Rotifer and microalgae
culture systems, proc. US/Asia workshop. The oceanic institute, Hawaiï: 3-52p.

G

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

Garrity, GM., Castenholz, RW., Boone, DR. (2001). Bergey's manual of systematic
bacteriology. Volume 1, The Archaea and the deeply branching and phototrophic Bacteria,
2nd edition.

Gaujous, D. (1995). La pollution des milieux aquatiques : Aide mémoire. 2^{ème} édit. Paris. 40-44p.

Germain, H. (1981). Flore des diatomées : eaux douces et saumâtres. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris.

Gobulic, S. et Soeng-Joo, L. (1999). Early cyanobacterial fossil record: preservation, palaeoenvironments and identification. *European Journal of Phycology*, 34: 342-344p.

Gonzales, J. (1997). ‘Initiation à l’histoire de la médecine‘, Editions Heures de France, 190 p.

Guezzen, A. (2014). Étude de la variation saisonnière de l’activité antimicrobienne des extraits bruts de l’algue brune *Cystoeira stricta* de la côte ouest algérienne, Évaluation de la capacité antioxydante totale. Mémoire Mastre en Biologie aliment université Abou Bekr belkaid-Tlemcen.67p.

H

Harrison, Joe J., Turner Raymond., Lyriam, L . J., Marques R. et Howard Ceri. (2005). Biofilms. *American Scientist* . 93 :508 -515p.

Hélène, M. (1966). Observations sur la faune unicellulaire des eaux chaudes de l'Est Algérien. *Hydrobiologia* V 28(3-4), 577-582p.

Hoek, C.V.D., Mann, D.G. et Jahns, H.M (eds). (1995). Algae. An Introduction to phycology. Cambridge University Press. Cambridge. 623p.

Holden, J.F. (2009). Extremophiles: Hot Environments in *Encyclopedia of microbiology*, 3rd Ed., Schaechter M. 127-146p. Elsevier.

Horikoshi, K., Bull, A.T. (2011). Prologue: definition, categories, distribution, origin and evolution, pioneering studies, and emerging fields of extremophiles in: *Extremophiles Handbook*. Ed. Horikoshi K. 1-12p. Springer.

Howard, A. (1994). Problem cyanobacterial blooms : explanation and simulation modelling. Trans Inst Br Geog NS 19, 213-224p.

Hua, C.W., Chuang, L.T., Yu, P.C, Chen, C.N.N. (2013). Pigment production by a new thermotolerant microalga *Coelastrella* sp. F50. Food Chemistry. 138 : 2071-2078p.

Huang, C.C., Hung, J.J, Peng, S.H, Chen, C.N.N. (2012a). Cultivation of a thermo-tolerant microalga in an outdoor photobioreactor : Influences of CO₂ and nitrogen sources on the accelerated growth. Bioresource Technology. 112 : 228-233p.

Huntley, M.E., Nonomura, A.M., De La Noüe, J. (1989). Algal culture systems. In: M.E. HUNTLEY (ed), Biotreatment of agricultural wastewater. CRC Press, Boca Raton, Florida: 111-130p.

Hutchinson, G. E. (1957). A treatise on Limnology. Vol. 1. Geography, Physico and Chemistry. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1115 p.

J

Iltis, A. (1974). Le phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). Influence de la teneur en sels dissous sur le peuplement algal. Thèse dr. Univ. Paris VI: 1-271p.

Inoue, N., Taira, Y., Emi, T., Yamane, Y., Kashino, Y., Koike, H. et al. (2001). Acclimation to the growth temperature and the high temperature effects on photosystem II and plasma membranes in a mesophilic cyanobacterium *Synechocystis* sp.PCC6803. Plant Cell Physiol.42:1140–8p.

J

John, D.M. (1994). Alternation of generations in algae: its complexity, maintenance and evolution. Biology Review. 69: 275-291p.

Julie, P. (2011). Julie PERSON [Trimatec] Livre turquoise, Algues, fihères du futur Édition Adebitech- Romainville 182p.

K

Kecha, M., Benallaoua, S., Touzel, J.P. (2007). Biochemical and phylogenetic characterization of a novel terrestrial hyperthermophilic archaeon pertaining to the genus *Pyrococcus* from an Algerian hydrothermal hot spring. *Extremophiles*; 11:65-73p.

Kofoid, C.A. (1909). On *Peridinium steinii* Jörgensen, with a note on the nomenclature of the skeleton of the Peridinidae. *Archiv für Protistenkunde*. 16 : 25-47p.

Komárek, J. et J. Kaštovský. (2003). Coincidences of structural and molecular characters in evolutionary lines of cyanobacteria. *Arch. Hydrobiol. / Algolog. Stud.* 109(Cyanobact. Res. 4): 305-325p.

Kornprobst, J.M. (2005). Substances naturelles d'origine marine. 2 volumes TEC et DOC/Lavoisier (Eds). 1-1800p.

Kristjansson, J.K., Hreggvidsson, G.O. (1995). Ecology and habitats of extremophiles. *World J. of Microbiol. and Biotech.*, 11:17-25p.

Kugrens, P. et Clay, B.L. (2003). Cryptomonads. Dans : *Freshwater Algae of North America Ecology and Classification*. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.

L

Lando, D. (2011). Danielle LANDO fAdebiotechj LIVRE TURQUOISE, Algues, filières du futur Édition Adebiotech - Romainville 182 – 2011p.

Lapage, SP., Sneath PHA., Lessel, EF., Skerman VBD., Seeliger HPR., Clark, WA. (1992). International Code of Nomenclature of Bacteria, 1990 revision. American Society for Microbiology, Washington D.C, USA, 199 p.

Lavoie, I., I. Laurion., A. Warren et W. F. Vincent. (2007). Les fleurs d'eau de Cyanobactéries, revue littéraire. INRS rapport n°916, xiii, 124p.

Laura, L. (2011). Laura LECURIEUX-BELFOND [Trimatec] LIVRE TURQUOISE, Algues, filières du futur Édition A debiotech - Romainville 182 – 2011p.

Lee Robert, E. (2008). Phycology (4th edition), Cambridge University Press.

Legrand, J. (2011). Jack LEGRAND [CNRS - Université de Nantes] LIVRE TURQUOISE, Algues, filières du futur Édition Adebioiech - Romainville 182 – 2011p.

Li, Y., Horsman, M., Wu, N., Lan, C.Q. et Dubois-Calero, N. (2008). Biofuels from Microalgae. Biotechnology progress, vol. 24, n° 4, 815-820p.

Luning, K. (1990). Seaweeds. Their environment, biogeography and ecophysiology. Wiley Interscience (Eds). 1-742p.

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), 3476–90p.

Macelroy, R.D. (1974). Some comments on evolution of extremophiles. Biosystems6:74-75p.

Mages Margarete ., Mihaly ,Ovari ., Wolf, v., Tumpling, Jr., Krisztina, Kropfl. (2003). Biofilms as bio-indicator for polluted waters? Total reflection X-ray fluorescence analysis of biofilms of the Tisza river (Hungary). Anal Bioanal Chem . , 378 : 1095 – 1101p.

Margesin, R., Miteva, V. (2011). Diversity and ecology of psychrophilic micro-organisms. Research in microbiology, 162(3), 346-61p.

Mary, I. (2003). Mécanismes moléculaires au stress environnementaux chez la cyanobactérie marine *Prochlorococcus*. Thèse, Université de Rennes I. 1-151p.

Moss, B. (1980). Ecology of Freshwaters. Blackwell Scientific Publications, Oxford. NP.

Mathieu, D. (2011). Daniel MATHIEU, Pôle Trimatec, LIVRE TURQUOISE, Algues, filières du futur Édition A debiotech - Romainville 182 – 2011p.

McNeill, J., Barrie, FR., Burdet, HM., Demoulin, V., Hawksworth, DL., Marhold, K., Nicolson, DH., Prado, J., Silva, PC., Skog, JE., Wiersema, JH., Turland, NJ. (2006). International Code of Botanical Nomenclature (Vienna Code). Regnum Vegetabile 146. A.R.G. Gantner Verlag KG.

Michel, C. (2000). les algues les micro-algues.

Milledge, J. (2010). Commercial application of microalgae other than as biofuels: a brief review. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 1-11p.

Molina Grima, E., Belarbi, E-H., Acien Fernández, F., Robles Medina, A., Chisti, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics Biotechnology Advances 20:491–515p.

Morice, G., Jamma, C. (1992). De l'or vert à la tonne. Sci. et vie 894: 96-99p.

Moss, B. (1998). Ecology of freshwater: Man and medium, past to future. Oxford: Blackwell Science, 557 p.

Murata, N. (1989). Low-temperature effects on cyanobacterial membranes. J.

Mur, L.R., Skumberg, O.M., & Utkilen, H., 1999. Cyanobacteria in the Environment. In : Chorus, I. et Bartram, J. (eds.). Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public Health consequences, monitoring and management. WHO Ed. E& FN SPON. 41-111p.

N

Nakajima, K., Yokoyama, A., Nakajima, Y. (2009). Anticancer effects of a tertiary sulfonium compound, dimethylsulfoniopropionate, in green sea algae on Ehrlich ascites carcinoma-bearing mice. Journal of Nutritional Science and Vitaminology. 55, 434-438p.

Neilan, BA. (2002). The molecular evolution and DNA profiling of toxie cyanobacteria CUIT Issues Mol Biol. 4(1):1-11p. Review.

Noël, G. (2012). Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac Taabo (côte d'ivoire).

Nozaki, H. (2003). Flagellated Green Algae. *Dans : Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification.* Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.

O

Oshima, T., Moriya, T. (2008). A preliminary analysis of microbial and biochemical properties of high-temperature compost. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1125:338-344p.

Ott, D.W. et Oldham-Ott, C.K. (2003). Eustigmatophyte, Raphidophyte and Tribophyte Algae. *Dans : Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification.* Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.

Oyadomary, J. (2005). Algal images. In *Keweenawalgae.mtu.edu*.

P

Padisák, J., Borics, G., Grigorszky, I. et Soróczki-Pinter, E. (2006). Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive the assemblage index. *Hydrobiologia.* 553 : 1-14p.

Peary, J. A., and R. W. Castenholz. (1964). Temperature strains of a thermophilic blue-green alga. *Nature* 202:720- 721p.

Pflug, H.D. (1987). « Sur les premières traces géologiques de la vie », In: *Aux origines de la vie*, Fayard (ed.), Paris, 51-103p.

Potain, P. (2011). Philippe POTIN [CNRS - SB Roscof/] *LIVRE TURQUOISE, Algues, filières du futur* Édition A debiotech - Romainville 182 – 2011p.

Prescott, LM., Haley, JP. et Klein, DA. (2003). *Microbiologie.* De Boeck Université, 2ème éd. Française, traduit de la 5ème édition américaine (2002).

Q

Quérellou, J., Guézennec, J. (2010). Biotechnologie des extrêmophiles. Editions Tech. Ing. BIO580; 1-13p.

R

Reboloso Fuentes, M.M., Acién Fernández, G.G., Sánchez Pérez, J.A., Guil Guerrero, J.L. (2000). Biomass nutrient profiles of the microalga *Porphyridium cruentum*. *Food Chemistry*.70(3) : 345-353p.

Reynolds. C. S. et Melo, S. (2000). Hydroecology of river plankton: the role of variability in channel flow *Hydrol. Process*. 14, 3119-3132p.

Rodier, J. (1984). L'analyse de l'eau. Edit. Dunod. Paris. 1365 p.

Rosowski, J.R. (2003). Photosynthetic Euglenoids. *Dans : Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification*. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.

Rousseau, A. (2006). Les Thallophytes. Cours LS3. 14 p. <http://calamar.univ-ag.fr/deugsv/Documents/Cours/BV-Thallophytes.pdf>. Consulté en Novembre 2006.

S

Saez, A.G., Zaldivar-Riveron, A. et Medlin, L.K. (2008). Molecular systematics of the Pleurochrysidaceae, a family of coastal coccolithophores (Haptophyta). *Journal of Plankton Research*. 30 : 559-566p.

Saibi, H. (2009). Geothermal resources in Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 13:2544–2552p.

Salomoni, C. (1991). Biotrattamento di reflui suinicoli per la produzione di organismi acquatici. *Riv. suinic*. 2: 33-37p.

Salsamo, N., Morabito, G., Buzzi, F., Garibaldi, L., Simona, M. et Mosello, R. (2006). Phytoplankton as an indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps. *Hydrobiologia*. 563 : 167-187p.

Sanders, R.W., Porter, K.G. et Caron, D.A. (1990). Relationship between phototrophy and phagotrophy in the mixotrophic chrysophyte *Poterioochromonas malhamensis*. *Microbial Ecology*. 19 : 97-109p.

Schindler, D.W., Armstrong, F.A.J., Holmm3ren, S.K. and Brunskill, G.J. (1971). Eutrophication of Lake 227, Experimental Lakes Area, northwestern Ontario, by addition of phosphate and nitrate. *J. Fish. Res. Board Can.*, 28: 1763.1782p.

Schindler, D.W. (1974). Eutrophication and recovery in experimental lakes: implications for lake management. *Science*, 184: 897–899p.

Sevrin-Reyssac, J., Blier, R., Dumes, A. and Ouelette, Y. (1996). Epuration du lisier de porcs par des cultures intensives de micro-algues. *Bull. Ecol.* 35 : 41-68p.

Sharma Naveen Kumar, Rai A.K., Singh, S., Brown, R.M. (2007). Airborn algae: their present status and relevance, *Journal of Phycology*, 43(4), 615–627p.

Sialve, B., Bernet, N., Bernard, O. (2009). Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel sustainable. *Biotechnology advances* 27:409–416p.

Silvano. (2005) .Centre de Ressources Technologiques en Biotechnologie – Bioprocédés (99/05).

Skulberg, O.M. (1996). Toxins produced by cyanophytes in Norwegian inland watershealth and environment. In : *Chemical data as a basis of geomedical investigations*. ed. Lag. J., the Norwegian Academy of Sciences and Letters, Oslo. 131-148p.

Soeder, C.J., Pabst, W. (1970). Gesichtspunkte für die Verwendung von Mikroalgen inder Ernährung von Mensch und Tier. *Ber. Dtsch. Bot. Bd.* 83 (11): 607-625p.

Solheim, A.L. (2005). Reference Conditions of European Lakes. Indicators and methods for the Water Framework Directive Assessment of Reference conditions. Version 5. REBECCA Working Group. 105 p.

Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 101, 87-96p.

Starmach, K. (1974). Cryptophyceae, Dinophyceae, Raphidophyceae. *Flora Slodkowodna Polski. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa*.

Stengel, E. (1970). Anlagentypen und Verfahren der technischen Algenmassen produktion. *Ber. Dtsch. Bot. Bd. 83 (11): 589-606p*.

Stickney, HL., Hood, RR., Stoecker, DK. (2000). The impact of mixotrophy on planktonic marine ecosystems. *Ecol. Model.*, 125 (2-3): 203-230p.

Sun, Z., Peng, X., Liu, J., Fan, W.K., Wang, M., Chen, F. (2010b). Inhibitory effects of microalgal extracts on the formation of advanced glycation endproducts (AGEs). *Food Chemistry*. 120(1): 261-267p.

Sutherland, IW. (2001). The biofilm matrix, an immobilized but dynamic microbial environment. *TRENDS Microbiol* . 9:222–227p.

T

Thurman, H. V. (1997). *Introductory Oceanography*. New Jersey, USA: Prentice Hall college.

V

Vonshak, A. (2003). *Spirulina: growth, physiology and biochemistry*. In: Vonshak A, editor. *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology and biotechnology*. London: Taylor & Francis. 43–65p.

W

Ward, DM., Ferris, MJ., Nold, SC., Bateson, MM. (1998). A natural view of microbial biodiversity hot spring cyanobacterial mat communities. *Microbiol Mol Biol Rev* 62:1353–1370p.

Welch, E.B. (1980). Ecological effects of waste water. Cambridge, Cambridge University Press, 337 p.

Wetzel, R.G. (2001). Limnology : Lake and River Ecosystems. 3rd Edition. Academic Press, London.

Wiegel, J., Canganella, F. (2001). Extreme Thermophiles in; Encyclopedia of life sciences. Wiley Ed. 12P.

Woese, C.R. et Olsen, G.J. (1993). Ribosomal R.N.A. : a key to Phylogeny. *The FASEB Journal*, 7(1):113-123p.

X

Xu, X-Q., Beardall, J., Hallam, N.D. (1998). Modification of fatty acid composition in halophilic antarctic microalgae. *Phytochemistry*. 49(5) : 1249-1252p.

Z

Zeitzschel, B. (1978). Why study phytoplankton ? *In: Sournia A (ed) Phytoplankton manual. Monographs on oceanographic methodology - UNESCO: 1-6p.*

Zubkov, M.V. et Tarran, G.A. (2008). High bacterivory by the smallest phytoplankton in the North Atlantic Ocean. *Nature*. 455 : 224p.

Annexes

Annexe I: Matériels

- Les flacons en verre brun stérilisés au four Pasteur, 1 h à 150°C
- Lugol (solution Iodo-iodurée);
- Formol aldéhyde 5%;
- Chloroforme;
- Glacière.
- Alcool ;
- Les lames et les lamelles ;
- Pipettes pasteurs stériles ;
- Pipettes graduées stériles ;
- L'huile d'immersion;
- un appareil photo numérique, équipé d'un microscope optique;
- Les échantillons.

Annexe II: Fixateurs d'algues

Formaldéhyde: solution à 10%. Ajouter un volume équivalent à celui de la récolte pour avoir la bonne concentration finale: 5%. Dans le cas du formaldéhyde du commerce qui est à 37% (donc diluer d'environ 4 fois pour obtenir la solution à 10%). C'est un excellent conservateur pour une longue durée.

Tableau N° I : Fixateurs d'algues- Formol-

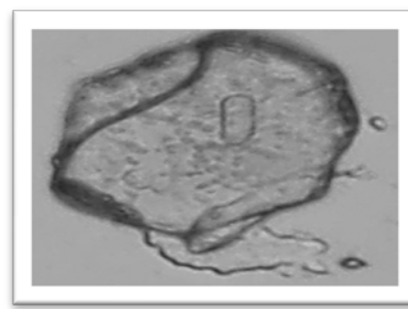
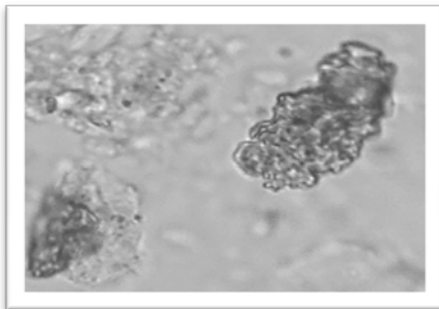
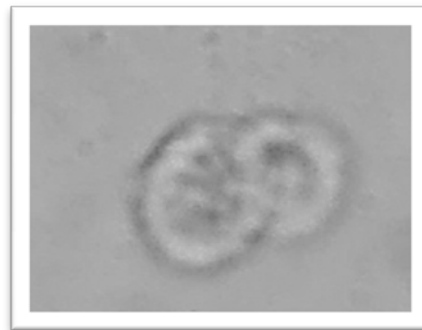
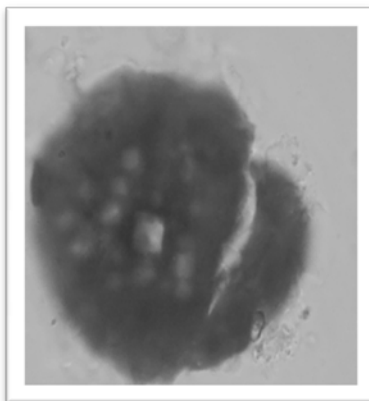
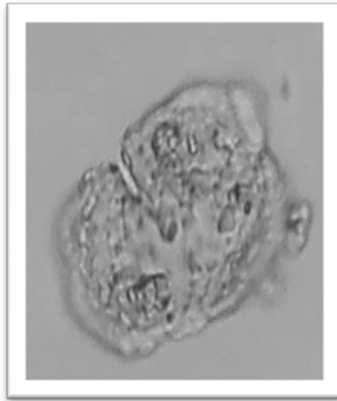
Conservateur	Formol
Composition	Formaldéhyde (37%)
Dosage	Volume: de formol de 2 à 5% de volume final (ex:25ml de formol pour 475 ml d'eau)
Avantages	Incolore; conservation longue durée; peu onéreux; facilement disponible (pharmacies)

Solution de Lugol: La solution de Lugol facilite la sédimentation des micro-algues. Il est coloré en brun. Ses inconvénients majeurs sont qu'il colore toutes les cellules en brun plus ou moins sombre et qu'il ne permet pas un stockage sur de longues périodes.

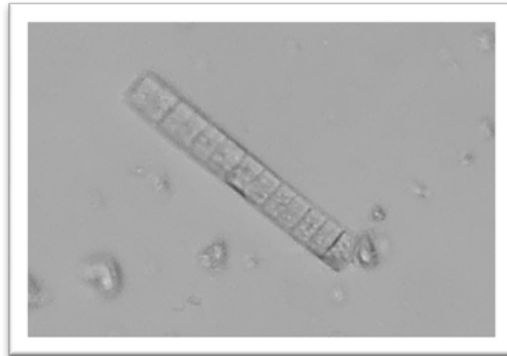
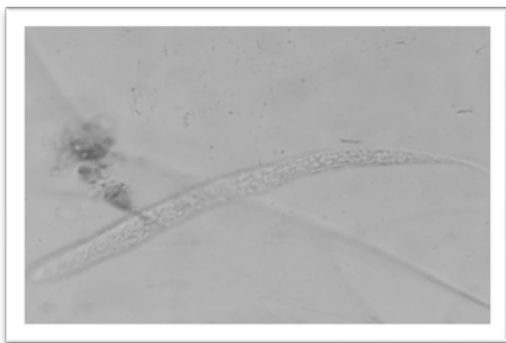
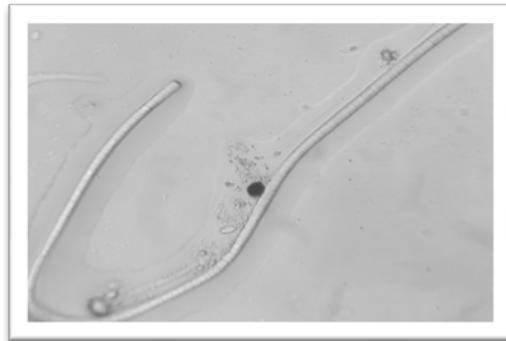
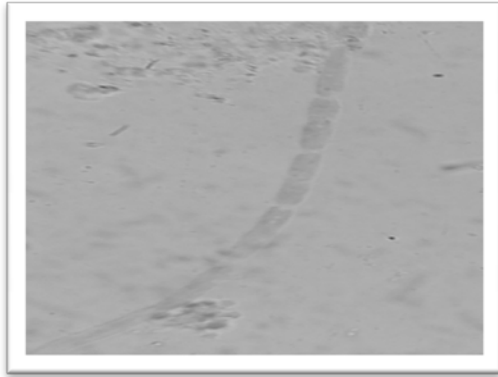
Tableau N° II : Fixateurs d'algues- Lugol-

Conservateur	Lugol
Composition	Préparation commerciale; Ou pour environ 200ml: 20 g d'iodure de potassium 10 g Iode (cristaux) 200 ml H ₂ O 20ml acide acétique concentré ou 10g acide acétique glacial enrober le flacon dans du papier d'aluminium
Dosage	Obtention couleur "thé clair"; 1-2gouttes.100ml ⁻¹ d'échantillon (la coloration est plus ou moins intense selon la densité des organismes)
Avantages	colore toutes les algues; faibles volumes utilisés; très peu onéreux; non toxique; facilite la sédimentation.

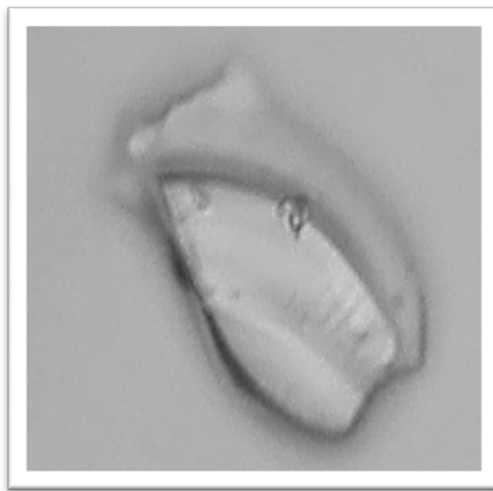
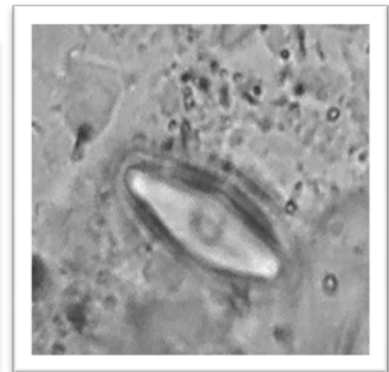
Annexes III : photos des algues microscopiques



Photographie: Espèces non identifiées (G100, G40).



Photographie: Cyanobactérie non identifiées (G100, G40).



Photographie: Diatomées non identifiées (G40).

Résumé

Résumé

Les écosystèmes d'eaux chaudes terrestres présentent des conditions qui sont réputées être difficiles pour toutes les formes de vie. Ce genre d'écosystèmes est nombreux dans l'Est Algérien. Leur exploration permet l'exploitation des frontières de la vie tout en donnant une autre dimension à la biodiversité du monde microbien. La station thermale de Hammam Es Salhine Khenchela (l'Est algérien) présente une température élevée 42-53 °C ce qui la place parmi les écosystèmes extrêmes. Elles se caractérisent par un pH neutre. La source se caractérise par un faciès chloruré sodique où prédomine le chlorure de sodium.

Les Microorganismes photosynthétiques comme les algues (y compris les cyanobactéries) constituent une part non négligeable de la biodiversité

La station thermale de Hammam Essalhine à Khenchela n'a fait l'objet que de quelques études portant sur la biodiversité et l'inventaire des algues microscopiques et des cyanobactéries « algues bleu vert ». Le but de ce travail, et justement fait pour déterminer d'une part la biodiversité des algues et les cyanobactéries de cette retenue ; et d'améliorer les connaissances sur les algues de ses écosystèmes extrêmes.

Le travail a consisté à faire une étude descriptive basée sur des caractères morphologiques suivis d'un inventaire systématiques des espèces rencontrées. L'étude descriptive a permis d'identifier 25 espèces et d'élaborer des clés de détermination au niveau du genre puis au niveau de l'espèce. Les Cyanophytes identifiées se répartissent en 06 genres et 08 espèces, les microalgues 17 espèces, réparties en 10 genres. Les algues microscopiques sont composées par les *Chlorophytes*, *Chrysophytes*, *Charophyta* et les *Dinophytes*.

Nos résultats permettent d'étendre nos connaissances sur les communautés des cyanophytes et des algues microscopiques indigènes à ces sources hydrothermales ainsi que leur intérêt en biotechnologie, et la qualité microbiologique des eaux de ces sources thermales

Mots clés: algue, biodiversité, cyanobacteries, Sources hydrothermales, thermophiles.

Abstract

Terrestrial hot springs ecosystems present drastic conditions that are deemed to be difficult for all forms of life. Such ecosystems are many in eastern Algeria. Their exploration allows the exploitation of the frontiers of life while giving another dimension to the biodiversity of the microbial world. Hot spring Hammam Essalhin located in Khenchela (eastern Algeria) present a high temperature 42-53°C, which places it among the extreme ecosystems. It is characterized by a neutral pH.

The photosynthetic microorganisms such as algae (including cyanobacteria) are a significant part of biodiversity.

The thermal stations of the Algerian East including the thermal source of Hammam Essalhin situated in Khenchela was not the object of any study concerning the biodiversity and the inventory of the microscopic algae and cyanobacteria. The aim of this work is to determine firstly the biodiversity of algae and cyanobacteria that restraint; and improve knowledge on algae and cyanobacteria of its extreme ecosystems.

The task was to make a descriptive study based on morphological characters followed by a systematic inventory of species encountered. The descriptive study identified 25 species and develops identification keys to the genus level and the species level.

The Cyanophyta including 06 genera and 08 species, 17 microalgae species, distributed in 10 genera. Microscopic algae are composed of *Chlorophyta*, *Chrysophyta*, *Charophyta* and *Dinophyta*.

Our results extend our knowledge of the indigenous communities of algae and cyanobacteria of these hydrothermal springs, as well as their interest in biotechnology, and the microbiologic quality of the waters of these thermal sources.

Key words: algae, biodiversity, cyanobacteria, hot spring, thermophiles.

ملخص

النظم الإيكولوجية للمياه الحارة الأرضية لديهم ظروف تعتبر غير مواتية للحياة. هذه النظم هي عديدة في شرق الجزائر. استكشافهم يسمح باستغلال حدود الحياة في حين يعطي بعدا آخر للتنوع البيولوجي في عالم الجراثيم. منتج حمام الصالحين خنثلة (شرق الجزائر) ذو درجة حرارة عالية 42-53 درجة مئوية، الأمر الذي يضعه بين النظم الإيكولوجية المدفوعة. فهي تتميز بـ pH محايد، ويتميز الينبوع الحار بهيمنة العنصر الكيميائي كلوريد الصوديوم.

الكائنات الحية الدقيقة اليخضورية مثل الطحالب (بما في ذلك البكتيريا الزرقاء) هي جزء كبير من التنوع البيولوجي .

لا توجد اي دراسة على التنوع البيولوجي وجرد الطحالب المجهرية والبكتيريا الزرقاء للمنبع الحراري حمام الصالحين خنثلة. والغرض من هذا العمل، تحديد أولا تنوع الطحالب وثانيا، لفتح الأبواب على استغلال ثروات هذه المنطقة البكر. كانت المهمة إجراء دراسة وصفية على أساس الصفات المورفولوجية تليها جرد منظم لأنواع المكتشفة. وحددت الدراسة الوصفية 25 نوعا وتطوير مفاتيح لتحديد الهوية على مستوى الأنواع. *Cyanobactéries* المكتشفة تشمل 6 أجناس و 8 نوعا، 17 نوعا من الطحالب، وزعت في 10 جنسا. وتتألف الطحالب من الطحالب الخضراء *Dinophytes*, *Chrysophytes*, *Charophyta* *Chlorophycées*, *Charophytes*

تعمل هذه النتائج على توسيع معارفنا للمجمعات الميكروبية الأصلية للينابيع الساخنة وأهميتها في مجال التكنولوجيا الحيوية.

الكلمات الرئيسية : الطحالب، التنوع، *Cyanobactéries*، الينابيع الحارة، الكائنات المحبة للحرارة.

Présenté par : RAHIM Aicha
SAOULI Madjida

Date de soutenance: 14 / 06 / 2016

Mémoire présenté pour l'obtention de diplôme de master en microbiologie

*Recherche des algues microscopiques et des cyanobactéries des les écosystèmes extrêmes
(hammam Essalhine-Khenchela-)*

Résumé

Les écosystèmes d'eaux chaudes terrestres présentent des conditions qui sont réputées être difficiles pour toutes les formes de vie. Ce genre d'écosystèmes est nombreux dans l'Est Algérien. Leur exploration permet l'exploitation des frontières de la vie tout en donnant une autre dimension à la biodiversité du monde microbien. La station thermale de Hammam Essalhine à Khenchela (l'Est algérien) présente une température élevée 42-53C°, ce qui la place parmi les écosystèmes extrêmes. Elles se caractérisent par un pH neutre. La source se caractérise par un faciès chloruré sodique où prédomine le chlorure de sodium.

Les Microorganismes photosynthétiques comme les algues (y compris les cyanobactéries) constituent une part non négligeable de la biodiversité.

La station thermale de Hammam Essalhine à Khenchela n'a fait l'objet que de quelques études portant sur la biodiversité et l'inventaire des algues microscopiques et des cyanobactéries « algues bleu vert ». Le but de ce travail, et justement fait pour déterminer d'une part la biodiversité des algues et les cyanobactéries de cette retenue ; et d'améliorer les connaissances sur les algues de ses écosystèmes extrêmes.

Le travail a consisté à faire une étude descriptive basée sur des caractères morphologiques suivis d'un inventaire systématiques des espèces rencontrées. L'étude descriptive a permis d'identifier 25 espèces et d'élaborer des clés de détermination au niveau du genre puis au niveau de l'espèce. Les Cyanophytes identifiées se répartie en 06 genres et 08 espèces, les microalgues 17 espèces, réparties en 10 genres. Les algues microscopiques sont composées par les *Chlorophytes*, *Chrysophytes*, *Charophyta* et les *Dinophytes*.

Nos résultats permettent d'étendre nos connaissances sur les communautés des cyanophytes et des algues microscopiques indigènes à ces sources hydrothermales ainsi que leur intérêt en biotechnologie, et la qualité microbiologique des eaux des ces sources thermales.

Mots clés : algue, biodiversité, cyanobactereies, Sources hydrothermales, thermophiles.

Devant le jury :

Présidente :	BENERDJEM L. (MAA)	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela
Encadreur :	BOUTARFA S. (MAA)	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela
Examinatrice :	CHORFI K. (MAB)	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela