



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'enseignement Supérieur

Et de la Recherche Scientifique

**Université Abbès Laghrou Khenchela**

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



**Mémoire**

**Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en biologie**

**Option : microbiologie des écosystèmes aquatiques**

Présenté Par

**BOUTARFA Soumia**

Thème :

## **Identification Microscopique d'Algues thermophiles**

**Devant le jury :**

Président: **M. HOUHA B. (MCA)**

Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

Encadreur: **M. DARBOUCHE A. (Prof)**

Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

Examineurs: **M. HOUHAMDI M. (Prof)**

Univ. 08 Mai 1945 – Guelma

**Mme. BENDJEMANA K. (MCA)**

Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

**2012-2013**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## REMERCIEMENTS

*En premier lieu, Je remercie Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il ma donné durant toutes ces années d'étude.*

*Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation et en particulier :*

*Je remercie également Monsieur HOUHA B., Maître de Conférences à l'université de Khenchela, qui me fait l'honneur de présider mon jury de soutenance. Mes plus vifs remerciements vont à Monsieur HOUHAMDI M., Professeur à l'Université de Guelma, d'avoir voulu accepter de participer à ce jury. Je suis particulièrement heureuse de bénéficier de ses critiques et je lui exprime ma profonde considération. Je suis également très honorée de la présence de ce jury de Mme BENDJEMANA K., Maître de Conférences à l'Université de Khenchela.*

*Je remercie vivement Mr. DARBOUCHE Abdelhak., Professeur à l'université de Khenchela qui a accepté de diriger ce travail, je lui exprime ici toute ma gratitude. Merci à vous pour votre encadrement sécurisant, votre disponibilité, votre simplicité dans les rapports humains et votre bonne humeur. Merci pour votre gentillesse et vos grandes qualités humaines.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude et mon respect à tous nos estimables enseignants de la première année de notre formation Mme **Bouannani S.**, M. **Ghers A.**, et Mme **Deghbouche.***

*Sans oublier toutes les personnes qui m'ont accompagnée dans la galerie **Magistère**, sans oublier toute l'équipe administrative, et celles qui m'ont apporté de l'aide lors de mes prélèvements.*

*J'adresse aussi ma profonde sympathie à tous les membres du Laboratoire de biologie de l'université de Khenchela.*

*Enfin, à tous ceux qui ont œuvré de prêt ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail a...

A la mémoire de mon cher père qui est toujours présent dans mon cœur

A ma chère mère,

A ma sœur Darine,

A mes frères Hamza et Radeouane,

A mes amis,

Pour leur soutien et leur encouragement

**SOUMIA**

# Table des matières

Liste des abréviations .....	i
Liste des figures .....	ii
Liste des tableaux .....	iv
Liste des photographies .....	v

Introduction .....	1
--------------------	---

## Etude bibliographiques

### I. Algues

I.1.Historique .....	3
I.2.Algues microscopiques ou microalgues .....	4
I.3. Composition chimique des algues .....	5
I.4. Actions des algues sur le milieu .....	5
I. 4.1. Oxygénation .....	5
I.4.2. Consommation de dioxyde de carbone CO <sub>2</sub> .....	6
I.4.3. Epuration .....	6
I.4.4. Action antibactérienne .....	6
I.5.Nutrition des microalgues .....	6
I.6. Classification des algues.....	6
I.6.1.Pigmentation .....	10
I.6.1.1. Chlorophylles .....	10
I.6.1.2 .Phycobiliprotéines .....	10
I.7. Groupe les plus importantes des microalgues.....	11
I.7.1.Diatomées.....	11
I.7.1.1.Définition.....	11
I.7.1.2.Morphologie des diatomées.....	12
I.7.1.3.Écologie des diatomées .....	15
I.7.1.3.1.Température.....	16
I.7.1.3.2. pH .....	16
I.7.1.3.3.Lumière.....	17
I.7.1.4.Mode reproduction des Diatomées.....	19

I.7.1.5. Problématique de l'identification et de la classification des diatomées .....	19
I.7.1.6. Clé d'identification.....	20
1.7.2. Cyanobactéries.....	20
I.7.2.1. Les cyanobactéries .....	20
I.7.2.2. Diversité écologique.....	21
I.7.2.3. Position taxonomiques.....	22
I.7.2.4. La réponse des cyanobactéries à leur environnement.....	22
1.7.3. Chlorophycées.....	23
I.8. Importance des microalgues.....	24
I.8.1. En pharmacologie et médecine .....	25
I.8.2. En cosmétologie .....	26
I.8.3. Alimentation humaine et animale .....	26
I.8.4. Utilisations industrielles .....	26
I.8.4.1. Colorants .....	27
I.8.4.2. Polysaccharides .....	27
I.8.4.3. Vitamines et autres produits.....	27
II. Algues extrêmophiles et thermophiles.....	27
II.1. Algues extrêmophiles.....	27
II.2. Algues thermophiles.....	30
II.3. Les sources thermales de l'Algérie.....	32
II.3. Etats des connaissances en Algérie.....	33
III. Choix des sites d'étude .....	34
III.1. Présentation des sites d'étude : Hammam Es Salihin .....	36
III.2. Situation géographique.....	35
III.3. Hydrochimie des eaux de hammam Es Salihin .....	35
III.3.1. Température .....	35
III.3.2. Potentiel d'hydrogène (pH) .....	36
III.3.3. Mesure du potentiel d'oxydoréduction .....	37

## **Matériel et méthodes**

1. Prélèvement des échantillons .....	38
2. Conservation des échantillons .....	39
3. Mesure de la température et du pH <i>in situ</i> .....	39
4. Procédures de laboratoire .....	40
5. Taxinomie des algues et des cyanobactéries.....	41

## **Résultats et discussion**

1. Caractéristiques physico-chimiques de la source thermique étudiée.....	42
2. Résultats d'identification.....	43
2.1. Principaux caractères des genres de Cyanophytes rencontrés.....	47
2.2. Caractères principaux des genres de microalgues rencontrés.....	49
3. Bio écologie des principales espèces d'algues .....	51
4. Discussion.....	54
<b>Conclusion Et Perspectives</b> .....	<b>58</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>60</b>

### **Annexes**

# Liste des abréviations

**°C** : Degré Celsius.

**G**: Grossissement.

**H** : Hammam.

**h** : Heure.

**m** : mètre.

**µm**: Micromètre

**MES** : les matières en suspension.

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: les nitrates.

**pH** : le potentiel d'hydrogène.

**sp** : Espèce.

**T (°C)** : la température.

**NaCl** : Chlorure de sodium

## Liste des figures

<b>Figure N°1:</b> Classes algales et leurs caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques (Photos diatomées : Michel COSTE (Cemagref, Bordeaux) et Elisabeth SELLIER (CREMEM, Talence) prises au MEB ; les autres images : <a href="http://protist.i.hosei.ac.jp">http://protist.i.hosei.ac.jp</a> . Caractéristiques des classes algales (Van Den Hoek <i>et al.</i> , 1995a, b ; John <i>et al.</i> , 2003 ; Reynolds 2006 ; Rolland 2009 ; Cellamare, 2009).....	8-9
<b>Figure N°2:</b> Structures des différentes chlorophylles (Pierre, G., 2010).....	10
<b>Figure N°3:</b> Structures des phycobilines (Pierre, 2010).....	11
<b>Figure N°4.</b> Exemples de diatomées (Claudon, 2007).....	12
<b>Figure N° 5.</b> Frustule de <i>Navicula lanceolata</i> (a) <i>Navicula lanceolata</i> avec contenu cellulaire. (b) <i>Navicula lanceolata</i> sans contenu cellulaire (Lavoie <i>et al.</i> , 2008).....	13
<b>Figure N°6.</b> Frustule d' <i>Eunotia sp.</i> (Microscope électronique à balayage) (Lavoie <i>et al.</i> , 2008).....	14
<b>Figure N°7.</b> Exemples des ornements des diatomées. (a) Stries (b-c) Ponctuations (d) Fibules (e) Stigma (f) Épines (Lavoie <i>et al.</i> , 2008). .....	14
<b>Figure N°8.</b> Les formes des diatomées. (a) Diatomées centriques, symétrie radiale ( <i>Cyclotella spp.</i> ). (b) Diatomées pennées, symétrie bilatérale ( <i>Gomphonema sp.</i> , <i>Navicula sp.</i> , <i>Cymbella sp.</i> ) (Lavoie <i>et al.</i> , 2008).....	15
<b>Figure N°9.</b> Les colonies des diatomées. (Bellinger et Sigeo ,2010) .....	17-18

<b>Figure N°10.</b> Les modes de reproduction des diatomées. (Lavoie <i>et al.</i> , 2008). .....	19
<b>Figure N°11.</b> Exemples de la diversité morphologique des cyanobactéries. Photos provenant du site Cyanosite ( <a href="http://www.cyanosite.bio.purdue.edu/images/images.html">http://www.cyanosite.bio.purdue.edu/images/images.html</a> ).....	21
<b>Figure N°12.</b> Algues vertes représentant (Lewis and Mccourt, 2004) .....	24
<b>Figure N°13:</b> Domaines d'application des algues microscopiques (Chader et Touzi ,2001).....	25
<b>Figure N°14:</b> Représentation du point d'échantillonnage de Hammam El Salihine Khenchela (Google earth) .....	39
<b>Figure N°15 :</b> Pourcentages des différents Embranchements recensés dans la station De Khenchela.....	47

# Liste des tableaux

<b>Tableau N°1:</b> Caractéristiques des principales lignées d'algues (de Reviere, 2002).....	7
<b>Tableau N°2:</b> Valeur de la température mesurée (Berkani, 2011). .....	36
<b>Tableau N°3:</b> Valeurs du potentiel d'oxydoréduction mesurées (Berkani, 2011) .....	37
<b>Tableau N°4:</b> Valeurs du pH et de la conductivité électrique mesuré (Berkani, 2011).....	37
<b>Tableau N°5 :</b> Les paramètres physico-chimiques de la source thermale étudiée.....	42
<b>Tableau N° 6:</b> Analyses chimiques en éléments mineurs .....	43
<b>Tableau N°7 :</b> Inventaire, classification, des espèces de microalgues recensées dans la région d'étude.....	44
<b>Tableau N°8.</b> Classification morphologique et l'apparition des 32 taxons identifiés.....	46
<b>Tableau N°9:</b> Caractères principaux des genres de Cyanophytes rencontrés.....	48
<b>Tableau N°10:</b> Caractères principaux des genres d'algues microscopiques rencontrés.....	49

# Liste des photographies

<b>Photographie</b>	<b>N°1:</b>	<b>Site</b>	<b>des</b>	<b>prélèvements</b>	<b>Hammam</b>	<b>Es</b>
Salhin.....						40

# **INTRODUCTION**

La naissance de la planète terre est passée par plusieurs temps parfois très extrêmes comme la température, la surcharge en métaux lourds ou la dominance des écosystèmes salins etc. La genèse d'organismes était d'une manière générale très difficiles, nécessitant une adaptation spécialisée et continue aux conditions extrêmes. Par ailleurs tout organisme vivant est influencé par de nombreux paramètres physico-chimiques environnementaux (température, salinité, pH, pression hydrostatique, radiations ionisantes, etc.). La détermination des valeurs minimales, optimales et maximales est indispensable. Ceci a pour but d'attribuer à chaque organisme un classement, une généalogie ou une approche scientifique ou étique (Madigan et Mairs, 1997).

Les Microorganismes photosynthétiques comme les algues (y compris les cyanobactéries) occupent la plupart des environnements sur Terre qui sont éclairés par la lumière visible. Parmi ces habitats ya plusieurs endroits qui sont, du point de vue anthropocentrique, inhospitalier et différente des lieux «normale». Les microbes qui occupent ces milieux sont appelés «extrêmophiles». Beaucoup des microalgues vivent dans des environnements extrêmement chauds ( $> 70^{\circ}\text{C}$ ) comme les déserts et la sortie de sources géothermiques. La température la plus élevée pour les algues est supérieur à  $50^{\circ}\text{C}$  et pour les des cyanobactéries est proche à  $70^{\circ}\text{C}$  (Seckbach, 2007).

Ces extrêmophiles peuvent fournir des réponses importantes pour l'écologie et la biochimie et peuvent conduire à des applications pour des aspects biotechnologiques et industriels (Seckbach, 2007).

Les microalgues constituent un groupe important et diversifié de micro-organismes photosynthétiques qui peut exister en tant que cellules individuelles, des chaînes ou des groupes et se retrouvent à la fois dans l'eau douce et les environnements marins. Les cyanobactéries, aussi connu sous le nom d'algues bleu-vert, sont un phylum de bactéries qui ont également obtenir de l'énergie par la photosynthèse et sont inclus en tant que micro-algues dans le but de cette étude (Rittmann, 2008). Ils ont transformé et oxygéné l'atmosphère terrestre primitive et ils participent encore au maintien de son équilibre chimique. Il existerait au moins 100 000 espèces de microalgues, dont une cinquantaine seulement est bien connues parmi les 40 000 déjà étudiées (Doré-Deschênes, 2009).

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.

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. (Chader et Touzi, 2001)

Il existe sur le territoire algérien plus de 240 sources hydrothermales terrestres. D'après les études réalisées à ce sujet, ce nombre croît régulièrement quand on se déplace vers l'Est. Les températures mesurées à l'émergence varient de 19°C à Ben Haroune à 98°C à Hammam Dbegh (Ouali, 2008; Saibi, 2009).

Ce n'est que récemment que les écosystèmes hydrothermaux terrestres ont été exploités en Algérie à fin de rechercher de nouveaux microorganismes. (Kecha *et al.*, 2007). À notre connaissance, aucune étude des algues thermophiles n'a été déjà faite jusqu'à présent.

## Objectifs

Ce projet se propose d'améliorer les connaissances sur les cyanophytes, et les algues microscopiques thermophiles.

La station thermale de hammam Es Salihin à Khenchela n'a fait jusqu'à présent l'objet d'aucune étude 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.

**ETUDE**

**BIBLIOGRAPHIQUE**

## I.1. Historique

Avant 2300 millions d'années (Ma), durant le Précambrien, on voit apparaître des organismes d'un type nouveau. Il s'agit de bactéries "coccoïdes" en forme de sphérules entourées d'une coque qui devaient flotter entre deux eaux. C'était une sorte de plancton vivant de photosynthèse, un "phytoplancton". Au moment où le taux d'oxygène libre est devenu suffisant, ces Eucaryotes ont permis l'apparition des algues. Entre 2000-1000 Ma, la vie sur terre a été dominée par les "acritarches" (du grec "archê" = origine, "acritê" = incertaine) qui constituent des sortes de kystes, stade végétatif dormant d'une algue. La plupart de ces acritarches qui se sont multipliés étaient des algues vertes unicellulaires microscopiques très diversifiées par leurs formes. Il ya eu aussi très vite des algues multicellulaires au thalle ramifié. La vie atteint vers 950 Ma une diversité qu'elle n'avait jamais connue auparavant (Lakkis, 2011).

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 (Couté, 1995).

Si les algues ressemblent beaucoup à des bactéries elles en diffèrent par leur contenu cellulaire. Les algues bleues contiennent déjà peut être de la chlorophylle qui leur permet d'utiliser l'énergie lumineuse et le gaz carbonique dissous dans l'eau pour produire leurs substances nutritives (Lakkis, 2011).

On estime entre 200 000 et plusieurs millions le nombre d'espèces d'algues existantes, ce qui est très supérieur aux 250 000 espèces de plantes supérieures recensées ; une telle diversité non exploitée constitue un réel potentiel pour la recherche et l'industrie. Deux super groupes de microalgues se distinguent: Les Plantae et Les Chromalvéolates issues d'un croisement d'une microalgue rouge et d'un organisme unicellulaire hétérotrophe (Keeling *et al.*, 1999; Hedges *et al.*, 2004; Teyssède, 2006). Elles constituent une part non négligeable de la biodiversité (Radmer et Parker, 1994). Ils occupent pratiquement tous les habitats, y compris ceux avec des conditions extrêmes. Beaucoup des microalgues vivent dans des environnements extrêmement chauds (> 70 ° C) comme les déserts et la sortie de sources géothermiques. Ils peuvent vivre dans la mer Morte, où les concentrations de sel sont sept fois celle des océans et dans des conditions très acides ou très alcalines. Ils peuvent même vivre dans la neige (Seckbach, 2007).

- **Algues**

Les algues sont des végétaux chlorophylliens qui se développent dans l'eau ou dans les milieux très humides comme les marais. Elles font partie des végétaux inférieurs ou Thallophytes et peuplent aussi bien les mers que les milieux d'eau douce (Muller-Feuga, 1997). Elles sont essentiellement aquatiques dans les eaux douces ou marines, et certaines vivent sur la neige ou la glace des régions polaires et des hautes montagnes. D'autres au contraire supportent dans les eaux des sources thermales des températures élevées (algues thermophiles). Elles comprennent 20 000 à 30 000 espèces dans le monde, soit 18% du règne végétal (Morère and Pujol, 2002).

Les phycologues considèrent toutes les organisations avec de la chlorophylle a et un thalle non différencié dans des racines, refoulement et des feuilles comme une algue (Lee, 1989). Les cyanobactéries sont incluses dans cette définition, même s'ils sont des organismes procaryotes (Amos, 2004).

Elles constituent la base de la chaîne alimentaire aquatique et assurent la production de ressources renouvelables jusqu'à environ 100 millions de tonnes par année à travers la pêche (Muller-Feuga, 1997).

Par rapport à la taille, on distingue deux groupes : les macroalgues et les microalgues qui sont l'objet de cette étude.

Leur mécanisme de photosynthèse est semblable à celles des plantes terrestres. L'absence des structures photosynthétiques de soutien (racines, tiges, etc.) favorise aussi les microalgues en aquaculture (John *et al.*, 2010).

## **I.2. Algues microscopiques ou microalgues**

Les microalgues, encore appelées algues microscopiques ou plus spécifiquement phytoplancton, ont généralement une taille de l'ordre du micron. Elles sont donc invisibles à l'œil nu (Knuckey, 1998).

Les microalgues (ou microphytes) sont une classe d'organismes d'algues comprenant des organismes microscopiques, principalement photosynthétiques. Trouver à la fois dans les écosystèmes marins (eau salée) et dans les habitats d'eau douce, ils ne mesurent pas plus de quelques centaines de micromètres ( $\mu\text{m}$ ) de taille (Harun, Singh *et al.*, 2010; Wageningen,

2010). En dépit de leur taille minuscule, les microalgues jouent un rôle essentiel dans le maintien de la vie sur terre ils produisent à eux seuls la moitié de l'oxygène atmosphérique sur la planète. Il n'est pas surprenant de constater que les microalgues possèdent une biodiversité incroyable, les estimations varient entre 200.000 et quelques millions d'espèces différentes, et seulement un dixième de cette variété a été scientifiquement identifiés à ce jour (Wageningen, 2010).

Selon Cardozo et al. (2007), plus de 15.000 nouveaux composés ont été identifiés à partir de microalgues, il s'agit notamment de lipides, les caroténoïdes, phycocolloïdes (tels que l'agar et l'alginate), des lectines, des acides aminés et plusieurs autres composés ayant une importance économique. Bien sûr, le plus notable parmi ces derniers sont des lipides de microalgues (Cardozo, Guaratini *et al.*, 2007; Chisti 2007). En outre, l'explosion récente de la recherche biodiesel a conduit à la découverte et l'étude de nombreuses espèces de microalgues qui ont la capacité d'accumuler de grandes quantités de lipides, certaines espèces étant composées jusqu'à 80% de leur poids de biomasse sèche sous forme de lipides (Borowitzka, 1988; Chisti, 2007).

### **I.3. Composition chimique des algues**

Toutefois, le profil des acides aminés indique une déficience en méthionine et en acides aminés soufrés (Dabbadie, 1992).

En revanche, les microalgues sont généralement riches en vitamines et en substances économiquement intéressantes (De La Noüe *et al.*, 1990).

### **I.4. Actions des algues microscopiques sur le milieu**

Les algues du phytoplancton ont une influence directe sur les conditions physicochimiques d'un écosystème aquatique.

#### **I.4.1. Oxygénation**

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute ou gazeuse. A une température et une pression données, il existe une quantité maximale d'oxygène sous forme dissoute: c'est la teneur en O<sub>2</sub> pour laquelle l'eau est saturée à 100% (Dabbadie, 1992).

## **I.4.2. Consommation de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>**

La consommation de CO<sub>2</sub> par les algues au cours de la photosynthèse va principalement se traduire par une augmentation du pH: le CO<sub>2</sub> réagit en effet avec les carbonates:

## **4.3. Epuration**

En se développant et en prélevant des éléments nutritifs dans le milieu, les algues contribuent à l'épurer. Il est donc possible de dépolluer des eaux usées en utilisant ces végétaux. C'est le principe du lagunage (Dabbadie, 1992).

## **4.4. Action antibactérienne**

Les interactions entre les algues et les bactéries sont connues depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Ainsi, c'est l'action antibactérienne des algues, et notamment l'élimination des souches pathogènes, qui a incité à faire intervenir les microalgues dans des systèmes d'épuration comme les lagunages (Ringuelet, 1977).

## **I.5. Nutrition des microalgues**

Concernant la nutrition, la plupart des microalgues sont photoautotrophes, c'est-à-dire qu'elles utilisent le CO<sub>2</sub> comme source de carbone et qu'elles tirent leur énergie de la photosynthèse. Cependant, il existe aussi des microalgues hétérotrophes qui sont capables d'utiliser une source de carbone organique pour se développer (Becerra Celis, 2009).

On compte une grande variété au sein des phototrophes (cyanobactéries et algues), dont l'hypothèse est fait souvent qu'ils vont par la suite permettre l'installation des hétérotrophes (Ortega-Morales, Guezennec *et al.*, 2000; Crispim, Gaylarde *et al.*, 2003; Crispim and Gaylarde, 2005; Gaylarde, Crispim *et al.*, 2005).

## **I.6. Classification des microalgues**

Les microalgues appartiennent au règne des eucaryotes caractérisés principalement par l'absence de racines, de tissus vasculaires de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments pour réaliser la photosynthèse. (Becerra, 2009).

De nombreux critères écologiques, physiologiques ou biochimiques interviennent dans la phylogénie des algues comme les structures cellulaires, le mode de nutrition, l'habitat ou même la nature et la localisation des pigments et glucanes de réserve. Malgré cette importante diversité et complexité structurale, une dizaine d'embranchements (En classification phylogénétique) (Pérez ,1997), permettent de classer ces végétaux. Différents critères rentrent en considération, à savoir leurs compositions pigmentaires, leurs caractéristiques structurales, leurs modes de reproduction ainsi que leurs polysaccharides de réserve (Tableau 1).

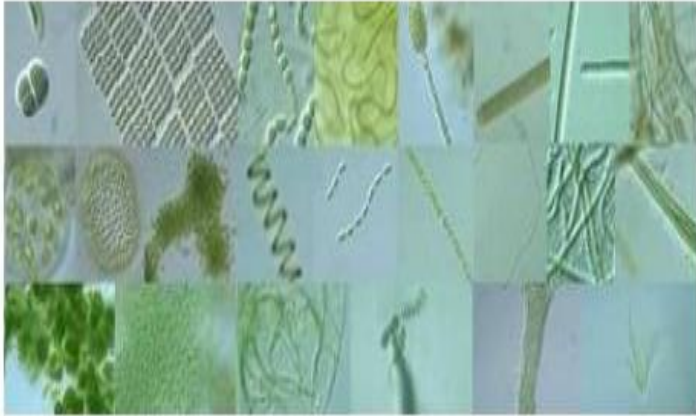
**Tableau N°1:** Caractéristiques des principales lignées d'algues (de Reviere, 2002).

Embranchements	Caractéristiques		
	Types de Chlorophylles	Phycobiliprotéines	Polysaccharides de réserve
Bacillariophyta	a,c	-	Chrysolaminarane
Chlorophyta	a,b	-	Amidon intraplastidial
Chrysophyta	a,c	-	Chrysolaminarane
Chryptophyta	a,c	PE	Amidon périplastidial
Cyanophyta	a	PC, PE	Glycogène
Dinophyta	a,c	-	Amidon cytoplasmique
Euglenophyta	a,b	-	Paramylose cytoplasmique
Phaeophyta	a,c	-	Laminarane, mannitol
Rhodophyta	a,d	PC, PE, APC	Amidon, floridéen
Xantophyta	a,c	-	Chrysolaminaranes

PE : phycoérythrine

PC : phycocyanine

ACP : allophycocyanine



## Les Cyanophycées ou cyanobactéries

Pigments : chlorophylle a ; phycobilines (phycocyanine, allophycocyanine, phycoerythrine)

Substances de réserve : glycogène, cyanophycine

Paroi cellulaire : peptidoglycane

Morphologie : unicellulaire, coloniale, filamenteuse

Reproduction : asexuée (fission binaire, fragmentation)



## Les Chlorophycées ou algues vertes

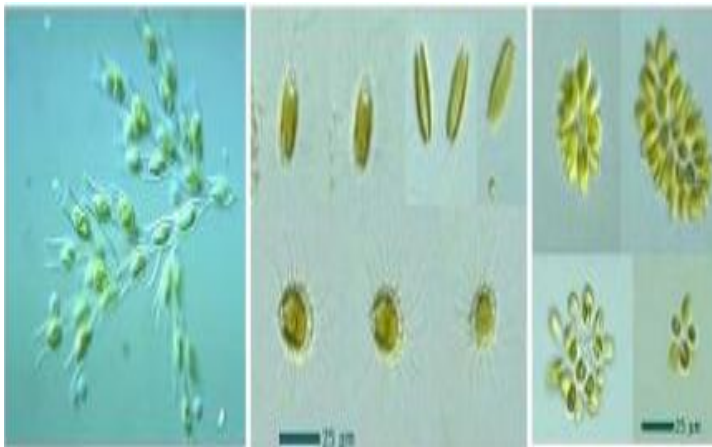
Pigments : chlorophylle : a et b ; xanthophylles ; luteine, violaxantine

Substances de réserve : amidon intraplastidial

Paroi cellulaire : principalement cellulose

Morphologie : unicellulaire, coloniale, filamenteuse, cénobiale, formes avec ou sans flagelles

Reproduction : asexuée (fission binaire) et sexuée (isogamie, anisogamie et oogamie)



## Les Bacillariophycées ou diatomées

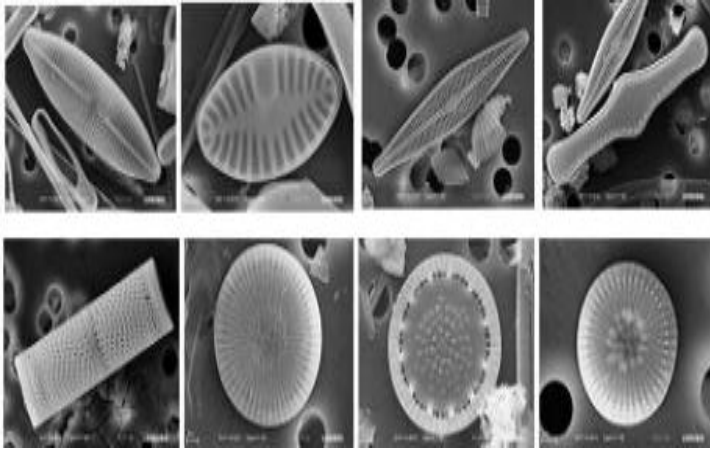
Pigments : chlorophylle : a, c1, c2 et c3 ; xanthophylles ; fucoxantine, diatoxantine, diadinoxantine

Substances de réserve : chrysolaminarine, lipides

Paroi cellulaire : siliceuse ornementée (frustule)

Morphologie : pennée (symétrie bilatérale) ou centrique (symétrie radiale)

Reproduction : asexuée (division cellulaire) et sexuée (oogamie chez la centrique, isogamie chez les pennées)



## Les chrysophycées ou algues dorées

Pigments : chlorophylle a, c1 et c2 ; xanthophylles ; fucoxantine

Substances de réserve : chrysolaminarine, lipides

Paroi cellulaire : écailles de silice et cellulose

Morphologie : unicellulaire ou coloniale (rarement filamenteuse), cellules nues ou enveloppées par une structure protectrice (lorique), 1 ou 2 flagelles

Reproduction : asexuée (fission binaire, zoospulation) et sexuée (isogamie)



## Les Dinophycées ou dinoflagellés

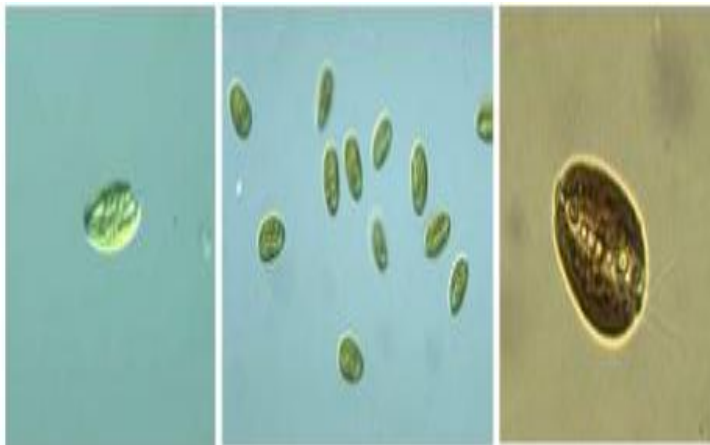
Pigments : chlorophylle a et c2 ; xanthophylles ; peridine, diadinoxantine

Substances de réserve : amidon, lipides

Paroi cellulaire : si présente, constituée de cellulose

Morphologie : principalement unicellulaire, cellules nues ou renforcées par des plaques polygonales, avec 2 flagelles perpendiculaire

Reproduction : asexuée (fission binaire, formation d'aplanospores) et sexuée (isogamie, anisogamie)



## Les Cryptophycées

Pigments : chlorophylle a et c2 ; phycobiline ; phycocyanine, phycoerythrine

Substances de réserve : amidon extraplastidial

Paroi cellulaire : généralement absente

Morphologie : cellules nues, ovales et aplaties, avec 2 flagelles inégaux

Reproduction : principalement asexuée (fission binaire)

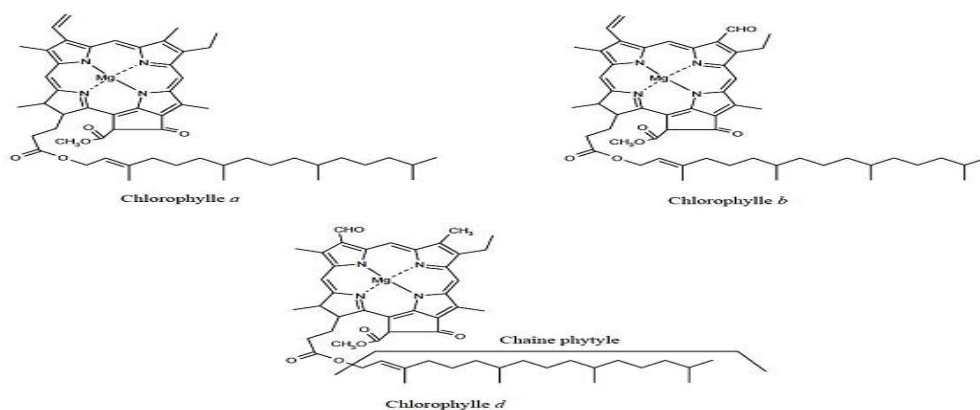
**Figure N°1.** Classes algales et leurs caractéristiques principales basées sur des aspects morphologiques et cytologiques (Photos diatomées : Michel COSTE (Cemagref, Bordeaux) et Elisabeth SELLIER (CREMEM, Talence) prises au MEB ; les autres images : <http://protist.i.hosei.ac.jp>. Caractéristiques des classes algales (Van Den Hoek *et al.*, 1995b ; John *et al.*, 2003 ; Reynolds 2006; Rolland 2009; Cellamare, 2009).

## I.6.1.Pigmentation

La nature et la localisation des pigments permettent de définir plusieurs grands groupes d'algues. Selon la nature des pigments surnuméraires associés à la chlorophylle, la couleur des plastes des algues permet de distinguer les algues rouges (Rhodophytes), brunes (Chromophytes), vertes (Chlorophytes) et des bleues (Pierre *et al.*, 2010).

### I.6.1.1.Chlorophylles

Ces molécules sont impliquées dans les processus d'oxydoréduction photochimique des milieux biologiques. Elles assurent la collecte énergétique des photons et le transfert d'énergie indispensable à la transformation du dioxyde de carbone et de l'eau en composés organiques. Toutes les algues possèdent de la chlorophylle a (Pierre *et al.*, 2010).

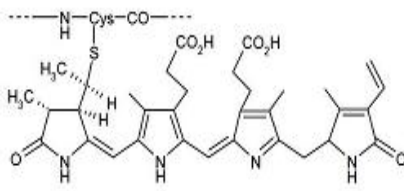


**Figure N°2:** Structures des différentes chlorophylles (Pierre, G., 2010).

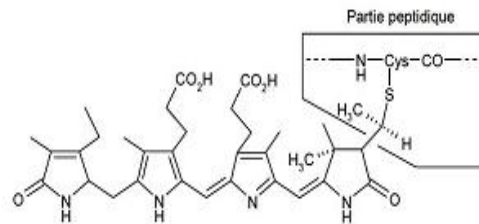
### I.6.1.2 .Phycobiliprotéines

Les phycobilines ou phycobiliprotéines sont des molécules hydrosolubles d'environ 240 kDa, comportant une partie protéique liée de manière covalente à des chromophores ou bilines, couramment utilisés dans plusieurs applications biotechnologiques (Rossano *et al.*, 2003).

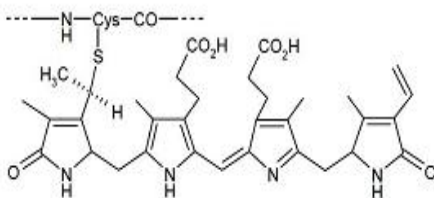
Phycocérythrobiline liée à un peptide (couleur rouge)



Phycocyanobiline liée à un peptide (couleur bleue)



Phycourobiline liée à un peptide (couleur bleue turquoise)



**Figure N°3:** Structures des phycobilines (Pierre, 2010).

## I.7. Groupes les plus importants de microalgues

### I.7.1. Diatomées

#### I.7.1.1. Définition

Les diatomées (*Bacillariophyta*) sont un groupe très distinct d'algues, identifiables au microscope optique par leur coloration jaune-brun (Bellinger et Sigeo, 2010).

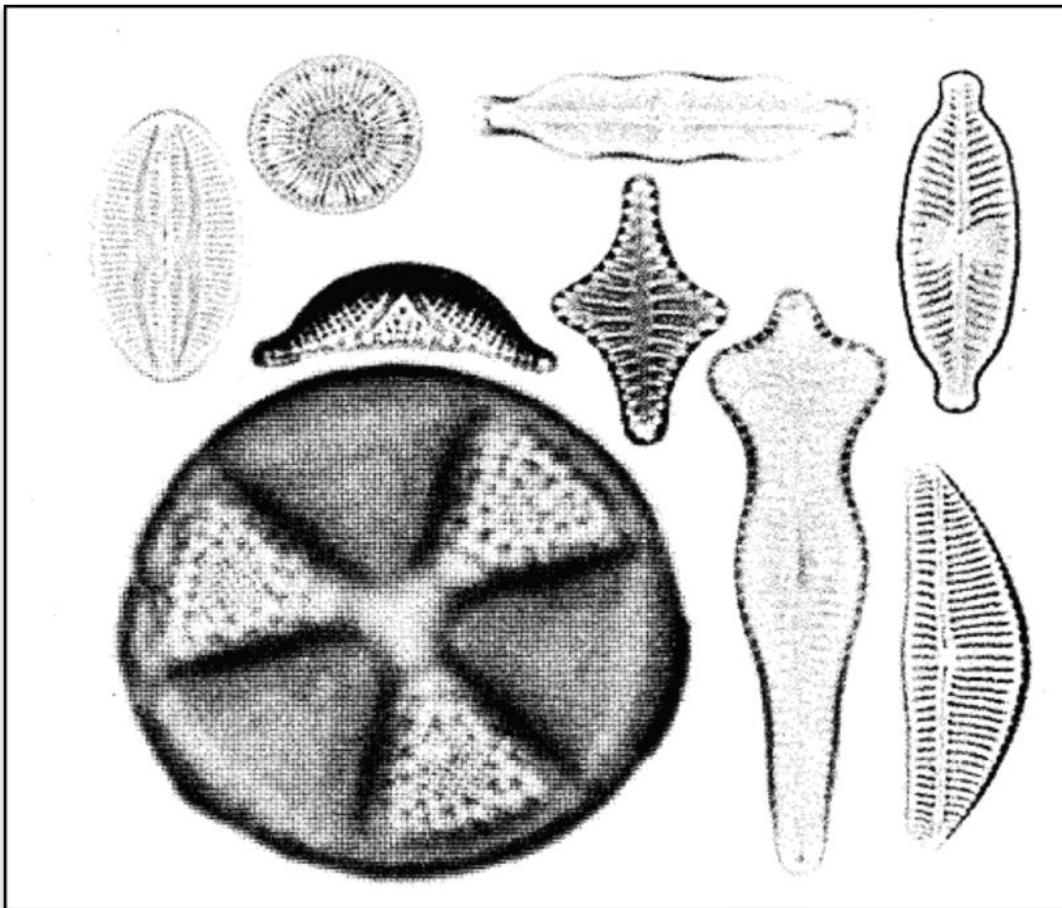
Elles contribuent à environ le quart de la production primaire globale de la planète et à 43 % de la production primaire des océans (Treguer *et al.*, 1995).

L'évaluation du nombre total de taxons varie entre 20 000 et 30 000 selon les auteurs. Cependant, selon Mann et Droop (1996), il pourrait exister jusqu'à 200 000 taxons de diatomées sur la planète. Chaque espèce de diatomée possède une ornementation particulière qui peut être observée au microscope et qui permet l'identification du taxon. Il s'agit également de l'un des groupes d'algues les plus diversifiés. (Lavoie *et al.*, 2008)

## I.7.1.2. Morphologie des diatomées

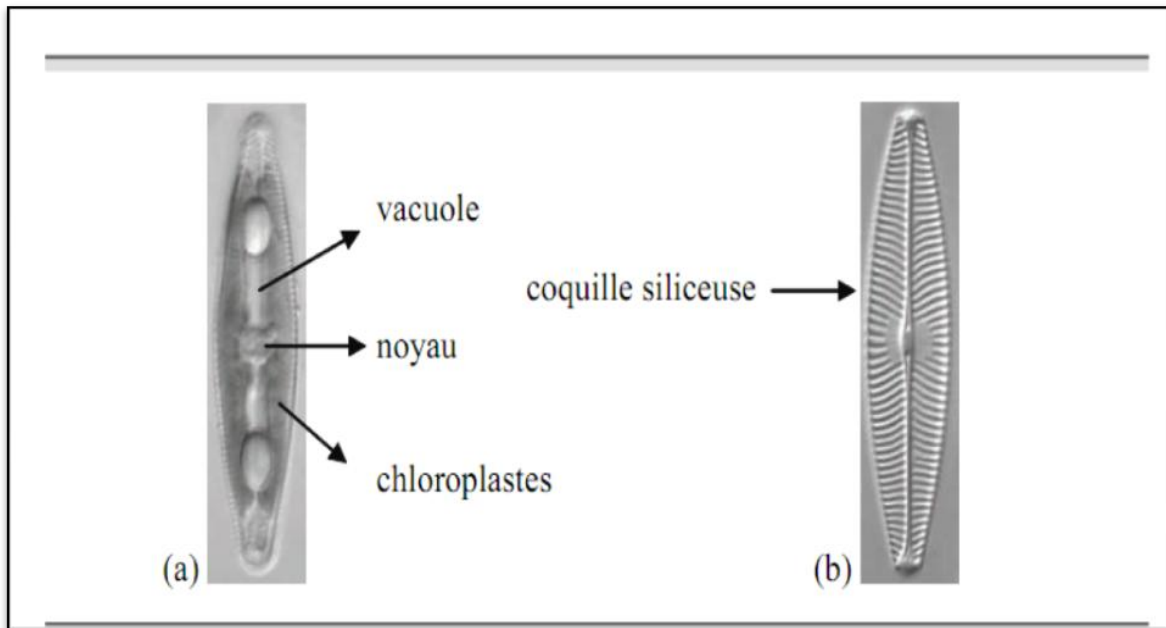
Les diatomées (bacillariophycées) sont des algues microscopiques unicellulaires (eucaryotes) variant de quelques micromètres à plus de 500 micromètres (0,5 millimètre) (Lavoie *et al.*, 2008).

Elles se développent dans les cours d'eau, les eaux stagnantes et les océans, mais également dans l'air et les sols humides. Les diatomées n'ont besoin que de peu de lumière et d'humidité pour se développer, ce qui explique la diversité des milieux où elles se développent. Leur apparition remonte à l'ère jurassique, et Ton a dénombré à ce jour près de 11 000 espèces différentes de diatomées (Prygiel et Coste, 2000).



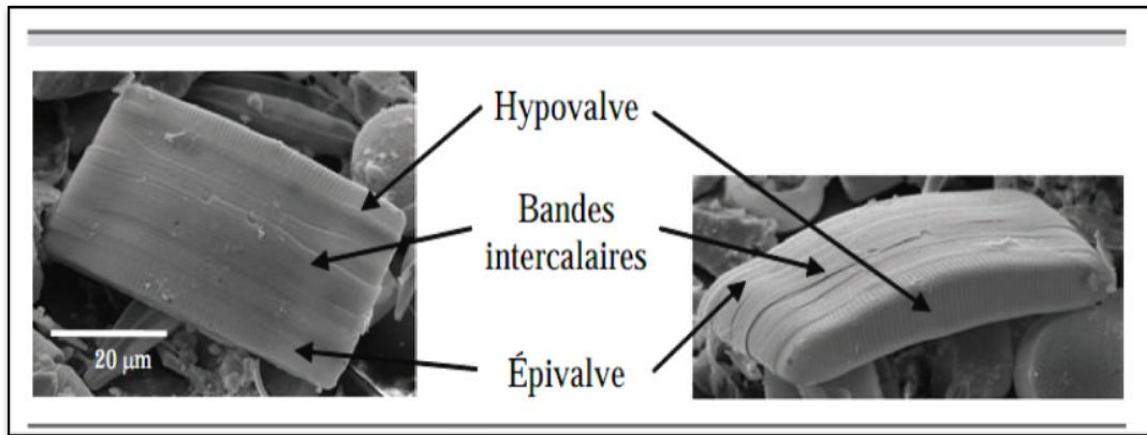
**Figure N°4.** Exemples de diatomées (Claudon, 2007).

Les diatomées ont la caractéristique particulière d'avoir un squelette externe siliceux ( $\text{SiO}_2$ ) à l'intérieur duquel se trouvent le contenu cellulaire (noyau, chloroplastes, mitochondries, vacuoles, etc.) (Figure 5)(Lavoie *et al.*, 2008).

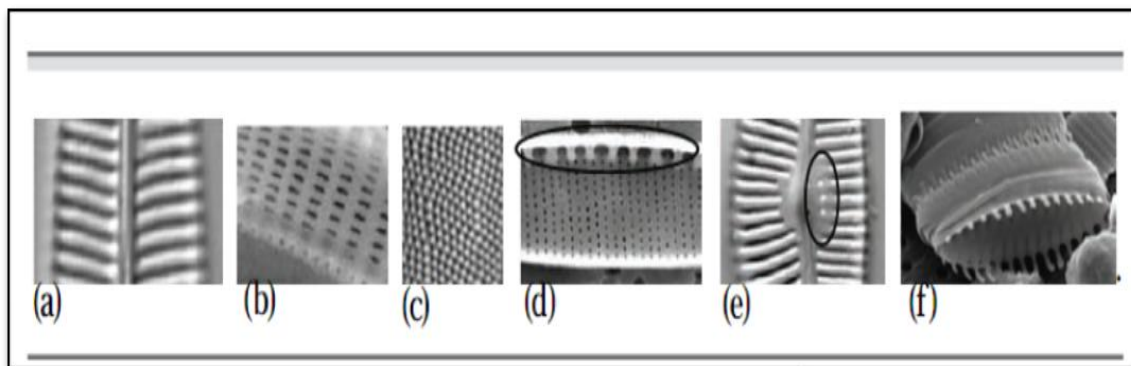


**Figure N°5.** Frustule de *Navicula lanceolata* (a) *Navicula lanceolata* avec contenu cellulaire. (b) *Navicula lanceolata* sans contenu cellulaire (Lavoie *et al.*, 2008).

Le frustule (squelette ou coquille siliceuse) des diatomées est formé de deux valves qui s'emboîtent l'une dans l'autre (Figure 6). C'est donc dire que les diatomées sont de petites boîtes de verre microscopiques. La partie la plus grande du frustule est l'épivalve et la partie plus petite est l'hypovalve. Des bandes intercalaires (ceintures connectives) relient les deux valves. Chaque espèce de diatomée possède une ornementation (stries, fibules, ponctuations, stigma, épines, etc.) particulière qui permet l'identification (Figure 7) (Lavoie *et al.*, 2008).



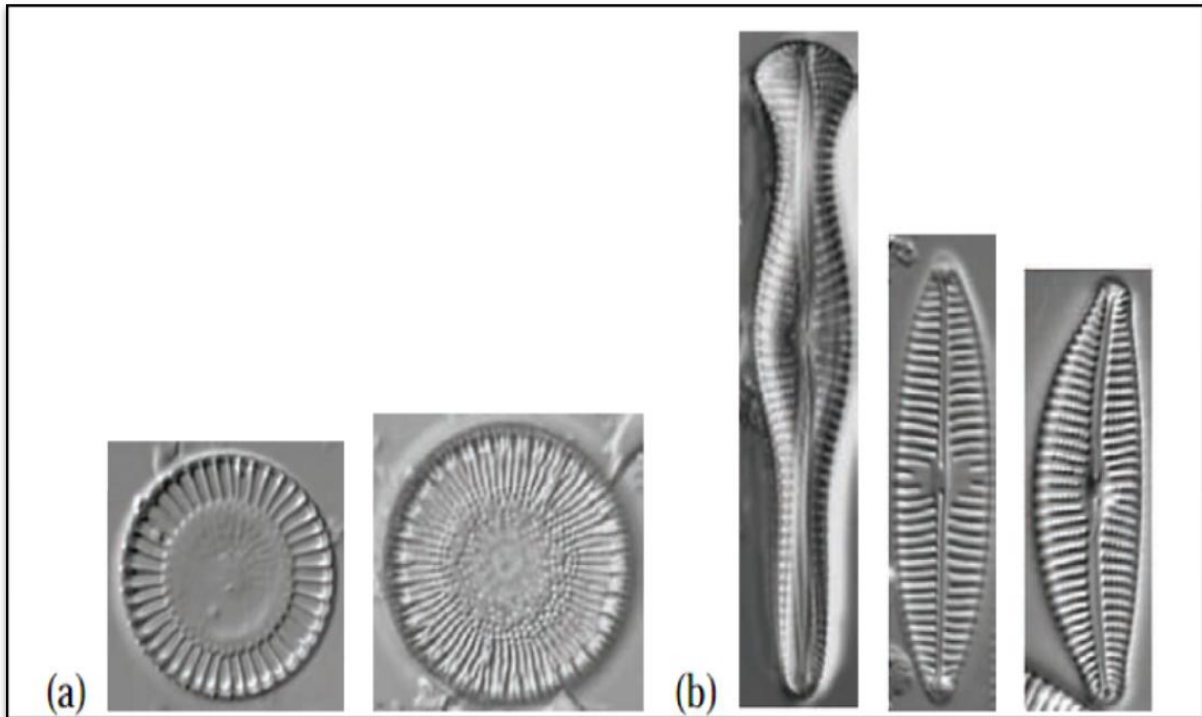
**Figure N°6.** Frustule d'*Eunotia sp.* (Microscope électronique à balayage) (Lavoie *et al.*, 2008).



**Figure N°7.** Exemples des ornementsations des diatomées. (a) Stries (b-c) Ponctuations (d) Fibules (e) Stigma (f) Épines (Lavoie *et al.*, 2008).

Les fossiles de diatomées les plus anciens remontent au Crétacé, il y a plus de 180 millions d'années (Round *et al.*, 1990).

On retrouve deux formes générales de diatomées: les centriques et les pennées (Figure 8). Les diatomées centriques ont une symétrie radiale et les diatomées pennées ont une symétrie bilatérale (Lavoie *et al.*, 2008).



**Figure N°8.** Les formes des diatomées. (a) Diatomées centriques, symétrie radiale (*Cyclotella spp.*). (b) Diatomées pennées, symétrie bilatérale (*Gomphonema sp.*, *Navicula sp.*, *Cymbella sp.*) (Lavoie *et al.*, 2008).

### I.7.1.3. Écologie des diatomées

Les diatomées sont abondantes dans les océans, les lacs, les étangs et les cours d'eau ainsi que dans les tourbières et autres environnements humides (Lavoie *et al.*, 2008).

Les diatomées sont omniprésents dans les eaux douces stagnantes et courantes, survenant tant planctoniques, benthiques, épiphytique (sur les plantes supérieures et d'autres algues) et épizoïques (sur des animaux, tels que le zooplancton) organismes. Ils sont tout aussi réussis que sans formes flottantes et attachés, où ils peuvent être respectivement important dans la formation de bloom plancton et le développement du biofilm (Bellinger et Sigeo, 2010).

Les algues sont liées à l'eau et peuvent dès lors s'installer dans tous les types d'habitat suffisamment humides et éclairés. On peut les retrouver en eau douce, en mer, sur sol humide et même sur la neige. Les algues étant photosynthétiques, elles sont dépendantes de la

présence de la lumière. Aussi, Les algues nécessitent d'être fixées à un substrat, par conséquent, la texture, le degré de cohésion et la nature chimique du substrat ont une importance sur la répartition spatiale des espèces (Gévaert, 2001).

Les diatomées d'une même espèce peuvent également former des colonies en suspension dans la colonne d'eau ou fixées à un substrat (roches, gravier, sédiments, plantes, etc.) (Figure 9) (Lavoie *et al.*, 2008).

### **I.7.1.3.1. Température**

La température influence plusieurs paramètres physicochimiques de l'eau (par exemple, l'oxygène dissous, les nutriments, la conductivité), ce qui rend le rôle de cette variable plutôt difficile à étudier de façon indépendante. Bien que chaque espèce possède son propre gradient de température optimale, plusieurs études ont démontré que les diatomées tendent à dominer entre 5 et 20 °C, les chlorophycées et xanthophycées entre 15 et 30 °C et les cyanophycées à plus de 30 °C (Lamberti et Resh, 1985).

### **I.7.1.3.2. pH**

Le pH est probablement la variable la plus importante contrôlant la composition des espèces dans les écosystèmes d'eau douce (Battarbee *et al.*, 2001).

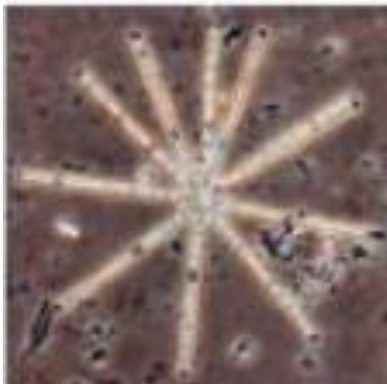
Les diatomées répondent de façon particulièrement marquée aux variations de pH, bien qu'il n'y ait aucune explication écophysologique détaillée permettant de comprendre comment le pH influence la croissance et l'habileté compétitive des espèces de diatomées (Battarbee *et al.*, 2001). Toutefois, il est bien connu que le pH contrôle plusieurs processus chimiques et biochimiques ainsi que certaines réactions, incluant la balance carbonate-bicarbonate, la disponibilité des nutriments, la solubilité des métaux (particulièrement les métaux toxiques, tel l'aluminium), et l'activité d'enzymes comme la phosphatase (Battarbee *et al.*, 2001).

Une forte variabilité dans la composition des communautés de diatomées est observée particulièrement dans les régions où les cours d'eau ont une faible capacité tampon (milieu généralement à faible pH). L'eutrophisation peut dans ce cas provoquer une augmentation du pH. L'effet de l'eutrophisation sur le pH est moindre dans les cours d'eau ayant une concentration naturelle élevée en minéraux (Leland et Porter, 2000).

## I.7.1.3.3. La lumière

Puisque la photosynthèse répond directement aux changements de lumière, les fluctuations dans la quantité et la qualité de celle-ci sont potentiellement responsables d'une partie de la variation dans la croissance et la structure de la communauté d'algues benthiques. Les différentes réponses des groupes taxonomiques aux variations de la lumière peuvent être associées aux différences de pigments photosynthétiques et de membranes (Hill, 1996).

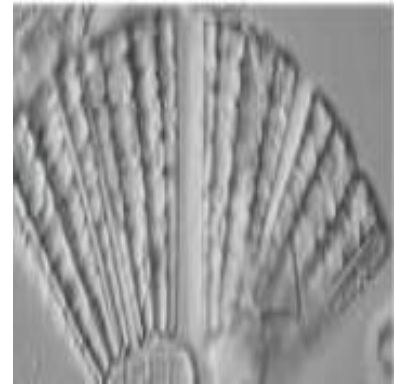
Bien que les diatomées, les cyanobactéries et les rhodophytes semblent mieux adaptées à de faibles intensités lumineuses que les chlorophytes, la plupart des taxons ont probablement un optimum de croissance à des irradiances modérément élevées (par exemple,  $200-800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (Hill, 1996).



(a)



(b)



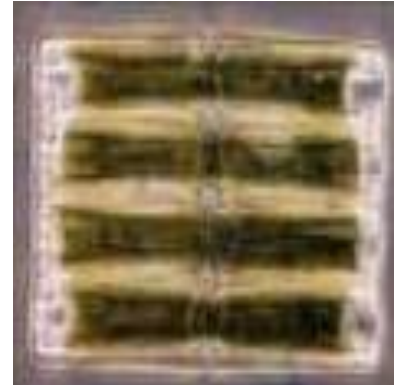
(c)



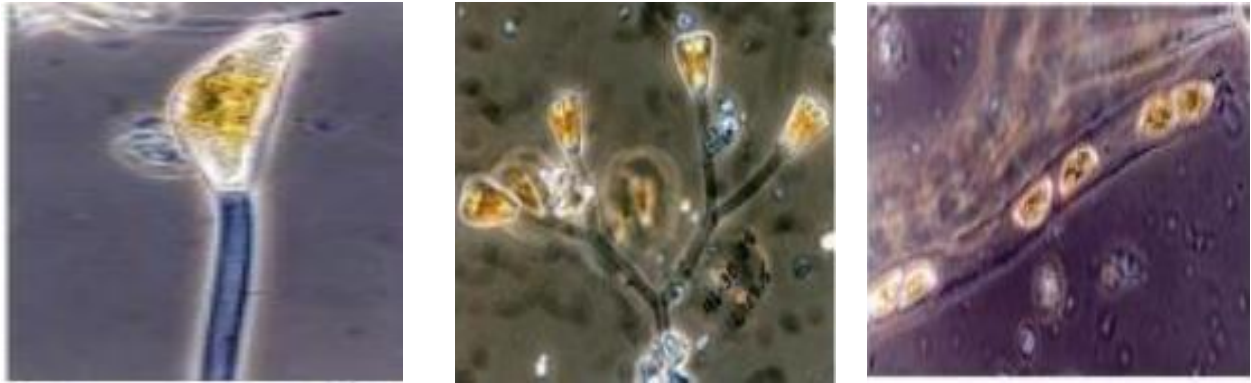
(d)



(e)



(f)



(g)

(h)

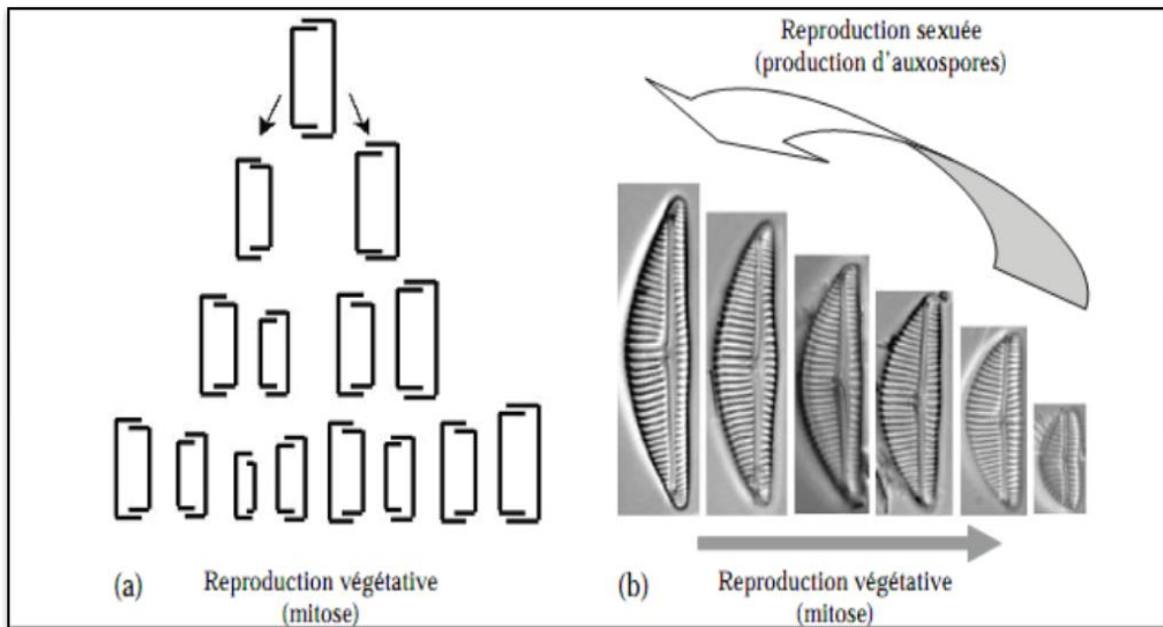
(i)

**Figure N°9.** Les colonies des diatomées. (a), Colonie en étoile; forme planctonique; (b) Colonie en masse; (c) Colonie en éventail; (d) Colonie en ruban; (e-f) Colonie en chaîne; (g) Production d'un pédoncule; (h) Colonie en branches, production d'un pédoncule; (i) Production d'un tube de mucilage. (Photos : Linda M. Ley, Musée canadien de la nature) (Bellinger et Sigee ,2010).

#### I.7.1.4. Mode de reproduction des Diatomées

Les diatomées se reproduisent par séparation des deux valves du frustule et sécrétion d'une nouvelle hypovalve. Chaque division produit une cellule de même taille que la cellule-mère ainsi qu'une cellule plus petite. Ce processus de bipartition engendre alors une réduction progressive de la taille de l'espèce (Figure 10).

Lorsque la taille de l'espèce atteint une valeur minimale critique ou lorsque les conditions environnementales ne sont pas favorables à la multiplication végétative, la reproduction se fait selon un mode sexué (production d'auxospores). La reproduction sexuée permet de regagner la taille maximale de l'espèce (Lavoie *et al.*, 2008).



**Figure N°10.** Les modes de reproduction des diatomées. (a) Reproduction végétative : chaque division conserve une cellule de même taille que la cellule-mère et produit une cellule plus petite. (b) Réduction progressive de la taille de l'espèce. Une reproduction sexuée, par la production d'auxospores, permet de rétablir la taille maximale de l'espèce (Lavoie *et al.*, 2008).

#### I.7.1.5. Problématique de l'identification et de la classification des diatomées

L'analyse d'échantillons s'avère délicate, même pour les spécialistes. En effet, les diatomistes doivent prendre en compte plusieurs phénomènes importants.

- Lors de son cycle de vie, une diatomée se divise pour se reproduire. Les deux nouvelles diatomées sont plus petites et de formes différentes de la précédente, alors qu'elles sont issues d'une même cellule (Claudon ,2007).

- Les différences de motifs entre les espèces peuvent être très subtiles et nécessiter l'œil d'un expert (Loke R.E *et al.*, 2002).

- L'erreur de classification à l'œil nu varie de 20 à 30 % selon les espèces analysées (Guo , 2004).

- le nombre d'espèces connues est très grand (près de 11 000), ce qui complique d'autant le processus d'identification (Claudon, 2007).

La forme du frustule, les pores, les stries, les côtes des valves, la présence et la forme d'un raphé constitueront les principales caractéristiques servant à l'identification des diatomées. En pratique, d'autres facteurs plus complexes peuvent être pris en compte dans l'identification (le cycle de développement du frustule, les méthodes de reproduction sexuelle, les données génétiques, ...), mais l'analyse basée sur les facteurs morphologiques susmentionnés suffit, la plupart du temps, à l'identification et à la classification des espèces de diatomées. Cela est d'autant plus simple et avantageux que leur observation ne nécessite qu'un microscope optique (Claudon, 2007).

### **I.7.1.6. Clé d'identification**

Les diatomées (bacillariophycées) regroupent l'Ordre des Centriques, qui possède une symétrie radiale (forme cylindrique) et l'Ordre des Pennales, qui possède une symétrie bilatérale (forme allongée). L'Ordre des Centriques regroupe surtout des taxons planctoniques, qui sont particulièrement abondants en milieu marin. L'Ordre des Pennales regroupe surtout des taxons périphytiques, qui se retrouvent dans tous les milieux. L'évaluation du nombre total de taxons varie entre 20 000 et 30 000 selon les auteurs (Lavoie *et al.*, 2008).

### **I.7.2. Les cyanobactéries**

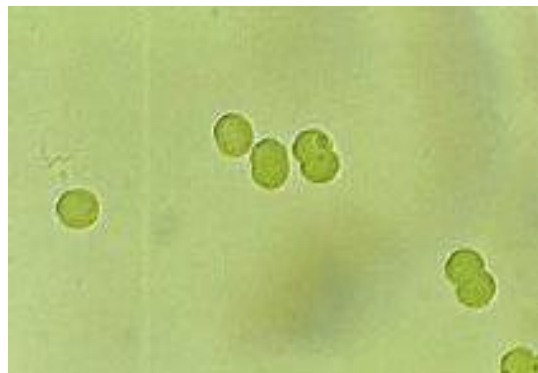
**I.7.2.1. Les cyanobactéries :** qui font partie du phytoplancton, sont parmi les plus anciens organismes apparus sur terre (précambrien) et les plus abondants et largement distribués (Paerl *et al.*, 2001). Procaryotes autotrophes, elles sont présentes dans tous les types de milieux, terrestres ou aquatiques, et sous tous les climats. Dans les eaux douces, les cyanobactéries ont des capacités de prolifération importantes, donnant lieu à des « blooms » (épais tapis à la surface de l'eau ou dispersés dans toute la colonne) qui peuvent être observés dans toutes les régions du monde, y compris en Bretagne (Chorus et Bartram, 1999; Brient *et al.*, 2004).

## I.7.2.2. Diversité écologique

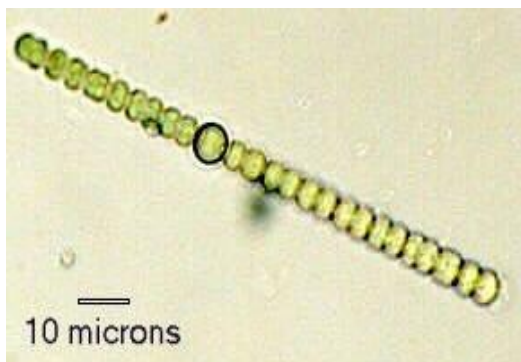
Une des raisons de l'abondance des cyanobactéries dans de nombreux habitats (peut être liée à cette caractéristique. La composition changeante en métaux dans l'environnement terrestre initial pourrait avoir influencé l'évolution de facteurs de résistance à ces nouveaux métaux et de protéines permettant leur utilisation. La tolérance aux faibles concentrations d'O<sub>2</sub> est encore très répandue chez les cyanobactéries et le sulfure libre est toléré par certaines souches à des niveaux très supérieurs à ceux tolérés par les algues eucaryotes (Padan et Cohen, 1982). Une autre caractéristique de certaines souches est leur forte tolérance aux radiations des UV-B et UV-C (Holm-Hansen *et al.*, 1993), caractéristique qui a été très importante pour l'évolution des cyanobactéries (Waterbury *et al.*, 1986).



*Spirulina* sp.



*Synechocystis buzasii*



*Anabaena* sp.



*Aphanizomenon flos\_aqua*

**Figure N°11.** Exemples de la diversité morphologique des cyanobactéries. Photos provenant du site Cyanosite (<http://wwwcyanosite.bio.purdue.edu/images/images.html>).

### **I.7.2.3. Position taxonomiques**

Les cyanobactéries sont des microorganismes procaryotes photosynthétiques à Gram négatif. Elles sont aussi appelées Cyanophycées, ou Cyanophytes, ou encore algues bleu vert, en raison de la présence d'une phycobiline bleue qui leur est propre. Elles sont classées du point de vue systématiques dans la règne des Eubactéries, mais ont été longtemps rangées dans la règne végétale car elles présentent à la fois des propriétés spécifiques des bactéries et des caractéristiques propres aux algues. Comme les bactéries, elles sont dépourvues de membrane nucléaire et d'organites intracellulaires (mitochondries, réticulum endoplasmiques, dictyosome). Comme les algues, elles possèdent des pigments photosynthétiques (ex : chlorophylle a) et appartiennent à la communauté phytoplanctonique qui assure la production primaire par réalisation d'une photosynthèse productrice d'oxygène en utilisant l'eau comme donneur d'électron.

Dans le code international de nomenclature botanique, elles appartiennent à la classe des cyanophycées comprenant différents ordres (ex : ordre des *Nostocales*) et familles et incluant 150 genres et 2000 espèces (pour revue :Duy *et al.*, 2000).

### **I.7.2.4. La réponse des cyanobactéries à leur environnement**

Les cyanobactéries, ou algues bleu-vert comme ils l'habitude d'être appelé jusqu'en 1974, sont les plus anciens photosynthétiseurs oxygénés (Govindjee et Shevela, 2011). La plupart des cyanobactéries possèdent une remarquable capacité à prospérer dans des environnements possédant des paramètres physico-chimiques très fluctuants, tels que la disponibilité en nutriments, la qualité et l'intensité de la lumière, la température et les conditions osmotiques. Des conditions suboptimales de lumière et de nutriments engendrent un nombre de réponses qui influencent fortement la physiologie des cellules. Les réponses peuvent être évidentes ou plus subtiles et les changements induits peuvent s'opérer rapidement ou très lentement. Les cyanobactéries sont généralement des photoautotrophes stricts. Il est donc essentiel qu'elles puissent détecter et répondre à la fois à la qualité et à l'intensité de la lumière (van Liere et Walsby, 1982).

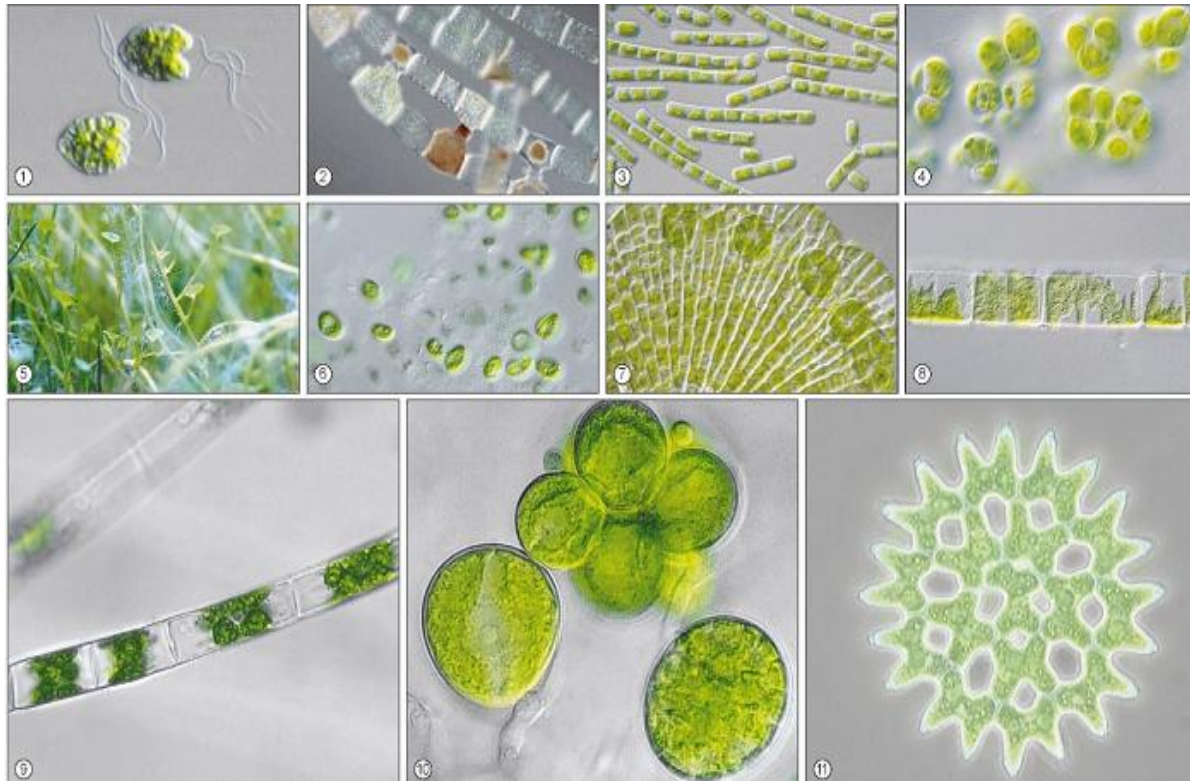
Vonshak et Tomaselli ont isolé plusieurs souches de spiruline, dont un certain nombre ont une gamme de températures optimales entre 24-28 ° C et d'autres jusqu'à 40-42 ° C (Vonshak et Tomaselli ,2003). Les cyanobactéries (ou cyanophycées) ne sont pas mobiles, planctoniques, formant parfois des fleurs d'eau et appartiennent au royaume de eubactérie et

à la division de cyanophycées. Ils sont aussi Gram négatif et sont communes dans certains environnements extrêmes. Les cyanobactéries sont un groupe important et varié morphologiquement (Thajuddin et Subramanian ,2005; Darley , 1982 ;Barsanti et Gualtieri ;2006).

### 1.7.3. Chlorophycée (algues vertes)

Les algues vertes sont des eucaryotes photosynthétiques portant des plastides avec membrane double roulée contenant de la chlorophylle a et b, pigments accessoires trouvés dans embryophytes (carotène et xanthophylles beta), et une structure étoilée unique qui regroupe neuf paires de microtubules dans la base flagellaire (Mattox et Stewart, 1984; Sluiman, 1985; Bremer *et al.*, 1987; Kenrick et Crane, 1997). L'amidon est stocké à l'intérieur des plastes et les parois cellulaires lorsqu'ils sont présents sont généralement composées de cellulose (Graham et Wilcox, 2000)

La plupart microscopique et rarement plus d'un mètre de sa plus grande dimension, les algues vertes compensent leur manque de taille par la diversité des types de croissance (fig. 12) et les détails fins de l'architecture cellulaire. Body (thalle) taille et l'habitude des plages de la natation microscopique ou formes non mobiles (par exemple, nanoplancton, benthos, ou phycobionts lichens) à macroscopique (formulaires ci-joints benthiques). La Structure de thalle offrent toute la gamme de la complexité, de la natation et unicellulaires non mobiles, de filaments, les colonies, et les différents niveaux d'organisation du tissu (pseudoparenchymateux, parenchymateuse, ou thalle) et des morphologies de branchement (Lewis et Mccourt, 2004).



**Figure N°12.** Algues vertes représentant .1. *Halosphaera cf. minor*; prasinophyte. Two conjugating filaments of *Spirogyra maxima*;charophyte. 3. *Klebsormidium flaccidum*; charophyte. 4. *Chlorokybus sp.*; charophyte. 5. Marine macro-alga, *Caulerpa*; an ulvophyte. 6. *Mesostigma*; flagellate charophyte. 7. View of part of a *Coleochaete orbicularis* thallus, with eggs, charophyte. 8. *Entransia fimbriata*; charophyte. 9. *Ulothrix sp.*; ulvophyte. 10. *Myrmecia sp.*; trebouxiophyte (photo by V. Flechtner). 11. Colonial planktonic alga, *Pediastrum duplex*; chlorophyte (Lewis and Mccourt, 2004).

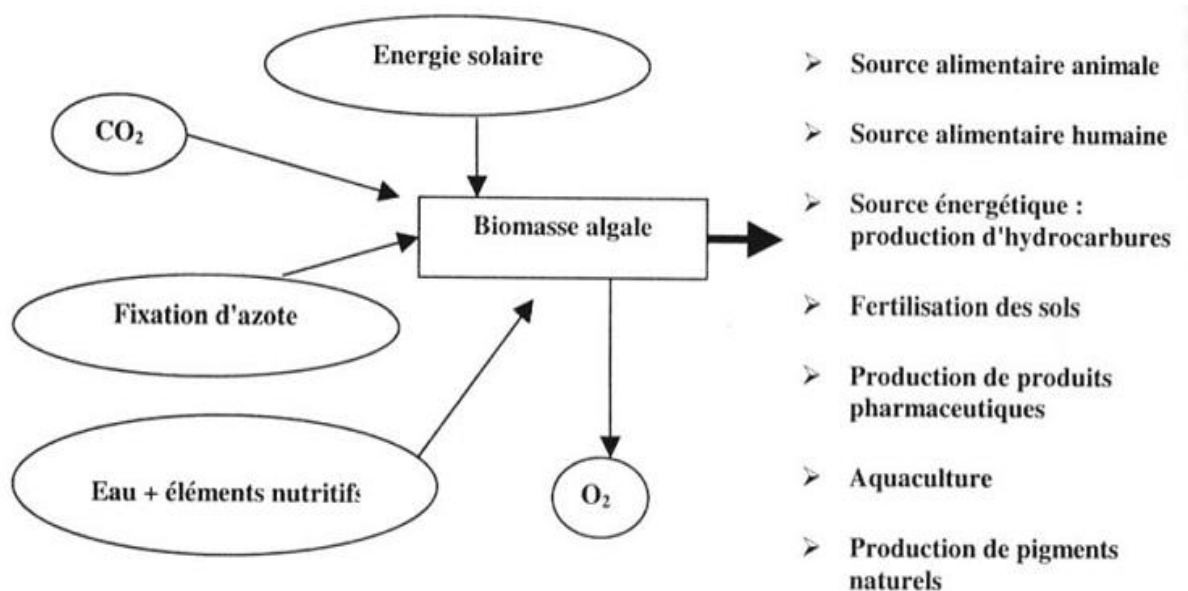
### I.8. Importance des microalgues

Outre l'intérêt écologique considérable comme agents épurateurs des eaux usées, les algues microscopiques jouent un rôle important dans de nombreux domaines (Fig. 13) : elles sont utilisées en agriculture comme engrais biologique pour la fertilisation des sols pauvres, en particulier les sols sahariens squelettiques dont la structure est amoindrie par l'abondance des ions sodium dans l'eau d'irrigation, ce qui engendre des conditions asphyxiantes très défavorables ; ainsi l'apport d'algues microscopiques riches en azote à ce type de sol, peut corriger l'insuffisance en matière organiques. Par ailleurs, ces mêmes algues représentent une source potentielle de protéines alimentaires non négligeable (50 à 60 % du poids sec) pour

l'homme et l'animal qu'il soit terrestre ou aquatique. En effet, ces organismes sont considérés comme le premier maillon de la chaîne alimentaire (phytoplancton) pour les producteurs secondaire (poissons, crustacés, ...) ; elles représentent indéniablement le nutriment essentiel en aquaculture (croissance et développement des poissons) (Chader et Touzi, 2001).

Les microalgues, une vaste catégorie qui englobe les microalgues eucaryotes et les cyanobactéries, peut être cultivée pour produire de la biomasse pour une large gamme d'applications, y compris la nutrition animale et humaine, le secteur de la santé, les cosmétiques et l'agriculture (engrais organiques) (Metting, 1996; Spolaore *et al.*, 2006; Thajuddin et Subramanian, 2005 ; Tan, 2007).

Les Microalgue présentent la seule voie actuelle pour produire le biocarburant (Chisti, 2007; Schenk *et al.*, 2008).



**Figure N°13:** Domaines d'application des algues microscopiques (Chader et Touzi, 2001).

## I.8.1. En pharmacologie et médecine

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).

### **I.8.2. En cosmétologie**

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).

### **I.8.3. 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).

### **I.8.4. Utilisations industrielles**

Il s'agit vraisemblablement d'une utilisation plus prometteuse que la production de protéines d'origine unicellulaire (SCP, Single Cell Protein) alimentaires. Un grand nombre de substances peuvent être extraites des algues:

## **I.8.4.1. Colorants**

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

## **I.8.4.2. Polysaccharides**

Ce sont des agents visqueux ou gélifiants. 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).

## **I.8.4.3. Vitamines et autres produits**

Les microalgues semblent être compétitives comme sources de vitamines A, B1, B6, D, E et K (De la Noüe *et al.*, 1990).

## **II. Algues extrêmophiles et thermophiles**

### **II.1. Algues extrêmophiles**

Des microorganismes phototrophes oxygénique sont abondamment trouvés dans des conditions environnementales extrêmes de température, de pH, concentration en sel, et les radiations. Ces phototrophes extrêmophiles sont des procaryotes (cyanobactéries) et des eucaryotes (différents types d'algues). De nombreux types de microorganismes phototrophes oxygénés peuvent être trouvés dans des environnements extrêmes, à la fois procaryotes (cyanobactéries) et eucaryotes. Ils se produisent à la fois à des niveaux extrêmement élevés (sources chaudes) et températures extrêmement basses (dans les zones sévèrement froids, tels que les zones de pergélisol en Sibérie et en Antarctique). Certains phototrophes ont colonisé les eaux hypersalines ou fortement acides ou alcalines habitats. Certains phototrophes extrêmophiles sont très résistants aux radiations Plusieurs micro-algues vivent dans des environnements très chauds ( $> 70^{\circ} \text{C}$ ), tels que les déserts et la sortie des sources géothermiques. Ils peuvent vivre dans la mer Morte, où les concentrations de sel sont sept fois plus élevées que les océans, et dans des conditions très acides ou très alcalines. Ils peuvent même vivre dans la neige! (Seckbach, 2007).

La survie et la croissance des organismes vivants sont régies par de nombreux facteurs physico-chimiques de l'environnement, chaque organisme étant défini et caractérisé d'après

des paramètres spécifiques qui sont nécessaires à son développement. Les écosystèmes incompatibles avec la vie humaine sont le plus souvent considérés comme extrêmes. C'est le cas lorsque les températures, généralement tempérées à la surface de la terre (4-40°C), s'écartent de cette gamme (Brock, 1978; Madigan, 1997). Une grande partie des microorganismes dans les systèmes naturels ont été rapportés être à des stades dormants, de sorte qu'ils sont membres inactifs de la communauté qui attendent de meilleures conditions pour arriver (Portillo *et al.*, 2009). Méthodes moléculaires à base d'ARN sont mis en place pour détecter sans ambiguïté les microorganismes métaboliquement actives au sein d'une communauté (Mills *et al.*, 2004; Nogales *et al.*, 1999; Portillo *et al.*, 2008).

Ainsi, les microorganismes extrémophiles se développent de façon optimale dans des conditions extrêmes de température, de pH (< 5 et >8), de salinité, de pression hydrostatique ou de radiations ionisantes (Brock, 1978; Madigan, 1997).

Ces environnements extrêmes peuvent être soit leur niche optimale, ou être «limitant» à leur croissance. Un brusque changement dans les paramètres d'environnement induit généralement deux types de réaction en micro-algues: les variations de leur métabolisme et la composition biochimique et / ou des changements dans la structure morphologique. En outre, certains taxons peuvent changer le stade de leur cycle de vie (une variation saisonnière commune à de nombreuses espèces de phytoplancton) (Seckbach, 2007). De nos jours, les organismes extrémophiles gagnent un croissants intérêts échus à leur corps à employer en tant que source renouvelable de différents composés de valeur élevée comprenant des caroténoïdes, acides gras(PUFAs), lipides, vitamines, toxines, les enzymes, etc. (Schiraldi et De Rosa, 2002; Spolaore *et al* ,2006)

Les microalgues peuvent produire plus de 100 caroténoïdes différents, avec une diversité structurale comparable. Caroténoïdes primaires sont généralement synthétisés dans des conditions optimales de croissance, tandis que la production de caroténoïdes secondaires (cétone), situées en dehors des chloroplastes, est souvent renforcée dans des conditions de stress. La composition et le contenu de cétocaroténoïdes varient en fonction de l'algue. (Seckbach ,2007).

En outre, les micro-algues sont aussi une source d'un large éventail de matières grasses, les huiles, les hydrocarbures, et les stérols. Beaucoup de ces métabolites ont le potentiel pour être utilisé soit pour la production de biodiesel ou des applications pharmaceutiques. Les voies de

synthèse de lipides dans les algues sont similaires à ceux trouvés dans les plantes supérieures. Cependant, il ya quelques différences. Ainsi, l'exposition à des conditions de stress entraîne des variations dans la composition des acides gras des huiles dans les algues et la synthèse des lipides par les algues se poursuit, en dépit de la diminution de l'activité photosynthétique observée dans des conditions de stress. Azote stress limitation a la plus grande influence sur le stockage des lipides des algues. Limitation d'autres nutriments essentiels, pour la famine de silice par exemple chez les diatomées, peuvent également entraîner une augmentation de la teneur en lipides. En revanche, certaines microalgues comme *Dunaliella* et *Tetraselmis* répondent à des conditions de stress en diminuant leur teneur en lipides et en produisant des hydrates de carbone (Seckbach ,2007).

La majorité des algues de neige appartiennent à la Chlamydomonadaceae (Chlorophycée). Les espèces les plus connues d'algues de neige est *Chlamydomonas nivalis*. La croissance active de l'algue se fait principalement au printemps et en l'été, quand la neige fond, les éléments nutritifs sont disponibles, et la lumière pénètre à travers le manteau neigeux. Les cellules végétatives sont vert pigmenté, mais ses spores sont rouge vif. Le phénomène, parfois décrite sous le nom de "l'eau melon neige », est connue de tous les continents à l'exception de l'Afrique. Autre les algues qui poussent sur et dans la neige appartiennent à des genres tels que *Chloromonas*, *Ankistrodesmus*, *Raphidonema*, *Mycanthococcus*, et d'autres. Algues de neige ont des cycles de vie complexes dans lesquelles les cellules végétales, les stades sexuels, et les spores de rechange (Hoham et Ling, 2000). La présence de fortes concentrations de sels n'exclut pas la survenue de photosynthèse oxygéniques, et certains phototrophes peuvent prospérer à des concentrations de NaCl jusqu'à saturation. Les microorganismes vraiment halophiles et / ou très halotolérante se trouvent aussi bien dans les domaines des bactéries et les domaines eukaryal et halophiles, ainsi que les algues eucaryotes halophiles et les cyanobactéries contribuent à la production primaire dans les lacs salés (Borowitzka, 1981; Javor, 1989).

Les cyanobactéries sont en bonne place parmi les biotes phototrophe trouvé dans les zones hypersalines tels que les lacs salés, les lagunes hypersalines et marais salants. Beaucoup des espèces exigeant des zone fortement salée et des espèces tolérantes au sel, unicellulaires ou filamenteuse, ont été décrits à partir de ces environnements (Golubic, 1980; Javor, 1989).

## II.2. Algues thermophiles

La température est un facteur physiologique essentiel pour tous les organismes et est certainement une préoccupation pour les thermophiles. Les limites supérieures de températures déterminées en laboratoire pour les micro-organismes et les limites supérieures observés sur le terrain sont assez semblables. 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). Par exemple, la température optimale pour *A. variabilis* est de 35 ° C, tandis que pour *Spirulina sp.* il est dans la gamme de 30 à 38 ° C. Néanmoins, même parmi les genres de la *spiruline sp.* certaines souches sont plus thermophile que d'autres (Murata, 1989).

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 (Castenholz, 1973). D'autres bactéries partager ces environnements avec les cyanobactéries et ont des rôles importants au sein de ces communautés microbiennes (Ward *et al.*, 1990; Weller *et al.*, 1992; Moyer *et al.*, 1995). Dans les tapis microbiens de sources géothermiques, les tapis de cyanobactéries très développés sont communs à température inférieure à 74 ° C et le niveau de pH supérieur à 5,0. *Synechococcus*, *Phormidium*, *Calothrix*, *Mastigocladus* sont quelques-uns des taxons de cyanobactéries qui se trouvent dans des eaux thermales. Cependant, leur modèle de distribution varie avec la gamme de température (Debnath *et al.*, 2009). *Synechococcus* comme les représentants sont les cyanobactéries habituellement trouvés dans des températures plus élevées (près de 60 ° C) (Hongmei *et al.*, 2005), Ainsi, une répartition différentielle des microorganismes dans les couches distinctifs des tapis pourrait être proposée. Tapis colorées distinctes pourraient être le résultat de la composition et la

structure des communautés microbiennes ou l'activité métabolique de leurs composants microbiens (Bauld and Brock 1973; Castenholtz 1973; Ward *et al.*, 1998). Néanmoins, des études antérieures ont été incapables de rendre compte des changements dans les communautés microbiennes de tapis de sources chaudes (Ferris and Ward 1997; Ward *et al.*, 1998).

Les cyanobactéries sont généralement considérées comme des phototrophes microbiennes qui sont caractéristique des milieux aquatiques chauds tels que des sources chaudes (Steunou *et al.*, 2006), les lacs stratifiés pendant l'été (Vazquez *et al.*, 2005) et les océans tropicaux (Johnson *et al.*, 2006). Les cyanobactéries sont parmi les quelques organismes qui peuvent occuper les milieux aquatiques de haute température, y compris les sources chaudes. Dans les sources chaudes alcalines ou neutres et les ruisseaux qui en découlent les cyanobactéries peuvent former des tapis colorés épais qui présentent des profils de bandes (Debnath *et al.*, 2009). Il est moins bien connu que de nombreux taxons de cyanobactéries atteignent leur plus grand succès écologique à l'extrême opposé thermique, dans des environnements polaires et alpins. (Leslie, 1879). Les cyanobactéries vivant dans des eaux thermales du monde ont été étudiées par de nombreux chercheurs (Castenholz 1969, 1996; Brock 1978; Ward *et al.*, 1987, 1989; Sompong *et al.*, 2005).

Dans l'intervalle compris entre 50 et 60 ° C, il ya quelques champignons et l'algue eucaryote d'eaux acides, *Cyanidium caldarium*. Algues bleu-vert photosynthétiques sont connues pour croître à une vitesse constante températures aussi élevées que 73 à 74 ° C (Brock, 1967), et les bactéries non photosynthétiques aussi élevées que 95 ° C. Même de nombreuses espèces d'algues bleu-vert des habitats non thermiques ont température plus élevée optima que les algues eucaryotes des mêmes eaux (Fogg, 1956).

La plupart des habitats thermiques sont aquatiques, et la source de chaleur est tellurique pour la quasi-totalité d'entre eux. Néanmoins, l'insolation peut élever la température suffisamment dans quelques situations et l'auto-échauffement des matières organiques (thermogenèse) peut apporter température localisée au point d'ignition. Les sources d'eau chaude fournissent des habitats aquatiques les plus abondantes pour algues bleu-vert thermophile (Castenholz, 1969), et les sources hydrothermales ont généralement différentes compositions physico-chimiques (Jannasch et Wirsén, 1985). Les sources hydrothermales profondes et peu profondes sont colonisés par des organismes capables de chimolithotrophe

et le chemoorganotrophie à des températures supérieures à 100 ° C et des pressions autour de 20-30 MPa (Stetter 1992; Belkin et al. 1986; Deming et Baross 1986), mais les limites supérieures de la vie n'ont pas encore été identifiées (Canganella *et al.*, 1997).

### II.3. 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 balnéologie et dans une échelle plus petite, chauffage de l'espace et de serres chaudes (Fekraoui et Kedaïd, 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 nombre de sources thermales (Saïbi, 2009).

Tous les sites thermiques s'appellent Hammam ce qui a la même signification que « stations thermales » traditionnelles décrites par Lund, (2002) (Fekraoui et Abouriche, 1999). Aujourd'hui comme dans le passé les stations thermales sont très sollicitées par les algériens pour divers traitements d'ordre rhumatologique, dermatologique (Ouali, 2008).

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).

### II.4. 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 diagnoses (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*...).

La station de hammam Es salihin situé à Khenchela, représente une richesse naturelle aux potentielles économique et culturelle variées. C'est une importante réserve d'eau destinée à des multiples usages. De plus ce plan d'eau constitue un environnement touristique attrayant.

Le travail a consisté à faire une étude microscopique basée sur des caractères morphologiques suivi d'identification systématiques des espèces rencontrées.

Toutefois en Algérie, les connaissances sur les végétaux aquatiques en général et les végétaux des sources thermales en particulier sont limitées.

Par contre, les sources thermales ont fait l'objet d'une étude très poussée dans le monde entier, plus particulièrement aux Etats-Unis et au Japon. Des recherches ont, d'autre part, été entreprises sur l'influence de la température, sur la viscosité du protoplasme, la multiplication cellulaire et sur le rôle du pH dans les cas d'adaptation progressive des organismes aux hautes températures (Hélène, 1966).

La diversité des microalgues et cyanobactéries a fait l'objet de recherche à travers le monde. Parmi les travaux, on peut citer les inventaires réalisés au niveau de certains lacs de la zone tropicale comme le lac mésotrophe Naivasha au Kenya (170 espèces ; Lung'ayia *et al.*, 2000), le lac Baleta au Brésil (174 espèces ; Huszar *et al.*, 2000), les lacs Ingazeira et Barra Bonita au Brésil, où 30 espèces (Bouvy *et al.*, 1999) et 84 espèces (Dos Santos et Calijuri, 1998) ont été respectivement recensées.

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 (Hamaidi *et al.*, 2009).

### **III. Choix de site d'étude :**

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

-Hammam Essalihine : (commune d'El Hamma)

## **III.1.Présentation des sites d'étude : Hammam EL Salihine**

La station thermale de Hammam El Salhine (Khenchela) est située dans la commune d'El Hamma, à **7 km** au Nord Ouest de chef lieu de la wilaya de Khenchela (Figure 3) dans une dépression montagneuse (Berkani ,2011).

Bordant l'oued Kissane, la source de Hammam Essalihine est très riche en minéraux, cette eau est si pure qu'elle n'a besoin d'aucun filtrage. Elle refroidit naturellement avant d'arriver dans les bassins où elle est continuellement brassée. Nichés au fond d'une vallée que dominant de belles montagnes boisées dont l'imposant "Djebel Ras Serdoune" (1500 m d'alt.) (Anonyme ,2009).

## **III.2.Situation géographique**

La station thermale Hammam El Salhine 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).

### **Coordonnées géographiques**

**-Altitude de 1062m**

**-latitude: 35° 26' 17.98" Nord.**

**-longitude: 7° 05' 08.16 "Est.**

## **III.3.Hydrochimie des eaux de hammam essalihin :**

L'étude du chimisme des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur qualité de potabilité, suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et de déterminer leurs origines géologiques. (Berkani ,2011).

### **III.3.1. Température :**

La température représente un facteur limitant de toute première importance car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 2002).

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface, c'est l'un des facteurs qui influe sur la vitesse des réactions chimiques (Khabtane ,2010).

**Tableau N°2 :** Valeur de la température mesurée (Berkani ,2011).

<b>Site</b>	<b>Hammam El Salihine</b>
<b>Température (°C)</b>	<b>73</b>
<b>Classification</b>	Eaux hyperthermales

- Eaux froides : moins de 20°C <http://www.ligne-balneo.com/Les-eaux-thermales.html>
- Eaux hypo thermales : de 21° à 35°C
- Eaux mésothermales : de 35° à 45°C
- Eaux hyperthermales : plus de 45°C

La température de l'eau est influencée par la température de l'air, elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz.

### **III.3.2. Potentiel d'hydrogène (pH):**

Le potentiel hydrogène mesure l'activité des ions H<sup>+</sup> dans une eau, plus simplement, il mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une solution.

A partir de la conductivité électrique on peut évaluer le degré de la salinité de l'eau, elle est aussi fonction de la température ; elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température. (Berkani ,2011).

**Tableau N°3 :** Valeurs du pH et de la conductivité électrique mesuré (Berkani ,2011).

paramètres	pH	Conductivité électrique ( $\mu\text{S/cm}$ )
<b>Hamam El Salihine</b>	<b>7,20</b>	<b>2420</b>

Le pH de toutes les eaux est voisin de la neutralité et varie de 6, 8 à 7, 20, avec un caractère plus ou moins alcalin. Ces valeurs témoignent des variations de la  $\text{CO}_2$ , dissous dans l'eau et aussi de la diffusion du gaz carbonique atmosphérique

Toutes Les valeurs mesurées de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à  $1500 \mu\text{S/cm}$ , cela traduit la grande solubilité des sels à des grandes températures. Ces valeurs indiquent que les eaux thermales de Khenchela sont minéralisées et auraient traversé les terrains triasiques gypso-salifères et sont liées à la grande solubilité des sels ( $\text{Na Cl}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4$  et  $\text{Na}_2\text{SOH}$ ).

### III.3.3. Mesure du potentiel d'oxydoréduction :

**Tableau N°4:** Valeurs du potentiel d'oxydoréduction mesurées (Berkani ,2011).

Site	Hamam El Salihine
<b>Potentiel d'oxydoréduction(MV)</b>	<b>198</b>

Ces valeurs dénotent de la grande aération des eaux et de la nitrification par oxydation des eaux.

➤ **L'eau de Hamam El Salihine est de nature Chlorurée sodique** (Berkani ,2011).

**MATERIEL  
ET  
METHODES**



## Matériel et méthodes

### 1. Prélèvement des échantillons :

Les prélèvements d'eau ont été effectués mensuellement de Mai à Octobre 2011. 6 prélèvements de micro algues ont été réalisés. Sur ces échantillons les espèces ont été identifiées et dénombrés au microscope optique.

Le prélèvement des échantillons d'eau peut s'effectuer de 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.

Les prélèvements ont été réalisés à l'aide de flacons en verre de 250 ml préalablement stérilisés au four Pasteur, 3 h à 150°C (Rodier, 1984). Le transport des échantillons au laboratoire est assuré à une température ambiante (Bouannane *et al.*, 2011).

Les échantillons d'eau destinées aux analyses microbiologique sont prélevées dans des flacons en verre stériles et bien rincées avec l'eau à échantillonnée. Les échantillons devraient être prélevés à l'aide des flacons en verre, 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 ajouté 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 (Findley *et al.* 2001). Les flacons bouchés et agités, sont gardés à 4°C (Aiea, 2005).

Les échantillons prélevés ont été maintenus à l'abri de la lumière jusqu'à leur analyse. Sur ces échantillons les espèces ont été identifiées et dénombrés au microscope optique.

## 2. Conservation des échantillons

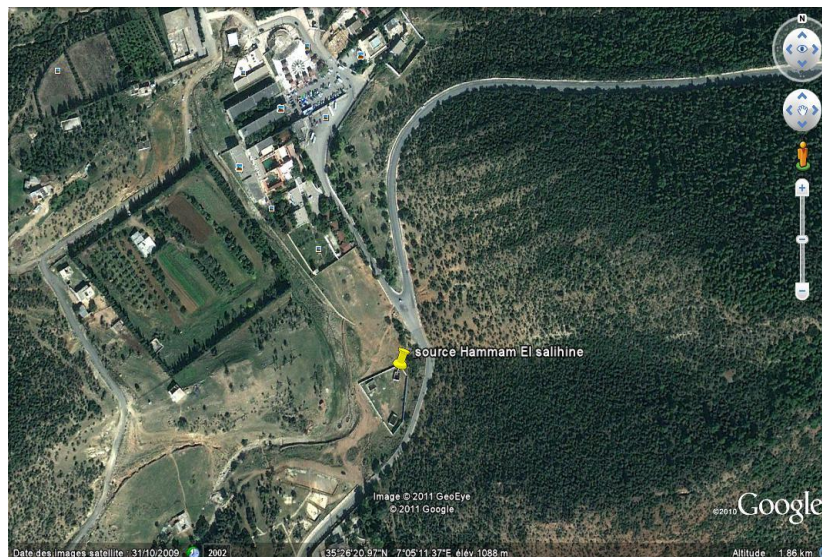
Des précautions doivent donc être prises pour protéger les échantillons de toute contamination ou altération.

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.

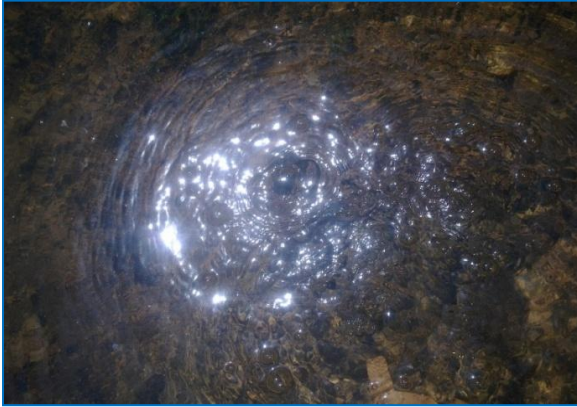
Il est recommandé de conserver les échantillons à l'obscurité et à une température de 4°C dans une glacière.

## 3. Mesure de la température et du pH *in situ*

La température et le pH sont les deux facteurs environnementaux majeurs qui affectent la diversité des communautés microbiennes des sources chaudes terrestres (Huang *et al.*, 2011). Le pH et la température ont été mesurés en utilisant un multi-paramètre (HANNA HI8424) préalablement étalonné.



**Figure N°14:** Représentation du point d'échantillonnage de Hammam El Salihine Khenchela (Google earth)



**Photographie N°1:** Site des prélèvements. Hammam Es Salhin

#### **4. Procédures de laboratoire**

##### **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.

##### **2. Observation microscopique**

Un microscope optique, d'objectifs grossissant de 10, 40 et 100 diamètres, d'un oculaire avec un grossissement de 12,5 diamètres (on trouve aussi des oculaires de 10 X et 16 X) et d'oculaires micrométriques (gradués en mm) sont nécessaires pour l'identification des spécimens collectés. Les accessoires photographiques, bien que non essentiels, pourront permettre de confirmer plus tard des décisions taxinomiques. Aussi des lames et des lamelles propres et des pipettes pasteur.

L'observation de ces algues microscopiques s'effectue aux grossissements successifs 10 ; 40 ; 100.

- ✚ Agiter le flacon, prélever une goutte, la déposer sur une lame et recouvrir d'une lamelle ; Brassier la suspension et prélever 1 ml d'échantillon digéré Déposer uniformément sur une lame de microscope (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.

### **5. Taxinomie des algues 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. Les algues ou cyanobactéries observées sont dessinées à l'aide d'une chambre claire montée sur un microscope optique, ce qui permet en outre de mesurer leurs dimensions. 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 ceux de : Bourelly (1985,1968,1966) ; Bourelly et Couté (1986) ; Compère (1976, 1980, 1991) ; Ling et Tyler (1986) ; Nevo et Wasser (2000) ; Ouattara *et al.*, (2000) ; Zongo (2007) ; Wehr et Sheath (2003) ; et plusieurs d'autres études et recherches faites sur les microalgues.

**RESULTATS  
ET  
DISCUSSION**

## RESULTATS ET DISCUSSION

### 1. Caractéristiques physico-chimiques de la source thermale étudiée

Des études antérieures ont montré que la diversité des communautés microbiennes est influencée par les facteurs physiques et chimiques tels que le pH, la température, la charge en sels minéraux et la disponibilité en nutriments (Sayeh *et al.*, 2010). La température représente un facteur limitant de toute première importance car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 2002). Les propriétés physico-chimiques des eaux thermales de la source étudiée sont résumées dans le tableau suivant:

**Tableau N°5 : Les paramètres physico-chimiques de la source thermale étudiée.**

Paramètres physico- chimiques	Source H. Essalhine
<b>Localisation</b>	<b>35°26'N / 07°05'E</b>
<b>T (°C)*</b>	<b>73</b>
<b>pH*</b>	<b>7,20</b>
<b>Conductivité électrique (µS/cm)</b>	<b>2420</b>
<b>Débit (L/s)</b>	<b>50</b>
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>119</b>
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>52</b>
<b>K<sup>+</sup></b>	<b>19</b>
<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>602</b>
<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>820</b>
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>274</b>
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>293</b>
<b>H<sub>2</sub>S</b>	

\* : mesuré in-situ

Données prises à partir de (Berkani ,2011; Houha, 1996)

Il est intéressant de noter que la source étudiée représente un écosystème extrême par les températures très élevées des eaux (Huang *et al.*, 2011). Elle est caractérisée par une température et un pH de 73°C et 7.2. Selon Richard, une eau est considérée comme hypothermale si elle possède une température comprise entre 21 et 35°C ; mésothermale dans le cas où sa température varie de 35 à 45°C et hyperthermale si elle possède une température supérieure à 50°C. Les données présentées dans le tableau N°5 nous permettent de conclure que la source étudiée se caractérise par des eaux hyperthermales (Richard, 1996).

Les eaux de la source dont le pH est 7.2, sont des eaux neutres. Ces valeurs témoignent des variations de la CO<sub>2</sub>, dissous dans l'eau et aussi de la diffusion du gaz carbonique atmosphérique.

En se basant sur la composition en éléments majeurs des eaux de la source thermale, nous avons déterminé le faciès hydro-chimique de la source. La source se caractérise par un faciès chloruré sodique où prédomine le chlorure de sodium.

En pratique, cela signifie que les microorganismes thermophiles/hyperthermophiles colonisant ces écosystèmes possèdent des rangs de températures optimales de croissance constants durant toute l'année.

## 2. Résultats d'identification

### Inventaire

La détermination des espèces d'algues microscopiques et des cyanobactéries est faite en se référant à l'ensemble des clés de détermination de Bourrelly (1990) ; Bourrelly et Couté (1986) ; Couté et Rousselin (1975) ; John *et al.*, (2002) ; Kadiri (1993) ; Ling et Tyler (1986) ; Nevo et Wasser (2000) ; Ouattara *et al.*, (2000) ; Zongo (2007) ; Wehr et Sheath (2003) ; de Ferragut *et al.*, (2005), d'Iltis (1971, 1972, 1982), de Komarek (2005), de Phung *et al.*, (1992), de Thérézien (1986), de Berger *et al.*, (2005) et de Ba *et al.*, (2006), et plusieurs d'autres études et recherches faites sur les algues microscopiques et les cyanobactéries. Les dessins ont été réalisés à l'aide d'un tube de dessin et les photographies ont été prises avec un appareil photo numérique, équipé d'un microscope optique.

Les résultats concernant l'inventaire des espèces de microalgues recueillis à partir de nos prélèvements dans la station thermale de la région d'étude sont consignés dans le tableau 7.

L'étude qualitative du phytoplancton de station thermale de hammam Es Salihin nous a permis de déterminer 32 espèces identifiées appartenant à 25 genres qui se répartissent dans les embranchements suivants: Chlorophytes, Cyanophytes, Chrysophytes, et Charophytes (tableau 7). (Voir annexe).

**Tableau N°7 :** Inventaire, classification, des espèces de microalgues recensées dans la région d'étude

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Chlorophytes	Chlorophyceae	Tetrasporale	Hydrodictiaceae Volvocaceae	Pediastrum Eudorina Chlamydomonas	tetras elegans sp
		Volvocales	Scenedesmaceae	Scenedesmus	sp
		Oedogoniales	Cladophoraceae	Oedogonium	sp
		Cladophorales		Cladophora	sp
	Trebouxiophyceae	Trebouxiophyceae	Trebouxiophyceae	Chlorella Trebouxia	sp sp
	Zygothryxales ou Conjugophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	Spirogyra Micrasteria	sp papillifera



D'après le tableau, nous pouvons dire que notre région d'étude abrite 32 espèces appartenant à 25 genres de microalgues. Un totale de 17 espèces d'algues et 15 espèces de cyanobactéries ont été identifiés, ce qui souligne la faible diversité des communautés en développement dans la zone d'étude (tableau N°7).

Les formes Solitaires (47%) et filamenteuses (41%) des algues étaient les plus abondants, tandis que les cyanobactéries ont été trouvés à être prédominant sous la forme coloniale (53%).

**Tableau N°8.** Classification morphologique et l'apparition des 32 taxons identifiés.

Algue	%	Cyanobactérie	%
Solitaire	47	filamenteux	27
filamenteux	41	solitaire	20

La biodiversité en eau douce est de la biodiversité au sein des taxons des grandes divisions d'algues dans les systèmes d'eau douce est indiquée par la gamme des habitats qui sont colonisés et par la diversité des caractéristiques génétiques, physiologiques, biochimiques, et structurels qui se produisent au sein du groupe. Le nombre de genres au sein des divisions fournit un indice de biodiversité phénotypique et dans les algues d'eau douce.

Dont 10 espèces de totales de l'espèce répertoriée appartiennent d'embranchement chlorophyte qui comporte 8 ordres. *Trebouxiophyceae*, cet ordre présent une seule famille *Trebouxiophyceae* avec 2 espèces recensées appartient à 2 genres différents. La classe *Chlorophyceae* semble être le plus important avec 5ordres à savoir les *Tetrasporale*, *Volvocale*, *Chlorococcales* ; *Oedogoniales* et *Cladophorales*, alors que les ordres ne sont représentés que par une seule famille. L'ordre des *Zygophyceae* ou *Conjugophyceae* est représenté par deux genre qui ou chacun est représenté par une seul espèce.

L'analyse du tableau N°7 montre que la station comprend 15 espèces de *Cyanophytes*. Cette embranchement est la plus importante. Dont la famille des *Chroococcaceae* l'ordre des *Chroococcale* est le mieux représentée avec 11 espèces. Deux espèces se retrouvent dans genre des *Microcystis*. Le genre *Chroococcus* contient 3 espèces, *Aphanothece* avec 2 espèces. Par ailleurs, une seule espèce a été marquée pour les autres genres.

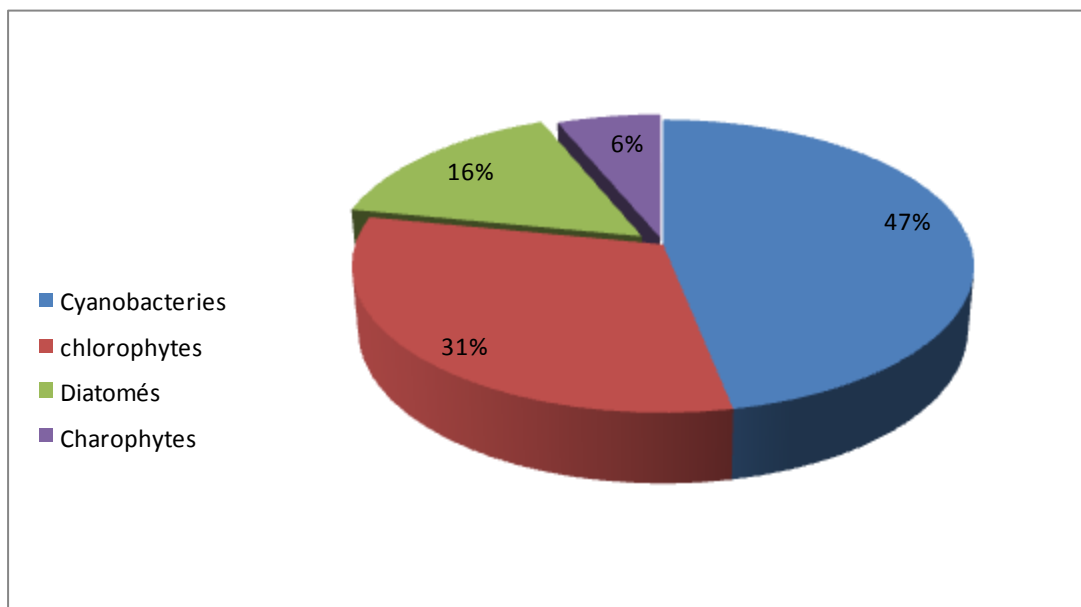
Les familles *Stigonemataceae*, *Rivulariaceae*, *Oscillatoriales* ne sont représentées que par un seul genre.

Nous avons recensé 5 espèces pour l'embranchement Chrysophytes appartient à 3 ordres et se rencontre dans la classe des *Bacillariophyceae* ou *Diatomophyceae*.

La classe des Desmidiaceae apparaît avec une seule famille *Desmidiaceae* qui est représentée par 2 espèces de genre *Desmidium* du dernier embranchement des Charophyta qui est représenté par un seul ordre.

Le recensement des algues de la région d'étude totalise 32 espèces. L'embranchement des Cyanophytes est la plus importante, elle est représentée par 15 espèces.

Le phytoplancton est dominé par des Cyanobactéries, principalement par *Microcystis*, accompagnée de *Chroococcus* et d'*Oscillatoria* capables de fixer l'azote atmosphérique,



**Figure N°15** : Pourcentages des différents Embranchements recensés dans la station de Khenchela

### 2.1. Principaux caractères des genres de Cyanophytes rencontrés

L'étude morphologique des différents genres de Cyanophytes rencontrés dans la source a donné les résultats consignés dans le tableau 9.

**Tableau N°9:** Caractères principaux des genres de Cyanophytes rencontré

Genre	Thalle	Cellule		Ornementation
		Agencement	Forme	
<i>Aphanothece</i>	pluricellulaire	colonie sphérique	ellipsoïdale	Non Ornementée
<i>Chroococcus</i>	pluricellulaire	colonie de 2, 4 ou 8 cellules,	sphérique ou bâtonnets	Non ornementée
<i>Microcystis</i>	unicellulaire	colonie sphérique, cylindrique	sphérique	Non ornementée
<i>Merismopedia</i>	pluricellulaire	colonies rectangulaires	sphérique, ovoïde	Non ornementée
<i>Synechocystis</i>	unicellulaire	solitaire, ou agrégées	sphérique	aérotopes
<i>Oscillatoria</i>	pluricellulaire	trichome longiligne droit ou légèrement dondulée	rectangulaire, convexe	Non ornementée
<i>Spirulina</i>	pluricellulaires	Trichomes en hélice presque fermée	spirale	Non ornementée
<i>Calothrix</i>	pluricellulaires	trichomes qui s'effilent en longs poils incolores.	filament hétéropolaire	Non ornementée
<i>Stichosiphon</i>	unicellulaires	solitaire, ou agrégées,	simplement divisé en paquets.	Non ornementée
<i>Synechococcus</i>	unicellulaire	solitaire,	ovoïdes	Non ornementée

Les Cyanophytes sont des organismes qui partagent en commun l'absence de vrai noyau, et des organites. En effet, ils peuvent être soit à thalle unicellulaire, soit à thalle pluricellulaire.

Les genres à thalle colonial sont caractérisés par la présence d'une gelée homogène. En plus de la gaine gélatineuse homogène, les cellules du genre *Chroococcus* présentent une gaine gélatineuse individuelle le différenciant des autres genres.

En ce qui concerne le genre *Merismopedia*, il se différencie des genres *Aphanothece* et *Microcystis* par ses colonies plates tabulaires dont les cellules sont disposées régulièrement en rangées verticales et horizontales.

Pour les formes filamenteuses, Quant aux autres à trichome nu, sont homocystés, c'est-à-dire dépourvus d'hétérocystes. Chez ces derniers, on distingue les genres à trichome formé de cellules :

- jointives (*Oscillatoria*, *Spirulina*, *Stichosiphon*) ;
- apparemment non-jointives (*Calothrix*).

Cette analyse a montré que le type de thalle, la morphologie et le mode d'agencement des cellules, la présence ou l'absence d'enveloppe (gaine ou gelée) sont autant de caractères qui permettent de différencier les différents genres de Cyanophytes.

## 2.2. Caractères principaux des genres de microalgues rencontrés

Les résultats consignés dans le tableau 10 ont été obtenus grâce à l'étude morphologique des différents genres de microalgues rencontrés.

**Tableau N°10:** Caractères principaux des genres d'algues microscopiques rencontrés

Genre	Thalle	Cellule		Ornementation
		Agencement	Forme	
<i>Stephanodiscus</i>	unicellulaire	Solitaire	discoïde ou en forme de tonneau	appendice, fils délicates rayonnantes
<i>Eudorina</i>	pluricellulaire	Colonies de 16, 32 ou 64 cellules individuelles regroupées, sphérique ou légèrement allongée motile	Sphérique, ovoïde	absente
<i>Chlamydomonas</i>	unicellulaire	Solitaire motile	ovale	absente
<i>Oedogonium</i>	pluricellulaire	filament ramifiés	cylindrique	absente
<i>Cladophora</i>	pluricellulaire	filament ramifiées	ellipsoïdales	absente

<i>Chlorella</i>	unicellulaire	solitaire	sphérique	absente
<i>Trebouxia</i>	unicellulaire	solitaire	sphériques	absente
<i>Spirogyra</i>	pluricellulaire	filament	cylindrique à plastes rubanés en hélice	absente
<i>Micrasteria</i>	unicellulaire	solitaire	étoilé	absente
<i>Gyrosigma</i>	unicellulaire	Solitaire, parfois réunies en colonies.	Valves sigmoïdes avec deux systèmes de stries se croisant à 90° les unes longitudinales et les autres transversales	absente
<i>Diatoma</i>	unicellulaire	Solitaire ou colonie	bivalves symétriques	absente
<i>Scenedesmus</i>	pluricellulaire	cénobe plat,	cylindrique, ovoïde, ellipsoïdale	aiguillon, épine,
<i>Pediastrum</i>	pluricellulaire	Cénobe plat circulaire, ovale	variable	1-4 cornes
<i>Desmidium</i>	pluricellulaire	Filament	rectangulaires, circulaires, triangulaires, coniques, semi-circulaire	membrane parfois ponctuée,
<i>Melosira</i>	unicellulaire	colonies filamenteuses	cylindrique ou subsphérique	appendice, mucron,

Comme chez les Cyanophytes, la forme du thalle permet de séparer les genres d'algues recensés en deux groupes :

- le groupe des genres à thalle unicellulaire (*Melosira*, *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Diatoma*, *Micrasteria*, *Stephanodiscus*)
- le groupe des genres à thalle pluricellulaire (*Spirogyra*, *Scenedesmus*, *Desmidium*, *Trebouxia*, *Eudorina*, *Oedogonium* et *Pediastrum*).

Pour chaque échantillon identifié, une brève description et un dessin sera fournie, ainsi que d'une photographie lorsqu'il achève l'onnées

### **3. Bio écologie des principales espèces d'Algues microscopiques et Cyanobactéries:**

Les taxons vont maintenant être décrits :

#### ***Chlorella***

Cellules sphériques: l'un pariétales et en forme de cuvette avec un chloroplaste pyrénoloïde; de 3 à 4,5 microns de diamètre

#### ***Microcystis***

Les cellules, de forme sphérique (diamètre d'environ 4-5  $\mu\text{m}$ ), sont entourées d'une gaine mucilagineuse et habituellement regroupées avec d'autres cellules dans la gaine, formant ainsi de petites colonies séparées constituées de centaines de cellules dans une gaine.

#### ***Microcystis incerta Lemm.***

Cellules sphériques, de 2,3-3  $\mu\text{m}$  de diamètre, très agglutinées dans une gelée commune.

#### ***Chroococcus limneticus Lemm.***

Colonies de cellules de 5,1-6,5  $\mu\text{m}$  de diamètre, atteignant 24,5-26,5  $\mu\text{m}$  avec la gaine mucilagineuse.

#### **\**Chroococcus minutus (Kitz.) Nag.***

Cellules de 4,8-5,1  $\mu\text{m}$ , entourées d'une gaine mucilagineuse.

#### ***Oscillatoria***

Les trichomes (filaments) d'*Oscillatoria* se présentent souvent comme des rubans denses et opaques qui ondulent de façon caractéristique, d'où le nom de l'algue. Les cellules sont de courts cylindres habituellement plus larges que longs. Les trichomes sont droits ou irrégulièrement tordus, et leur cellule apicale est enflée

### ***Gyrosigma acuminatum* (Kützing) Rabenhorst (1853)**

Valves linéaires-lancéolées au centre, sigmoïdal dévié en larges sommets arrondis carrément. Raphé fente centrale, les fentes centrales déviées dans des directions opposées, des fissures terminales recourbées sur sommets de soupape. Stries transversales plus ou moins parallèles, traversé par des stries longitudinales qui suivent la courbure du raphé.

### ***Scenedesmus* Meyen, 1829**

Genre des algues vertes coloniales de 4, 8, or 16 cellules arranger en rang.

### ***Cladophora* Kütz., 1843.**

Est constituée de filaments ramifiés, dont la couleur vert clair

### ***Chlamydomonas***

Ces algues unicellulaires minuscules (d'une taille de 10 µm environ) sont munies de deux flagelles,

### ***Oedogonium* Hirn, 1900**

Une algue filamenteuse, Son thalle filamenteux n'est pas ramifié, il est fixé par sa base à un support. Chaque cellule comprend un chloroplaste réticulé, avec des pyrénoides.

### ***Spirogyra* sp**

Elles se présentent comme de fins filaments simples, non ramifiés. Au microscope on peut distinguer dans les cellules des éléments rubanés en hélice, de couleur vert vif : ce sont les plastes ou chloroplastes (organes de la photosynthèse) contenant la chlorophylle.

### ***Micrasterias papillifera* (var. *glabra* Nordstedt 1882)**

Unicellulaire solitaire, sa caractéristique principale est la présence sur son enveloppe de papilles pointues situées sur les lobes le long des incisions.

### ***Desmidium* (C. Agardh 1824)**

Unicellulaires ou des cellules lâchement attachées formant des hyphes; corps cellulaire en forme varié, un étranglement au centre dans la plupart des espèces; parois cellulaires constitué par deux ou plusieurs parties, avec de petits pores et des ornements différents

### ***Spiruline***

Ainsi nommée en raison de sa forme filamenteuse spiralée, elle appartient à la famille des cyanobactéries ou microalgues bleu-vert.

### ***Pediastrum tetras* (Ehrenb.) Ralfs**

Cenobes rectangulaires, ovales ou circulaires de 14,2-34,2  $\mu\text{m}$  de diamètre; cellules de 5,1-9,1  $\mu\text{m}$  de diamètre.

### ***Eudorina elegans* Ehrenb.**

Colonies ellipsoïdales a presque sphériques, de 72-90 x 55,5-72  $\mu\text{m}$ ; cellules globuleuses disposées en couronnes plus ou moins parallèles de 10-14  $\mu\text{m}$  de diamètre. - Fig..

### ***Oedogonium***

Filaments simples de 10,5-14  $\mu\text{m}$  de diamètre, a cellules cylindriques de 39-97,5  $\mu\text{m}$  de longueur. Oogone globuleux de 35-36 x 34,5-36  $\mu\text{m}$ , portant un pore supérieur.

### ***Spirogyra* sp.**

Filaments végétatifs simples de 16,5  $\mu\text{m}$  de diamètre, a cellules allongées de 84-102  $\mu\text{m}$  renfermant 2 chloroplastes rubanes spirales en 1,5 a 5 spires. Fig. .

### ***Gyrosigma acuminatum* (Kiitz.) Rabenh.**

Valves sigmoïdes de 65,5-117 x 13,5-17  $\mu\text{m}$ ; stries au nombre de 16-18 en 10 $\mu\text{m}$ .

### ***Microcystis aeruginosa* Kiitz.**

Cellules sphériques, de 4-4,5  $\mu\text{m}$  de diamètre, groupées en colonies dans une gelée amorphe. Fig.

### 4. Discussion

Le recensement de la flore algale de la région d'étude de Khenchela, totalise 32 espèces.

Les résultats expriment que la communauté microbienne de la source thermale est dominée par les cyanobactéries.

Le nombre relativement élevé des Cyanobactéries par rapport aux autres espèces montre l'existence d'un certain nombre de conditions facilitant la croissance de ces espèces dans la station, caractérisée par des eaux thermophiles. La température est un des paramètres les plus importants pour la diversité des espèces des cyanobactéries dans la communauté microbienne des sources thermale. Les travaux de Skirmisdottir *et al.*, (2000), Nakagawa et Fukui (2002), Sompong *et al.* (2005) révélée que la diversité des cyanobactéries et la complexité de la communauté baisse avec l'augmentation de la température.

Dans cette étude, les sources étaient aussi oligotrophes avec des concentrations moyennes en nitrates inférieures à 2,5 mg.l<sup>-1</sup> et en phosphates inférieures à 1,8 mg l<sup>-1</sup> notées dans la zone d'étude. La faible profondeur de ces écosystèmes (profondeur maximale : 52 cm), la conductivité pas trop élevée de l'eau (Tableaux N°7) sont aussi des facteurs affectant les algues.

Toutes les espèces appartiennent à la communauté de phytoplancton, seule communauté qui a fait l'objet de collecte d'échantillons durant les travaux. Toutefois, beaucoup de ces espèces sont caractérisées par des dimensions faibles par rapport aux autres espèces. Le caractère chaud de la zone pourrait expliquer cela. En effet, Les zones d'études étant de type semi aride, ont une pluviométrie assez mal répartie. Les algues s'y développant sont donc le plus souvent juvéniles avec des dimensions plus ou moins petites. Néanmoins, à partir des espèces rencontrées, 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 70°C. Selon Guillaume & Guillaume (1971), une source est dite thermale lorsque sa température excède de plus de 5 à 6°C la température moyenne de l'air dans la zone d'émergence.

Cette étude montre une grande diversité spécifique de la station thermale (32 espèces). Parmi ces espèces, la majorité est nouvelle pour l'Algérie indiquant que peu d'études ont

concerné les micro-algues 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 micro-algues du Khenchela en particulier et l'Algérie en général.

En plus, le faible pourcentage des Desmidiacées peut confirmer cette richesse en sels dissous car selon toujours Iltis (1973), la plupart de ces espèces sont acidophiles, ce qui explique leur rareté dans les eaux thermales riches en sels dissous.

En termes de nombre d'espèces décrites, la comparaison de nos résultats à ceux antérieurs révèle la présence de 32 espèces nouvelles pour la station thermale Il s'agit de :

- ❖ 15 espèces de Cyanophytes (*Oscillatoria chalybea*, *Microcystis delicatissima*, *M.denesa*, *M.incerta*, *Chroococcus limneticus*, *C.minor*, *C.minutus*, *Aphanothece elebans*, *A.sp*, *Synechocystis. Aqualitis*, *S.ambigans*, *Merismopedia. incerta*, *Stichosiphon.sp*, *Calothrix pulvinata*, *Spirulina .sp*.
- ❖ Deux espèces de Charophyta (*Desmidium sp<sub>1</sub>*, *D.sp<sub>2</sub>*).
- ❖ Cinq espèces de chrysophytes (*Gyrosigma acuminatum*, *Diatoma mesodon*, *D.sp*, *Stephanodiscus sp*, *Melosira.sp*)
- ❖ Dix espèces de chlolorophytes

Les Cyanobactéries sont très abondantes dans la plupart des eaux thermales où le pH est plus que 6 et la température est inférieure 72°C (Pentecost, 2003). Ferris *et al.* (1996), Ferris & Ward (1987), Ward *et al.* (1998) présente qu'au gradient thermal de 50 °C à 75°C, la communauté microbienne est caractérisée par la présence des formes unicellulaires comme *Synechococcus*.

L'embranchement des Cyanobactéries est le plus important, elle est représentée par 15 espèces de microalgues. Nous avons trouvés 5 familles des Cyanobactéries ; ce qui correspond à 47.66 pour cent de l'ensemble algues recensées. La famille des Chroococcaceae compte 11 espèces, soit 73 pour cent. Les familles *Oscillatoriaceae*, *Stigonemataceae*, *Rivulariaceae* et *Oscillatoriales* sont représentées par 1 espèce, soit 6,66 pour cent de l'ensemble des Cyanobacteries recensées.

Les espèces dominant à hammam Es Salihin sont similaire pour la plupart des cyanobactéries récentes dans les sources thermales dans le monde (Arif, 1997; Papke *et al.*, 2003; Pentecost, 2003; Sompong *et al.*, 2005).

La présence de *Synechococcus* (l'espèce de cyanobactéries thermophiles la plus connue mondialement) dans la source thermal étudiée confirme la réalité que *Synechococcus* est très bien adapter à la température élevée (Miller et Castenholz, 2000). L'espèce *Synechococcus* est trouvée non seulement a des gammes de température très différent mais aussi cet espèce est trouvé dans diverse sources thermales chimiquement différent au états unis (Ferris *et al.*, 1996).

Il est reporter que la plupart des espèces de cyanobactéries des sources thermales dont la température varies entre 40 -66 appartiennent a l'ordre des *Oscillatoriales* (Pentecost, 2003). Même cas dans notre étude la plupart de cyanobactéries trouvées est reliée à l'*Oscillatoriales*. le cas des cyanobactéries filamenteuses appartient au *Oscillatoriales* dans les eaux riches en sulfure est bien documentées (Chorus et Bartram, 1999; Elshahed *et al.*, 2003).

En plus, des *Oscillatoriales* d'autres espèces appartiennent ordre Nostocales (Ex. *Stichosiphon sp*) Et l'ordre *Stigonematales* sont aussi recordés à hammam Es Salihin durant l'étude. *Stichosiphon* est reporter au nord de Thailand (Sompong *et al.*, 2005), tandis que *F. laminosus* est trouvé dans las sources thermales de Nordfjord Greenland (Roeselers *et al.*, 2006).

La flore algale observée dans les sources thermales de Khenchela a été observée ailleurs, par fois dans des conditions écologiques différentes des nôtres. Dans les sources thermales du Burundi *Oscillatoria granulata*, *Spirulina* *Synechocystis*, *Scenedesmus*, *Synechococcus aeruginosa* et *Oscillatoria*, sont observée en Burindi dans des eaux riches en silice et faiblement minéralisées. une constatation similaire a été faite par Compère & Delmotte (1988) pour les sources thermales de Zambie et par Mpawenayo & Mathooko (2004) pour les sources thermales situées près des lacs aringo et Elmenteita au Kenya. Selon Compère & Delmotte (1988), les diatomées des sources thermales sont des espèces thermo-tolérantes ayant leur origine dans les régions avoisinantes.

Que ces espèces thermophiles soient obligatoires n'est pas connue, mais la connaissance de la température optimale pour la croissance maximale serait partiellement répondu à cette question. Brock et Brock (1966) ont montré que les taux de croissance maximale de certaines algues bleu-vert ont été atteints entre 50 et 55°C. Peterson (1946) a observé les chloroplastes chez les diatomées de matériel conservé dans les eaux prises à des températures aussi élevées que 70 ° C dans collections prises par Eric Hulthen de Hot Springs sur la péninsule du Kamtchatka, en Sibérie,

Cependant, une température autour de 74 ° C semble être la limite supérieure pour la photosynthèse (Castenholz, 1969; Brock, 1978). Les cyanobactéries la plus tolérante à des températures élevées sont des formes unicellulaires (*Thermosynechococcus*), qui se développent en Amérique du Nord (par exemple, les sources chaudes de Yellowstone), le Japon et la Méditerranée orientale (Castenholz, 1969), mais des cyanobactéries filamenteuses abondent aussi dans les sources chaudes dans le monde entier (Copeland , 1936; Castenholz, 1969, 1984, 1996; Brock, 1978). Bien qu'en général, les diatomées ne sont pas considérés thermophile (ronde 1965), il est évident que quelques espèces peuvent supporter des températures au-dessus de 40°C.

Sur le plan biogéographique, les formes cosmopolites sont nombreuses (Bourrelly, 1990 ; Ouattara *et al.*, 2000 ; Zongo, 2007). Dans la présente étude plus de 50% des espèces sont cosmopolites et subcosmopolites. D'autres sont rencontrées uniquement dans certaines régions du globe surtout dans L'Afrique tropicale.

**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 algues microscopiques associées à la source thermale de *Hammam Es Salihin* de la wilaya de Khenchela. Cette étude a été menée par une étude morphologique suivie d'une caractérisation et une estimation de la richesse spécifique à cette station thermale.

L'étude morphologique a permis d'identifier 32 espèces d'algues et de Cyanobactéries réparties en 25 genres et 14 familles. Concernant les algues, les algues microscopiques sont dominantes avec un taux de 53,12% dont 31,76% de Chlorophycées, 16% diatomées et 5,36 % charophytes.

En deuxième position viennent les Cyanophytes représentant un taux de 46,87 %.

Nous avons trouvés 15 espèces de cyanobactéries reparties en 5 familles; ce qui correspond à 46.78 % de l'ensemble algale recensées. La famille des *Chroococcaceae* vient en première position avec 11 espèces, soit 73,33 % de totale des cyanobactéries répertoriés. En deuxième position viennent les familles *Oscillatoriaceae*, *Stigonemataceae*, *Rivulariaceae* et *Oscillatoriales* représentées par une seule espèce, soit 6,66 % des Cyanobactéries recensées.

Cette diversité algale de 32 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 micro-algues 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 micro-algues du Khenchela en particulier et l'Algérie en général. L'embranchement des Cyanobactéries est la plus importante, elle est représentée par 15 espèces de microalgues.

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 *Es salihin*.
- ✚ Procéder à l'illustration (photos, dessins) des espèces identifiées ;
- ✚ Décrire et d'identifier les espèces de diatomées :

## Conclusion et perspectives

---

- ✚ Extraire et purifier les molécules bioactives produites (enzymes).
- ✚ Confirmer l'identification de ces souches par des tests chimiotaxonomiques et des analyses phylogénétiques. Et par l'emploi des outils du génie moléculaire.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

- Anonyme. (2009).** Tourisme magazine d'Algérie N°17, 54 p.
- A.I.E.A. (2005).** Radiological Conditions at the Former French Nuclear Test Sites in Algeria: Preliminary Assessment and Recommendations. STI/PUB/1215, Austria.
- John S, Terri D, John B, Paul R. (1998).** A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program—Biodiesel from Algae. NREL, USA.
- Alain le MARECHAL. (1976).** géologie et géochimie des sources thermominérales du Cameroun ORSTOM-PARIS. p 59.
- Amos. R. (2004).** Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Blackwell Publishing Lt .3p.
- Athemena M. (2006).** Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone sud sétifien. Thèse de doctorat. Faculté des sciences de l'ingénieur. Batna. Algérie.. 125p.
- Aubert M. (1970).** Théorie générale de l'autoépuration de la mer. Premier article. Scientia 105 (1/2): 7-25. Cité par (Dabbadie. L, 1992).
- Barsanti L, Gualtieri P. (2006).** Algae: anatomy, biochemistry and biotechnology. New York: CRC Taylor & Francis.
- Battarbee, R.W., N.G. Cameron, P. Golding, S.J. Brooks, R. Switsur, D. Harkness, P.G. Appleby, F. Oldfield, R. Thompson, D.T. Monteith et A. McGovern. (2001).** Evidence for Holocene climatic variability from sediments of Scottish remote mountain lake. Journal of Quaternary Science, 16: 339-346.
- Bauld J, Brock TD. (1973).** Ecological studies of Chloroflexis, a gliding photosynthetic bacterium. Arch Microbiol 92:267–284
- Bauld, J., and T. D. Brock. (1974).** Algal excretion and bacterial assimilation in hot spring algal mats. Journal of Phycology 10:101-106.
- Becerra Celis .G.P (2009).** Proposition de stratégies de commande pour la Culture de microalgues dans un photobioreacteur continu. Thèse de Doctorat. École centrale paris. 5-7p.

- Bellinger .EG& Sigeo.DC. (2010).** Freshwater Algae ; Identification and Use as Bioindicators .A John Wiley & Sons, Ltd, Publication.UK.
- 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., Calliguri, G., Galy-Fauroux, I., Collic-Jouault, S.,**
- Bordat P. , H. Cousse, E. Neuzil , B. Dufy. (2000).** Eau thermale d'avène et dynamique du calcium intracellulaire Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 139, 21-44
- Borowitzka, L.J. (1981).** The microflora. Adaptations to life in extremely saline lakes. Hydrobiologia 81: 33–46.
- Borowitzka, M. A. and L. J. Borowitzka (1988).** Micro-algal biotechnology. Cambridge [Cambridgeshire]; New York, Cambridge University Press.
- Bouanane-Darenfed A., Fardeau L., Grégoire P., Manon J., Kebbouche-Gana S., Benayad T. et al. (2011).** *Caldicoprobacter algeriensis* sp. nov. a New Thermophilic Anaerobic, Xylanolytic Bacterium Isolated from an Algerian Hot Spring, Current Microbiology.; 62: 826-32.
- Bourrelly P. (1966).** Les algues vertes, initiation à la systématique, Tome I. Collection Faunes et Flores actuelles, édition Boubée, Paris. 511.
- Bourrelly P. (1968).** Les algues jaunes et brunes, Tome II. Collection Faunes et Flores actuelles, édition Boubée, Paris. 438 p.
- Bourrelly P. (1985).** Les algues d'eau douce, initiation à la systématique », Tome III. Collection Faunes et Flores actuelles, édition Boubée, Paris. 512p.
- Boyd C.E. (1986).** Water quality and fertilisation. In: R. BILLARD et J. MARCEL (eds), L'aquaculture des cyprinidés. I.N.R.A. publ. Paris: 283-294.
- Bremer, K. (1985).** Summary of green plant phylogeny and classification. Cladistics 1: 369–385.

**Brient,L .,Legeas,M.,Leitao,M.,Peigner,P. (2004).** Etude interrégionale Grand Ouest sur les cyanobactéries en eau douce. Rapport DASS/DRASS des régions Basse-Normandie, Bretagne et pays de Loire, 80p.

**Brock, T. D. (1967).** Life at high temperatures. *Science* 158:1012-1019.

**Brock T.D. (1978).** *Thermophilic Microorganisms and Life at High Temperatures.* Springer-Verlag, Berlin, 465 pp.

**Cardozo, K. H., T. Guaratini, et al. (2007).** "Metabolites from algae with economical impact." *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & pharmacology : CBP* 146(1-2).

**Castenholz Richard W. (1969).** Thermophilic Blue-Green Algae and the Thermal Environment. *Bacteriological Reviews*, Vol. 33, No. 4, p. 476-504.

**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, pp 379–414.

**Castenholz R.W. (1996).** Endemism and biodiversity of thermophilic cyanobacteria. *Nova Hedwigia Beih.* 112: 33-47.

**Cellamare. M. (2009).** Évaluation de l'Etat Ecologique des Plans d'Eau Aquitains à partir des Communautés de Producteurs Primaires. Thèse .Doc. L'université bordeaux 1.23p

**Chader .S et Touzi .A. (2001).** Biomasse Algale : Source Energétique et Alimentaire *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse*, 47-50p

**Chenaker. H. (2010).** Etude des caractéristiques physico-chimiques des ressources thermales de l'est algérien (Khenchela, Guelma, Biskra).Mémoire de Master.Départ.Chimie Centre.Univ.Khenchela.34, 57, 70 p.

**Chisti, Y. (2007).** "Biodiesel from microalgae." *Biotechnology Advances* 25(3): 294-306.

**Chorus,I.,Bartram,J.(1999).** Toxic cyanobacteria in water .In:AGuide to public Health Consequences ,Monitoring and Management .E and FN Spon on behalf of WHO ,London.416p.

**Claudon .N. (2007).** Classification automatique des diatomées : Une approche par les motifs des structures internes. Mémoire présenté comme exigence partielle de La maîtrise en mathématiques et informatique Appliquées. L'université du Québec.

**Couté. A. (1995).** « Diversité chez les microalgues », Revue : *Techniques sciences méthodes, génie urbain génie rural*, n°1 (79 p.) Paris, FRANCE, 20-24p.

**Crispim, C. A., P. M. Gaylarde, et al. (2003).** "Algal and cyanobacterial biofilms on calcareous historic buildings." *Curr Microbiol* 46(2): 79-82

**Dabbadie. L. (1992).** Cultures intensives de microalgues sur Lisier de porc: performances, contraintes, utilisation des biomasses. Diplôme d'agronomie approfondie. Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier. 13-21p

**Dabouineau, L. (2004).** Un autre regard sur les algues marines. *Le Rôle d'eau*. 118, 1-4p.

**Darley WM. (1982).** *Algal biology: a physical approach*. London: Blackwell Scientific Publications.

**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): 185-193,

**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: 389-418.

**Deming JW, Baross JA. (1986).** Solid medium for culturing black smoker bacteria at temperatures to 120° C. *Appl Environ Microbiol* 51:238–243.

**Dib H. (2008).** Guide pratique des sources thermales de l'Est algérien. Mémoires du Service Géologique National. Alger. 2008. 105p.

**Doré-Deschênes. F. (2009).** Utilisation des microalgues comme source d'énergie durable ; essai présenté au centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (m.env.) centre universitaire de formation en environnement. Univ. sherbrooke longueuil, québec, 1p.

**Duy, T.N., Lam, P.K.S., Shaw, G.R. and Connell, D.W. (2000).** Toxicology and risk assessment of freshwater cyanobacterial (blue –green algal) toxin in water .*Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 163, 113-186.

**Edward G. Bellinger et David C. Sigeo. (2010).** *Freshwater Algae Identification and Use as Bioindicators* , by John Wiley & Sons, Ltd , UK. 1 p.

**Fekraoui. A; Kedaïd F-Z. (2005).** Geothermal Resources and Uses in Algeria: A Country Update Report Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29.

**Fekraoui A. et Abouriche A. (1999).** Ressources Géothermiques du Nord de l'Algérie - Eléments de l'Atlas Géothermique *Rev. Energ. Ren. : Valorisation.* 159-162

**Ferris M.J., Ruff-Roberts A.L., Kopczynski E.D., Bateson M.M. and Ward D.M. (1996).** Enrichment culture and microscopy conceal diverse thermophilic *Synechococcus* populations in a single hot spring microbial mat habitat. *Appl. Environ. Microbiol.* **62**: 1045-1050.

**Ferris MJ, Ward DM. (1997).** Seasonal distributions of dominant 16s rRNA-defined populations in a hot spring microbial mat examined by denaturing gradient gel electrophoresis. *Appl Environ Microbiol* 63:1375–1381.

**Fogg, G. E. (1956).** The comparative physiology and biochemistry of the blue-green algae. *Bacteriol. Rev.* 20:148-165.

**Canganella. F; Gonzalez. M; Yanagibayashi. M; Kato. C ; Horikoshi. K. (1997).** Pressure and temperature effects on growth and viability of the hyperthermophilic archaeon *Thermococcus peptonophilus*. *Arch Microbiol* 168: 1–7.

**Gayral P. (1975).** *Les algues : morphologie, cytologie, reproduction, écologie.* Edit. Dion. 166p.

**Gaylarde, P. M., C. A. Crispim, et al. (2005).** "Cyanobacteria from Brazilian building walls are distant relatives of aquatic genera." *Omics* 9(1): 30-42

**Gévaert. F. (2001).** ‘‘ Importance des facteurs de l’environnement et du phénomène de photoinhibition sur la production des grandes algues marines ’’, Thèse de Doctorat, Université des sciences et technologies de Lille, France.

**Graham, L. E., and L. W. Wilcox. (2000).** Algae. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

**Guigue S. (1947).** “ Les sources thermo minérales de l’Algérie”, Etude géochimique, Bulletin du service de la carte géologique de l’Algérie, série 3, volume 2. Cité par Ouali S. Les sources Thermales en Algérie. Recherche et Développement. 2008; 13: 17-18.

**Guigue S. (1940).** Les sources thermo-minérales de l’Algérie. Bulletin du service de la Carte géologique de l’Algérie. 140 p.

**Golubic, S. (1980).** Halophily and halotolerance in cyanophytes. *Orig. Life* 10: 169–183.

**Gonzales. J. (1997).** “Initiation à l’histoire de la médecine”, Editions Heures de France, pp 190.

**Goubier V. (1990).** Le phytoplancton et les problèmes de désoxygénation en étang de pisciculture. Assoc. dév. aquac. 21: 1-46.

**Govindjee and Dmitriy Shevela. (2011).** Adventures with cyanobacteria: a personal perspective. *Frontiers in Plant Science*, vol. 2, article 28: 1-17.

**Guo Q., Chalifour A., Nouboud F., Campeau S., Lavoie I., Mammass D. et El Yassa M. (2004).** Diatom Classification by Image Analysis, IEEE SETIT International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, Tunisia.

**Harun, R., M. Singh, et al. (2010).** "Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(3): 1037-1047.

**Hedges, S. B., Blair, J. E., Venturi, M. L. et Shoe, J. L. (2004).** "A molecular timescale of eukaryote evolution and the rise of complex multicellular life." *BMC Evolutionary Biology*, <http://www.biomedcentral.com/1471-2148/4/24>: 2.

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

**Helley, D., Fisher, A.M. (2007).** Neoangiogenesis induced by progenitor endothelial cells: effect of fucoïdan from marine algae. *Cardiovascular and Hematological Agents in Medicinal Chemistry*. 5, 67-77.

**Hoham, R.W., and Ling, H.U. (2000).** Snow algae. The effects of chemical and physical factors on their life cycles and populations. In: J. Seckbach (ed.), *Journey to Diverse Microbial Worlds*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 131–145.

**Hill, W. (1996).** Effects of light. Dans *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Stevenson, R.J., M.L. Bothwell et R.L. Lowe (dir.). Academic Press, San Diego, p. 121-148.

**Holm-Hansen, O., Lubin, D. & Heibling, E. W. (1993).** Ultraviolet radiation and its effect on organisms in aquatic environments. In: *Young AR, Bjorn LO, Moan J, and Nultsch W (eds) Environmental UV Photobiology*, 319-425.

**Houha B. (1996).** Qualité des eaux de Khenchela, étude hydrochimique. Thèse de magistère. Université de Badji Mokhtar. Annaba. Algérie.

**Houha Belguacem. (2007).** Etude de fonctionnement hydrogéochimique et isotopique des eaux de khenchela, thèse doctorat d'état, université d'Avignon (France).

**Huang Q., Dong C.Z., Dong R.M., Jiang H., Wang S., Wang G. et al. (2011).** Archaeal and bacterial diversity in hot springs on the Tibetan Plateau, China. *Extremophiles*. 15: 549–563.

**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.*42:1140–8.

**Issadi A. (1992).** Le thermalisme dans son cadre géo-structural, apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. Thèse de doctorat d'état.IST. USTBH. Alger.. 274 p.

**Javor, B. (1989).** Hypersaline Environments.Microbiology and Biogeochemistry. Springer-Verlag, Berlin.

**Jannasch HW, Wirsen CO. (1985).** Variability of pressure adaptation in deep sea bacteria. *Arch Microbiol* 139:281–288.

**Javor, B. (1989).** Hypersaline Environments.Microbiology and Biogeochemistry. Springer-Verlag, Berlin.

**Jean René Durand, C. Lévêque. (1980).** Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne, Volume 1 .IRD Editions, 9 p.

**John RP, Anisha GS, Nampoothiri KM, Pandey A. (2010).** Micro and macroalgal biomass: arenewable source for bioethanol. *Bioresour Technol.* doi:10.1016/j.biortech.2010.06.139.

**Johnson, Z.I., Zinser, E.R., Coe, A., McNulty, N.P., Malcolm, E., Woodward, S. and Chisholm, S.W. (2006)** .Niche partitioning among *Prochlorococcus* ecotypes along ocean-scale environmental gradients. *Science* 311: 1737–1740.

**Keeling, P. J., Deane, J. A., Hink-Schauer, C., Douglas, S. E., Maier, U.-G. Et McFadden, G. I. (1999).** "The secondary endosymbiont of the cryptomonad *Guillardia theta* contains Alpha-, Beta-, and Gamma-tubulin Genes." *Mol. Biol. Evol.* 16: 1308-1313.

**Khabtane .A . (2010).** Contribution à l'étude du comportement écophysiological du genre *Tamarix* dans différents biotopes des zones arides de la région de Khenchela mémoire de magistère. Département de Biologie et Ecologie .univ .Constantine, 4 5 6 8 p.

**Kenrick, P., and P. R. Crane. (1997).** The origin and early evolution of plants on land. *Nature* 389: 33–39.

**Knuckey R.M. (1998).** Isolation of Australian Microalgae and Preparation of Microalgal Concentrates for use as Aquaculture Feeds. *PhD Thesis University of Tasmania*, December 1998, 254 pp.

**Kornprobst, J.M. (2005).** Substances naturelles d'origine marine : chimiodiversité, pharmacodiversité, biotechnologies. In: Kornprobst, J.M (Eds.). France, Paris, Tec & Doc, 1830 p.

**Kristjansson J.K. et Hreggvidsson G.O. (1995).** Ecology and habitats of extremophiles. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 11: 17-25.

**Lakkis,S, (2011).** phytoplancton marin du Liban (méditerranée orientale) biologie, biodiversité, biogéographie. Ière édition .ARACNE editrice Roma: 8 \_9 p

**Lamberti,G.A et V.H.Resh. (1985).** Distribution of benthic algae and macroinvertebrates along a thermal stream gradient. *Hydrobiologia*, 128: 13-21.

**Lavoie.L § Paul B. Hamilton § Stéphane Campeau § Martine Grenier § Peter J. Dillon. (2008).**Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada Presses de l'Université du Québec. Québec 3-4 p

**Lee, R.E. (1989).** Phycology, Second édition, Cambridge University Press, 645pp. **Mann, d.g. Et s.J.M. droop (1996).** Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. *Hydrobiologia*, 336: 19-32.

**Leland, H.V. et S.D. Po r t e r. (2000).** Distribution of benthic algae in the upper Illinois River basin in relation to geology and land use. *Freshwater Biology*, 44: 279-301.

**Leslie, A., (1879)** .The Arctic Voyages of Adolf Erik Nordenskiöld. MacMillan and Co., London, UK,447 pp.

**Lewis. A and McCourt. M. (2004).** Green algae and the origin of land plant. American Journal of Botany 91(10): 1535–1556.

**Loke R.E., Bayer M.M., Mann D.G., du Buf J.M.H. (2002).** Diatom recognition by convex and concave contour curvature, Oceans'02 MTS/IEEE. .

**Madigan M.T. et Marris B.L. (1997).** Extremophiles. Scientific American. 4: 66-71.  
**Brock T.D. (1978).** Thermophilic microorganisms and life at high temperatures. New-York, USA: Springer-Verlag.

**Margat,j, (1998).** Dictionnaire français d'Hydrologie. Comité National Français des sciences hydrologique.

**Mattox, K. R., et K. D. Stewart. (1984).** Classification of the green algae:a concept based on comparative cytology. In D. E. G. Irvine and D. M. John [eds.], The Systematics of green algae, 29–72. Academic Press,London, UK.

**Meberki .A. (2004).** Hydrologie des Bassins de l'Est Algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse Doc. Etat, sci. Terre. Univ. Mentouri, Constantine, 360 p.

**Metting FB. (1996).** Biodiversity and application of microalgae. J Ind Microbiol; 17:477–89.

**Mills HJ, Martinez RJ, Story S, Sobecky PA. (2004).** Identification of members of the metabolically active microbial populations associated with Beggiatoa species. Appl Environ Microbiol 70:5447–5458.

**Morère.J.L ; Pujol.R. (2002).** ‘‘Dictionnaire raisonné de biologie’’, Editions Frison-Roche, pp 1222.

**Moyer CL, Dobbs FC, Karl DM. (1995).** Phylogenetic diversity of the bacterial community from a microbial mat at an active, hydrothermal vent system, Loihi Seamount, Hawaii. *Appl Environ Microbiol* 61:1555–1562

**Murata N. (1989).** Low-temperature effects on cyanobacterial membranes. *J Bioenerg Biomembr.* 21:61–75.

**Muller-Feuga. A. (1997).** Microalgues marines, les enjeux de la recherche. *Rapport Ifremer* n° 1092 ISSN 1279-8339 ISBN 2-905434-82-1.

**Nakagawa T. and Fukui M. (2002).** Phylogenetic characterization of microbial mats and streamers from a Japanese alkaline hot spring with a thermal gradient. *J. Gen. Appl. Microbiol.*48: 211-222.

**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, 434-438.

**Nogales B, Moore ERB, Abraham WR, Timmis KN. (1999).** Identification of the metabolically active members of a bacterial community in a polychlorinated biphenyl-polluted moorland soil. *Environ Microbiol* 1:199–212.

**Ortega-Morales, O., J. Guezennec, et al. (2000).** "Phototrophic biofilms on ancient Mayan buildings in Yucatan, Mexico." *Curr Microbiol* 40(2): 81-5.

**Ouali S. (2008).** Les sources Thermales en Algérie. *Recherche et Développement;* 13: 17-18.

**Paerl, H.W., Fulton, R.S., M., Moisander, P.H., Dyble, J. (2001).** Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacteria. Review article. *The Scientific World* 1, 76-113.

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

**Pérez, R. (1997).** Ces algues qui nous entourent. In: Arbault, S., Barbaroux, O., Phliponeau, P., Rouxel, C. (Eds.). France, Plouzané, Editions IFREMER, 272 p.

**Pierre, G., Graber, M., Orvain, F., Dupuy, C., Maugard, T. (2010).** Biochemical characterization of extracellular polymeric substances extracted from an intertidal mudflat using a cation exchange resin. *Biochemical Systematics and Ecology*. In press, doi:10.1016/j.bse.2010.09.014.

**Pierre G. (2010).** Caractérisation biochimique d'exopolymères d'origine algale du bassin de Marennes-Oléron et étude des propriétés physico-chimiques de surface de micro-organismes impliquées dans leur adhésion. Thèse.Doc. Université de La Rochelle .26-27p

**Portillo MC, Gonzalez JM, Saiz-Jimenez C. (2008).** Metabolically active microbial communities of yellow and grey colonizations on the walls of Altamira Cave, Spain. *J Appl Microbiol* 104:681–691.

**Portillo. M. C; Sririn. V; Kanoksilapatham. W; Gonzalez J. M. (2009).** Differential microbial communities in hot spring mats from Western Thailand. *Extremophiles* 13:321–331.

**Prygiel J., Coste M. (2000).** Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomees NF T 90-354, Agences de l'Eau-Cemagref,. Cité par Claudon .N (2007) classification automatique des diatomées : Une approche par les motifs des structures internes. Mémoire présenté comme exigence partielle de La maîtrise en mathématiques et informatique Appliquées. L'université du Québec.

**Radmer, R.J., & Parker, B.C. (1994).** Commercial application of algae: opportunities and constraints. *Journal of Applied Phycology*. 6, 93-98p.

**Ramade. F. (2002).** Dictionnaire encyclopédique de l'Ecologie et des Sciences de l'Environnement, 2ème édition, Dunod, Paris, 1075 p.

**Richard C. (1996).** Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux. Elsevier Masson. Paris. 115 p.

**Rice E.L. (1984).** Allelopathy. Academic Press, Orlando: 422 p. (Dabbadie. L, 1992).

**Ringuelet R. (1977).** Le lagunage. Un procédé rustique, souple et efficace pour épurer les eaux usées domestiques. Résultats des expérimentations menées en Languedoc. *TSM-L'eau* 4: 139-142.

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

**Rossano, R., Ungaro, N., D'Ambrosio A., Liuzzi G.M., Riccio P. (2003).** Extracting and purifying R-phycoerythrin from Mediterranean red algae *Corallina elongate* Ellis & Solander. *Journal of Biotechnology*. 101, 289-293.

**Round, F.E., R.M. Crawford et D.G. Mann. (1990).** The diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge, 747 p.

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

**Sayeh R., Birrien J.L., Alain K., Barbier G., Hamdi M., Prieur D. (2010).** Microbial diversity in Tunisian geothermal springs as detected by molecular and culture-based approaches. *Extremophiles*. 14: 501–514.

**Schenk PM, Skye R, Thomas-Hall, Stephens E, Marx UC, Mussgnug JH, Posten C, Kruse O, Hankamer B. (2008).** Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production. *Bioenergy Res* 1:20–43.

**Schiraldi, C.; De Rosa, M. (2002).** The production of biocatalysts and biomolecules from extremophiles. *Trends Biotechnol.* 20, 515–521

**Seckbach.S. (2007).** *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments.* Volume 11. Published by Springer www.springer.com .The Netherlands. Xv –xixp.

**Skirnisdottir S., Hreggvidsson G.O., Hjorleifsdottir S.,Marteinsson V.T., Petursdottir S.K., Holst O. and Kristjansson J.K. (2000).** Influence of sulfide and temperature on species composition and community structure of hot spring microbial mats. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 2835-2841.

**Sluiman, H. J. (1985).** A cladistic evaluation of the lower and higher green plants (Viridiplantae). *Plant Systematics and Evolution* 149: 217–232.

**Sompong U., Hawkins P.R., Besley C. and Peerapornpisal Y. (2005).** The distribution of cyanobacteria across physical and chemical gradients in hot springs in northern Thailand. *FEMS Microbiol. Ecol.* 52: 365-376.

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

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

**Stetter KO. (1992).** Life at the upper temperature border. In: Van Tran Than J, Van Tran Than K, Mounolou JC, Schneider J, McKay C (eds) *Frontiers of life.* Edition Frontières, Gif-sur- Yvette, pp 195–219.

**Steunou, A-S., Bhaya, D., Bateson, M.M., Melendrez, M.C., Ward, D.M., Brecht, E., Peters, J.W., Kühl, M. and Grossman, A.R. (2006).** In situ analysis of nitrogen fixation and metabolic switching in unicellular thermophilic cyanobacteria inhabiting hot spring microbial mats. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 103: 2398–2403.

**Tan LT. (2007).** Bioactive natural products from marine cyanobacteria for drug discovery. *Phytochemistry*; 68:954–79.

**Thajuddin N, Subramanian G. (2005).** Cyanobacterial biodiversity and potential applications in biotechnology. *Curr Sci*; 89:47–57.

**Treguer .P .D.M.Nelson.A.J.Van Bennekom.D.J DeMaster.A.Leynaert et B.Oueguiner. (1995).** The silica balance in the world ocean: a reestimate. *Science*, 268: 375-379.

**Vazquez, G., Jimenez, S., Favila, M.E. and Martinez, A. (2005).** Seasonal dynamics of the phytoplankton community and cyanobacterial dominance in a eutrophic crater lake in Los Tuxtlas, Mexico. *Ecoscience* 12: 485–493.

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

**Wageningen UR. (2010).** "Microalgae Species." Consulté le 22 Aout 2011 de <http://www.algae.wur.nl/UK/factsionalgae/species/>.

**Ward D.M., Tayne T.A., Anderson K.L. and Bateson M.M. (1987).** Community structure and interactions among community members in hot spring cyanobacterial mats. *Symp. Soc. Gen. Microbiol.* 41: 179-210.

**Ward D.M., Weller R., Shiea J., Castenholz R.W. and Cohen Y. (1989).** Hot spring microbial mats: anoxygenic and oxygenic mats of possible evolutionary significance. In: Cohen Y. and Rosenberg E. (eds), *Microbial Mats: Physiological Ecology of Benthic Microbial Communities*. American Society for Microbiology, Washington D.C. pp. 3-15.

**Ward DM, Weller D, Bateson MM. (1990).** 16S rRNA sequences reveal uncultured inhabitants of a well-studied thermal community. *FEMS Microbiol Rev* 75:105–116.

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

**Waring, G. A. (1908).** Geology and water resources of a portion of south-central Oregon. United States Geological Survey Water-Supply Paper 220, Washington, D.C, USA.

**Waterbury, J. B., Watson, S. W., Valois, F. W. & Franks, D. G. (1986).** Biological and ecological characterization of the marine unicellular cyanobacterium *Synechococcus*. In *Photosynthetic Picoplankton*, pp. 71-120. Edited by T. Platt & W. K. W. Li.

**Weller R, Batterson MM, Heimbuch BK, Kopczynski ED, Ward DM. (1992).** Uncultivated cyanobacteria, Chloroflexus-like and spirochete-like inhabitants of a hot spring microbial mat. *Appl Environ Microbiol* 58:3964–3969.

# **ANNEXES**

## Annexe I : 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.

**Solution de Lugol** : préparation d'un volume de 200ml :

20g d'iodure de potassium

10g d'iode, en cristaux

200 ml de H<sub>2</sub>O distillée

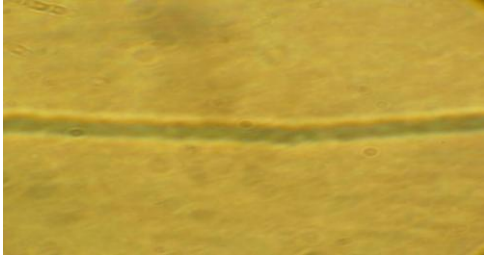
20ml d'acide acétique concentré ou 10g d'acide acétique glacial.

Verser le tout dans un flacon brun ou enrobé de papier d'aluminium pour protéger de la lumière.

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.

**Annexe II : Photos des espaces d'algues microscopiques et de Cyanobactéries**

**1. Cyanobactéries**



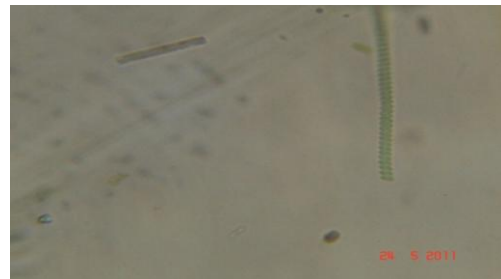
*Spirulina sp x 800*



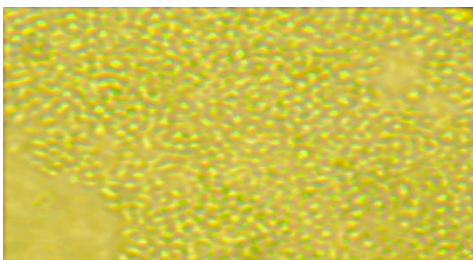
*Spirulina spx100*



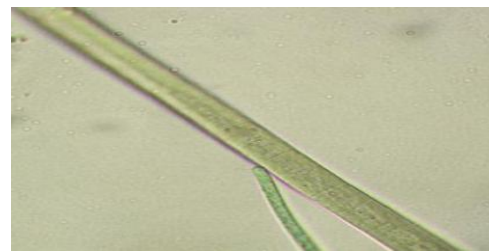
*Spirulina sp et chlorophytes x 480*



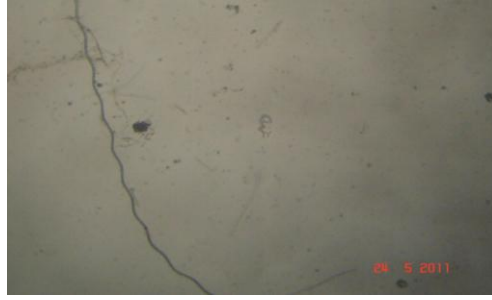
*Spirulina sp x 480*



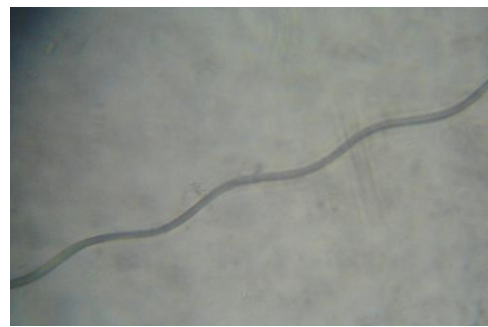
*Microcystis sp x 800*



*Oscillatoria chalybea x 480*

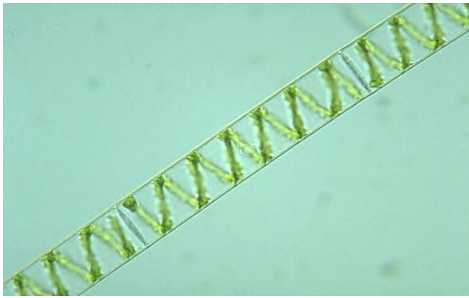


*Spirulina sp2 x 100*

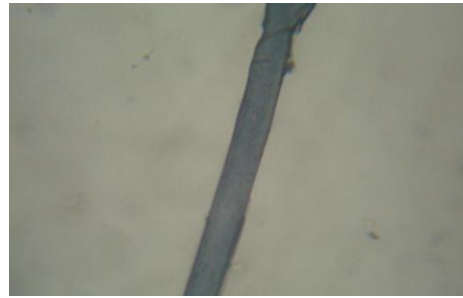


*Spirulina sp2 x 480*

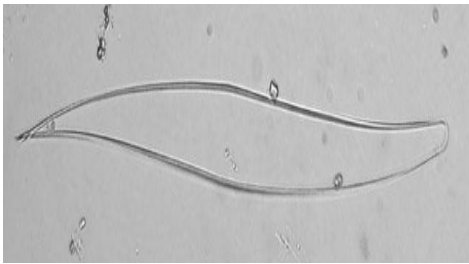
## 2 Algues



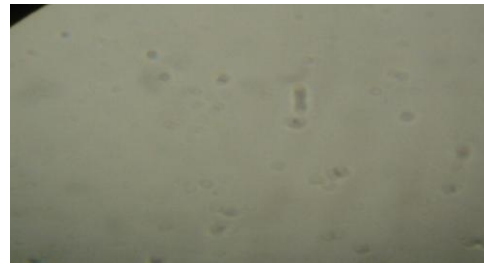
*Spirogyra sp x 800*



*Oedogonium spx800*



*Gyrosigma acuminatum x480*



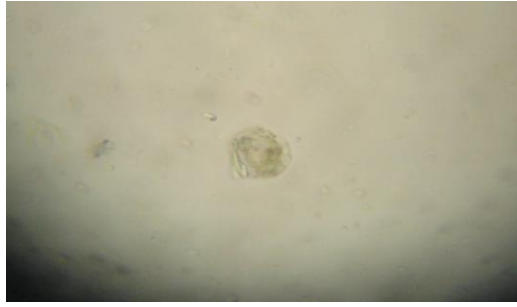
*Chlorella sp x480*



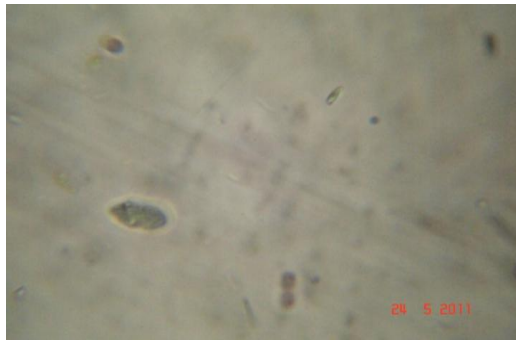
*Pediastrum tetrasx800*



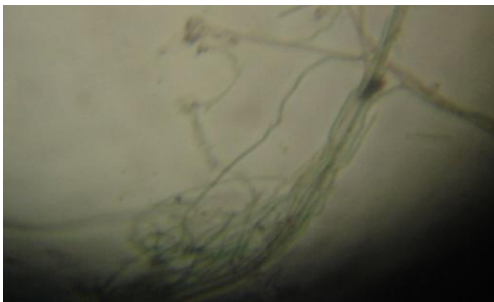
Espèce non identifiée(G40)



**Espèce non identifiée(G40)**



**Espèce non identifiée(G40)**



**Filament d'algues(G10)**

## 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 Salihin Khenchela (l'Est algérien) présente une température très élevée allant de 70 à 73°C, ce qui la place parmi les écosystèmes extrêmes. Elles se caractérisent par un pH neutre (7.20). 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 Es Salihin à Khenchela n'a fait l'objet d'aucune étude 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 de cette retenue ; et d'améliorer les connaissances sur les algues de ses écosystèmes extrêmes et d'autre part, pour ouvrir des porte sur l'exploitation des richesses de ces zones vierges et pour l'évaluation et gestion de la qualité microbiologique des eaux de ces sources thermales.

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 32 espèces et d'élaborer des clés de détermination au niveau du genre puis au niveau de l'espèce. Les Cyanophytes représentent 47% des taxons et comprennent Cinq familles regroupant 9 genres et 15 espèces, les microalgues 17 espèces, réparties en 15 genres et 9 familles. Les algues microscopiques sont composées par les Chlorophytes et les Charophytes et les Diatomées.

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, biotechnologie, 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 Es salihin located in Khenchela (eastern Algeria) present a high temperature ranging from 70 to 72 ° C, which places it among the extreme ecosystems. It is characterized by a neutral pH (7.20).

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 Es salihin 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 and secondly, to open the door on the exploitation of the wealth of these virgin areas and the evaluation and management of the microbiological quality of water of these hot springs.

The task was to make a descriptive study based on morphological characters followed by a systematic inventory of species encountered. The descriptive study identified 32 species and develops identification keys to the genus level and the species level. The Cyanophyta represent 47% of taxa and include Cinque families including 9 genera and 15 species, 17 microalgae species, distributed in 15 genera and 9 families. Microscopic algae are composed of Chlorophyta and Charophytes and diatoms.

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, biotechnology, 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 جدا من 70-73 درجة مئوية، الأمر الذي يضعه بين النظم الإيكولوجية المدقعة. فهي تتميز بـ pH محايد (7.20). 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 للأنواع المكتشفة. وحددت الدراسة الوصفية 32 نوعا وتطوير مفاتيح لتحديد الهوية على مستوى الأنواع. وتمثل Cyanobactéries 47. % من الأصناف وتشمل 5 أسر بما في ذلك 9 أجناس و 15 نوعا، 17 نوعا من الطحالب، وزعت في 15 جنسا و 9 أسر. وتتألف الطحالب من الطحالب الخضراء Charophytes, Chlorophytes و Diatomées .

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

**الكلمات الرئيسية :** الطحالب, التكنولوجيا الحيوية, الينابيع الحارة, الكائنات المحبة للحرارة.



Nom : **BOUTARFA**  
Prénom : **Soumia**

Date de soutenance: / / 2013

Diplôme: **Magistère**

Thème : **Identification Microscopique d'Algues thermophiles**

### **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 esselihin Khenchela (l'Est algérien) présente une température très élevée allant de 70 à 73°C, ce qui la place parmi les écosystèmes extrêmes. Elles se caractérisent par un pH neutre (7.20). 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 Es Salihin à Khenchela n'a fait l'objet d'aucune étude 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 de cette retenue; et d'améliorer les connaissances sur les algues de ses écosystèmes extrêmes et d'autre part, pour ouvrir des porte sur l'exploitation des richesses de ces zones vierges et pour l'évaluation et gestion de la qualité microbiologique des eaux de ces sources thermales. 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 32 espèces et d'élaborer des clés de détermination au niveau du genre puis au niveau de l'espèce. Les Cyanophytes représentent 47% des taxons et comprennent Cinq familles regroupant 9 genres et 15 espèces, les microalgues 17 espèces, réparties en 15 genres et 9 familles. Les microalgues sont composées par les Chlorophytes et les Charophytes et Diatomées.

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, biotechnologie, Sources hydrothermales, thermophiles.

### **Devant le jury :**

Président :	<b>M.HOUHA B. (MCA)</b>	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela
Encadreur :	<b>M. DARBOUCHE A. (Prof)</b>	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela
Examineurs :	<b>M. HOUHAMDI M. (Prof)</b>	Univ. 08 Mai 1945 – Guelma
	<b>Mme. BENDJEMANA K. (MCA)</b>	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela