



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



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

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**FILIERE: Sciences biologiques**  
**OPTION: Microbiologie**

**Thème**

**Contribution à l'étude de la diversité  
cyanobactériennes dans les sources thermales  
de l'Est Algérien (Hammam Essalhine,  
Hammam Knif -khenchela-)**

**Présenté par :**

**THIRANI Moufida  
BOUDRAA Afaf**

**Encadré par :**

**BOUTARFA Soumia**

**Soutenu le: 28 /06/2017**

**Jury de soutenance:**

**Président: ABAIDIA Abd Elgafour (M.A.A) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela.**  
**Encadreur : BOUTARFA Soumia (M.A.A) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela.**  
**Examinatrice: CHORFI Kelthoum (M.A.A) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela.**

**Promotion:2016/2017**

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

## *REMERCIEMENTS*

*Avant tout, on remercie, Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage, la force, la volonté et la patience pour réaliser ce travail.*

*Nous remercions sincèrement: M ABAIDIA A.G, Maître assistant à l'Université de Khenchela, d'avoir accepté de présider le jury de ce modeste travail.*

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

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

*Grand merci à nos enseignants et à tout le personnel pédagogique et administratif.*

*Enfin, nos remerciements vont à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*



## *Dédicace*

*Tous les mots ne seraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance ..., c'est tout simplement que Je dédie cette mémoire :*

### *A Mes parents*

*Pour leurs encouragements incessants et leur soutien moral aux moments difficiles. Qu'ils trouvent dans ce travail la preuve modeste d'une reconnaissance infinie et d'un profond amour*

*Je souhaite qu'ils trouvent à travers ce mémoire le faible témoignage de leurs efforts et sacrifices.*

*A mes chers frères : EL HACHEMI, AZIZ.*

*A Mes Belles Sœurs : NAZIHA, SALIMA, IBTISSAM.*

*A Ma cher amie : AFAF*

*A tous mes amis et tous mes collègues de ma promotion*

*A mes enseignants qui m'ont éclairée la route du savoir*

**MOUFIDA**



## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance, de respect et de dévouement avec un cœur plein d'humilité :*

*A mes très chers parents qui n'ont jamais cessé de m'encourager pour entreprendre mes études et atteindre mes objectifs et qui m'ont apporté leur aide scientifique, matérielle et psychologique pour l'élaboration de ce travail, je les remercie du fond du cœur. Je remercie mon père de m'avoir accompagné lors de mes sorties que j'ai effectuées.*

*Merci d'être mes parents*

*A mes chères sœurs :**Chaïma** et **Khoela**.*

*A mon unique frère que dieu le protège **Mahdi***

*A mon très cher amie **Moufida***

*A tous mes amies sans exception*

*A tous ceux qui m'ont aidé et encouragé pour l'élaboration de ce mémoire*

***AFAF***



**Table des matières**

<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>I</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>II</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>III</b>
<b>Liste des photographies</b>	<b>IV</b>
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Synthèse bibliographique</b>	
I. Généralités sur les cyanobactéries	3
I.1. Définition	3
I.2. Les caractéristiques générales des cyanobactéries	4
I.3. Mode de nutrition des cyanobactéries	5
II. Composition des cyanobactéries	6
II.1. Organisation cellulaire	6
II.2. Organisation morphologique	8
II.2.1. Cellule végétative	9
II.2.2. Hétérocystes	9
II.2.3. Les akinètes	10
II.2.4. Les vacuoles gazeuses	10

## Table des matières

II.3. La classification	11
III. Habitat et écologie des cyanobactéries	13
III.1. Bactérie ubiquitaire	14
III.2. Symbiose	14
III.3. Les pigments photosynthétiques	15
III.3.1. Phycobiliprotéines	15
III.3.2. Les caroténoïdes	15
III.3.3. La chlorophylle	15
III.4. Métabolisme	16
III.4.1. La photosynthèse	16
III.5. Mode nutritionnel des cyanobactéries	17
III.5.1. Photolithotrophie stricte	17
III.5.2. Photohétérotrophes	17
III.5.3. Les chimiohétérotrophes	17
IV. Reproduction	18
IV.1. La cytotoxicité des cyanobactéries	18
<b>Les écosystèmes extrêmes</b>	19
V.1. Notions d'environnement extrême extrêmophiles	19
V.1.2. Intérêt biotechnologique des extrêmophiles	19
V.2. Thermophiles	20

## Table des matières

V.2.1. La classification des thermophiles	21
V.2.2. Les cyanobactéries thermophiles	22
V.2.3. Niches écologiques des thermophiles	22
V.2.3.1. Biotopes naturels	23
V.2.3.2. Biotopes artificiels	23
V.2.4. Diversité taxonomique et métabolique des thermophiles	23
VI. Les sources thermales en Algérie	24
VI.1. Etats des connaissances en Algérie	25
<b>Etude expérimentale</b>	
<b>Matériel et méthodes</b>	
I. Présentation de la zone d'étude	27
II. Les étapes de l'échantillonnage	29
II.1. Préparation du matériel	29
II.2. Calibrage des appareils	29
III. Mesure des paramètres <i>in situ</i> de l'eau	30
III.1. la température	30
III.2. Le pH	30
IV. Prélèvement des échantillons	31
IV.1. Méthode de prélèvement	31

## Table des matières

V. Procédures de laboratoire	32
V. 1.Caractères morphologiques choisis	32
V.2. Observations microscopiques des échantillons	33
V.3.Taxinomie des cyanobactéries	33
<b>Résultats et discussion</b>	
I. Les propriétés de la source thermale étudiée	34
I.2.1. Température	34
I.2.2. PH	35
II. Résultats d'identification des cyanobactéries	35
III. Classification des cyanobactéries recensées	37
IV. Caractéristiques des cyanobactéries recensées	38
V. Les principales espèces des Cyanobactéries	41
Conclusion et Perspectives	46
Références bibliographiques	48
Annexes	
Résumé	
Abstract	
ملخص	

### Liste des abréviations

**ADN**: Acide désoxyribonucléique.

**ATP** : Adénosine Triphosphate.

**B12** : Cobalamine.

**C** : Cytosine.

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone.

**G** : Guanine.

**H<sub>2</sub>S**: Oxydation du soufre.

**ICBN** : Code International de Nomenclature des Bactéries.

**ICNB** : Code International de Nomenclature Botanique.

**Nm** : Nanomètre.

**O<sub>2</sub>** : Oxygène moléculaire.

**pH** : potentiel d'hydrogène.

**PSI**: Photosystème I.

**PSII**: Photosystème II.

**T** : Température.

**T max** : Température maximale.

**T min** : Température minimale.

**T opt** : Température optimale.

**Um**: Micro- mètre.

**%** : pourcentage.

### Liste des figures

<b>Figure N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 01</b>	Structure cellulaire des cyanobactéries	4
<b>Figure 02</b>	Schéma des membranes et compartiments cellulaires des cyanobactéries	6
<b>Figure 03</b>	Morphologies des différentes cyanobactéries	8
<b>Figure 04</b>	Les cellules végétatives	9
<b>Figure 05</b>	Les hétérocystes	10
<b>Figure 06</b>	Les akinètes	10
<b>Figure 07</b>	Représentation du point d'échantillonnage de Hammam Essalhine Khenchela	27
<b>Figure 08</b>	Représentation du point d'échantillonnage de Hammam Knif Khenchela	28

**Liste des tableaux**

<b>Tableau N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau I</b>	la classification des deux systèmes microbiologique et botanique	11
<b>Tableau II</b>	la classification des cyanobactéries selon les microbiologistes	13
<b>Tableau III</b>	Systèmes de classification thermophiles	21
<b>Tableau IV</b>	Les propriétés de la source thermale étudiée	34
<b>Tableau V</b>	Distribution et biodiversité des espèces des cyanobactéries des échantillons analysés dans cette étude	36
<b>Tableau VI</b>	La classification, des espèces des cyanobactéries recensées dans la région d'étude	37
<b>Tableau VII</b>	Les caractères principaux des genres de cyanobactéries rencontrés	38

### Liste des photographies

<b>Photographie N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Photographie 01</b>	Multi paramètre (6 paramètres C 535 T)	30
<b>Photographie 02</b>	Genre <i>Spirulina Sp</i>	41
<b>Photographie 03</b>	Genre <i>Synechocystis</i>	42
<b>Photographie 04</b>	Genre <i>Synechococcus</i>	42
<b>Photographie 05</b>	<i>Oscillatoria sp1</i>	43
<b>Photographie 06</b>	<i>Oscillatoria sp2</i>	43
<b>Photographie 07</b>	Genre <i>Phormidium</i>	44
<b>Photographie 08</b>	Genre <i>Leptolyngbya</i>	44
<b>Photographie 09</b>	Genre <i>Chroococcus</i>	45
<b>Photographie 10</b>	Genre <i>Pseudanabaena</i>	45
<b>Photographie 11</b>	Cyanobactérie non identifiées (G100, G40).	Annexes II

# *Introduction*

### Introduction

Les algues et les cyanobactéries sont des organismes minuscules qui vivent naturellement dans les eaux douces et salées. (**Arap, 2002**).

Leur longue histoire évolutive est considérée comme une des raisons pour le succès des cyanobactéries dans beaucoup d'habitats même les plus extrêmes et dans leur grande tolérance écologique (**Ballot, 2004**).

Les cyanobactéries sont également capables de vivre à la limite supérieure de température pour la photosynthèse, jusqu'à 74 ° C, dans les eaux thermales. (**Castenholz, 2001**).

Les Cyanobactéries thermophiles de parc national de Yellowstone était les premiers, et peut-être les plus largement à étudié (**Dyer et Gafford, 1961**).

Mais, bien que les cyanobactéries des autres zones thermales ont également été explorés pour, beaucoup restent in étudiés. Des études Morphologiques classiques révèlent la présence de certains genres dans ce genre d'environnements, tels que *Synechococcus*, *Phormidium*, *Calothrix* ou *Mastigocladus* (**Castenholz, 2001**).

La composition des cyanobactéries et autres thermophiles photosynthétiques dans les sources chaudes est très diverse, une conséquence des différences énormes dans la composition chimique des eaux des sources chaudes mais aussi le résultat de la séparation géographique ou de l'isolement de ces habitats (**Castenholz, 2008**).

Pourtant l'étude des microorganismes thermophiles ou hyperthermophiles indigènes à ces milieux hostiles à la vie peut aider à mieux exploiter cette importante source de molécules bioactives à des températures nettement plus élevées que celles d'organismes conventionnels, en particuliers leurs enzymes (**Pinzón-Martínez et al., 2010**).

Les enzymes produites par ces organismes sont extrêmement thermoactives, rigoureusement thermostables ayant même des activités à des températures dépassant les températures maximales de croissance de leurs organismes. (**Antranikian et al., 2005**).

Les sources hydrothermales en Algérie sont connues depuis l'Empire romain. Ils se situent principalement dans l'Est de l'Algérie et sont habités par des organismes thermophiles, y compris les cyanobactéries. Cependant, ces sources n'ont été que très peu étudiées d'un point de vue biodiversité et ce n'est que récemment qu'on a commencé à s'intéresser aux microorganismes habitants ces environnements locaux et les publications concernant le sujet sont encore très rares (**Kecha *et al.*, 2007 ; Bouanane *et al.*, 2011**).

Ce projet se propose d'améliorer les connaissances sur les cyanophytes. Les stations thermales de hammam Essalhine et hamam knif à Khenchela (Est Algérien) n'ont fait jusqu'a présent l'objet que de quelques études portant sur la biodiversité des cyanobactéries. Le but de ce travail, et justement fait pour déterminer d'une part la diversité cyanobactéries de ces retenues et d'autre part, pour ouvrir des portes sur l'exploitation des richesses de ces zone vierges.

# *Etude bibliographique*

### Les cyanobactéries

#### I. Généralités sur les cyanobactéries

Les cyanobactéries sont un groupe d'organismes procaryotes qui ont évolué et se sont diversifiées dès l'ère Précambrienne, Apparues il y a 3,5 milliards d'années **(Hansel et Hoiczky, 2000)**.

Les cyanobactéries ou cyanophytes sont des microorganismes extrêmement anciens sur terre qui ont généré des fossiles qui existent depuis des millions d'années, les stromatolithes **(Camille, 2014)**.

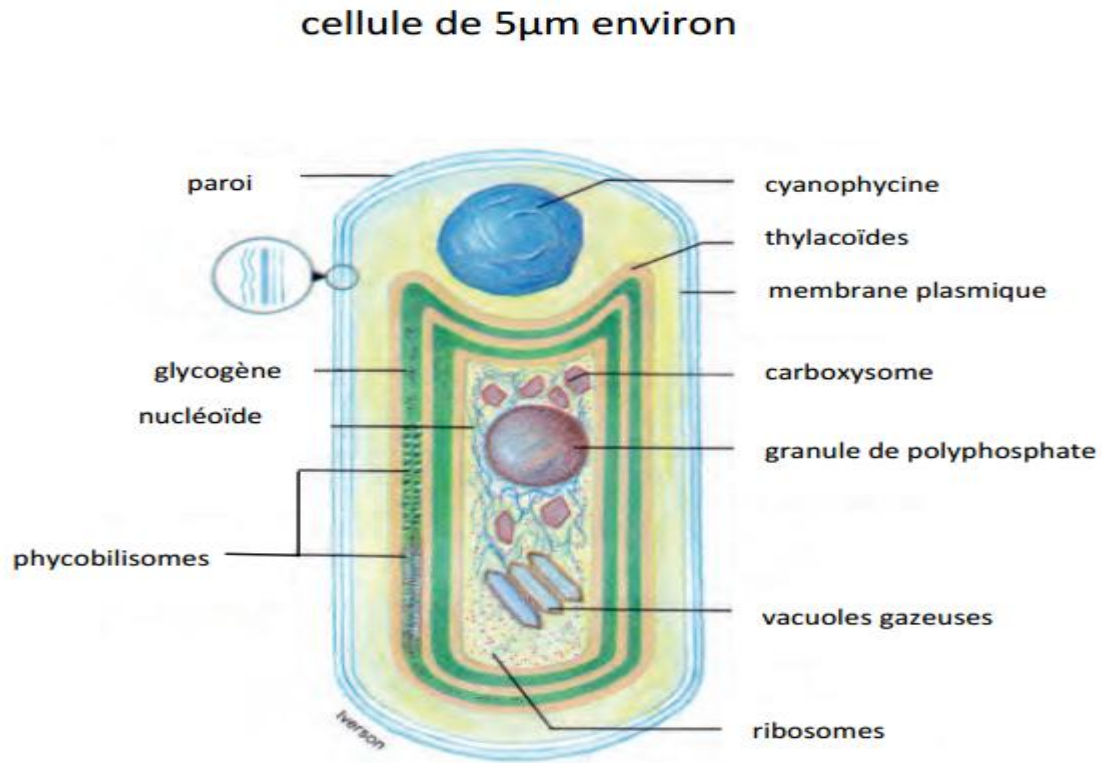
Leur longue histoire évolutive est considérée comme une des raisons pour le succès des cyanobactéries dans beaucoup d'habitats même les plus extrêmes et dans leur grande tolérance écologique **(Ballot, 2004)**.

Les cyanophytes se distinguent des autres embranchements car ils regroupent les micro-organismes procaryotes (sans membrane nucléaire définie). Cet embranchement est composé de la classe des Cyanophycées. Ces micro-organismes sont dépourvus de flagelles et leur appareil végétatif peut être unicellulaire, colonial ou filamenteux **(Carmichael, 1994 ; Bartram ; Chorus, 1999 ; Pitois *et al.*, 2000)**.

##### I.1. Définition

Anciennement appelées algues bleu-vert et longtemps controversées dans leur classification en raison de leur capacité photosynthétique qui les faisait assimiler aux algues, les Cyanobactéries, appelées aussi ou Cyanophycées, se sont révélées comme un groupe génétiquement homogène de bactéries photo autotrophes obligatoires mais il existe certaines espèces capables d'utiliser, en plus des substrats carbonés. Elles vivent à l'état isolé ou en colonies et sont immobiles ou mobiles par glissement ou par leurs vacuoles à gaz. Elles ont une diversité morphologique considérable et une taille bien plus importante que celle des autres bactéries : 20 à 200  $\mu\text{m}$  pour les cyanobactéries du sol, alors que les espèces marines sont beaucoup plus petites. Elles sont essentiellement unicellulaires mais il existe des espèces pluricellulaires, coénocytiques ou filamenteuses.

Les cyanobactéries sont divisées en 5 groupes morphologiques par le BERGEY's manual. elles possèdent la chlorophylle a et des pigments photosynthétiques accessoires: les phycobilines. Leur photosynthèse est identique à celle des végétaux par ses produits et sa source de protons (photolyse de l'eau) (bousboaa, 2002).



**Figure N°01 :** Structure cellulaire des cyanobactéries (Prescott *et al.*, 1995).

### I.2. Les caractéristiques générales des cyanobactéries

- Une caractéristique importante des cyanobactéries est leur capacité à modifier la composition des pigments-protéines dans leurs complexes photosynthétiques ce qui leur donne une couleur différente selon les longueurs d'ondes auxquelles elles croissent (Grossman *et al.*, 2001).
- Ont le potentiel de survivre et même de se diviser durant une période temporaire de faible concentration en nutriments dans leur environnement immédiat (Ishikawa *et al.*, 2002).
- Les pigments ne sont pas portés sur des plastes, comme le cas des autres embranchements, mais sont diffus, dispersés dans le cytoplasme, donnant ainsi une coloration homogène aux cellules. (Bourelly, 1972; Rousteau, 2006).

- La plupart des cyanobactéries sont capables de se déplacer, soit à l'aide de vésicules gazeuses (dans les liquides) soit, dans le cas des cyanobactéries filamenteuses, par glissement (**Girardin ,2005**).
- Les cyanobactéries ont des avantages compétitifs supplémentaires, beaucoup produisent des hydroxamates qui fixent le fer et rendent cet oligoélément important moins disponible pour les algues eucaryotes (**Vincent, 1989**).
- Les cyanobactéries résistent à la prédation parce qu'elles produisent des toxines .de plus, certains synthétisent des composés odorantes (géosmine) affectant la qualité de l'eau de consommation (**Roland, 1995**).
- Les cyanobactéries sont des organismes autotrophes photosynthétiques, qui transforment l'énergie lumineuse en énergie chimique stockée dans les glucides et fabriquent de la manière organique pendant leur croissance (**Pierre, 2012**).
- La plus part des cyanobactéries ne requièrent pas de vitamines et n'utilisent pas des composés organiques constituant un parfait exemple de photoautolithotrophie (**Perry et al., 2004**).
- Ainsi, dans certaines conditions, elles peuvent proliférer, on parle alors d'efflorescences (ou blooms). Ces efflorescences, qui arrivent plutôt en été et en automne ont favorisées par l'augmentation de la température des eaux (**Beat et Pierre, 2013**).
- En plus de la migration «active» sur le plan vertical, les cyanobactéries subissent également une migration «passive» horizontale due au vent ou aux mouvements des masses d'eau. Cette migration horizontale explique parfois la quantité phénoménale de cellules et l'accumulation d'écume à certains endroits sur le bord des plans d'eau (**Lavoie et al, 2007**).

### I.3. Mode de nutrition des cyanobactéries

La nutrition des cyanobactéries est simple. Les vitamines ne sont pas nécessaires, et les nitrates ou l'ammoniaques constituent la source d'azote.les espèces fixant l'azote atmosphériques sont communs. La plupart des espèces qui ont été analysées sont des phototrophes obligatoires, ne pouvant pas pousser à l'obscurité en présence de composés organiques. Cependant, certaine cyanobactéries peuvent assimiler des substances organiques relativement simples comme le glucose et

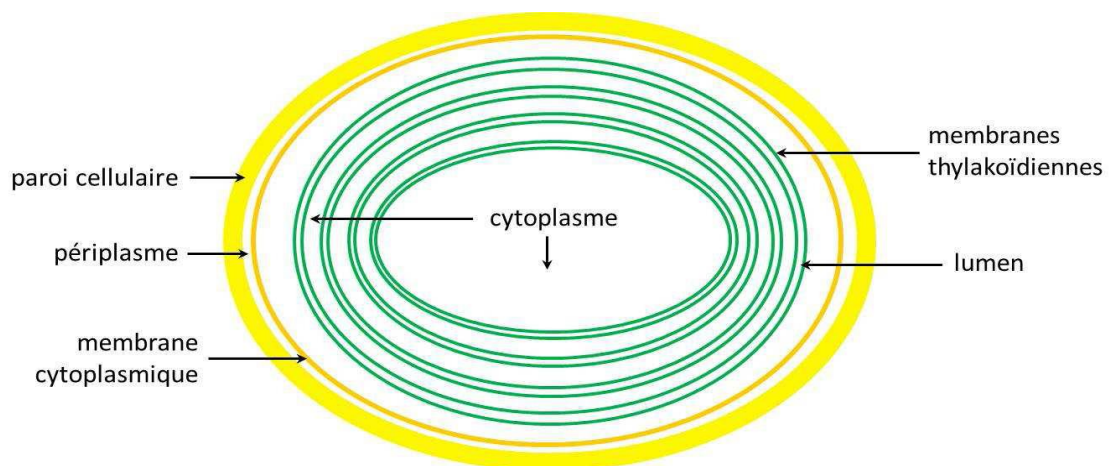
l'acétate, pourvu que la lumière soit présente (photo assimilation).certaines cyanobactéries, surtout parmi les espèces filamenteuses, peuvent en fait pousser à l'obscurité en utilisant le glucose ou le sucrose, à la fois comme source de carbone et comme source d'énergie (**Madigan et al., 2007**).

Les cyanobactéries peuvent également faire des réserves de phosphore sous forme de Granules de polyphosphates (**Chorus ; Mur ,1999**).

## II. Composition des cyanobactéries

### II.1. Organisation cellulaire

La structure fine des *cyanobactéria* est typique des autres bactéries Gram- par l'existence d'une paroi cellulaire multicouche contenant du peptidoglycane et la présence d'une membrane externe cependant leur paroi contient des couches supplémentaires comme la membrane de thylacoïde et une couche fibreuse (**Perry et al., 2004**). Les cyanobactéries sont caractérisées par l'absence de membranes nucléaire, de mitochondries, de réticulum endoplasmique (**Coute ; Bernard, 2001**).



**Figure N°02 :** Schéma des membranes et compartiments cellulaires des cyanobactéries (**Hoiczky et Hansel, 2000**).

- **La cyanophycine**

Une caractéristique unique des cyanobactéries est qu'elles peuvent accumuler un composé appelé cyanophycine, cette molécule est particulière car elle consiste en un polymère de l'acide aspartique dont chaque résidu contient un résidu latéral

d'arginine. La cyanophycine est le seule granule de réserve qui contienne de l'azote chez les procaryotes et un produit de stockage utile qui peut être utilisé comme source d'énergie pendant sa dégradation (**Madigan *et al.*, 2007**). La plupart des cyanobactéries possèdent des granules de cyanophycine dans le cadre de leur mélange de corps d'inclusion. Ces granules, en raison de leur aspect marbré en sections minces, ont été qualifiés de granules structurés. Les corps sont approximativement sphériques et généralement situés dans la zone thylakoïde près de la membrane plasmique (**Berner, 1993**).

- **Les carboxysomes**

Les carboxysomes sont des inclusions qui contiennent une enzyme, la ribulose 1,5-diphosphate carboxylase. Les bactéries dont la seule source de carbone est le CO<sub>2</sub> ont besoin de cette enzyme pour fixer le CO<sub>2</sub> durant la photosynthèse. Parmi les bactéries qui ont des carboxysomes, on compte les bactéries nitrifiantes, les cyanobactéries (**Gerard *et al.*, 2003**).

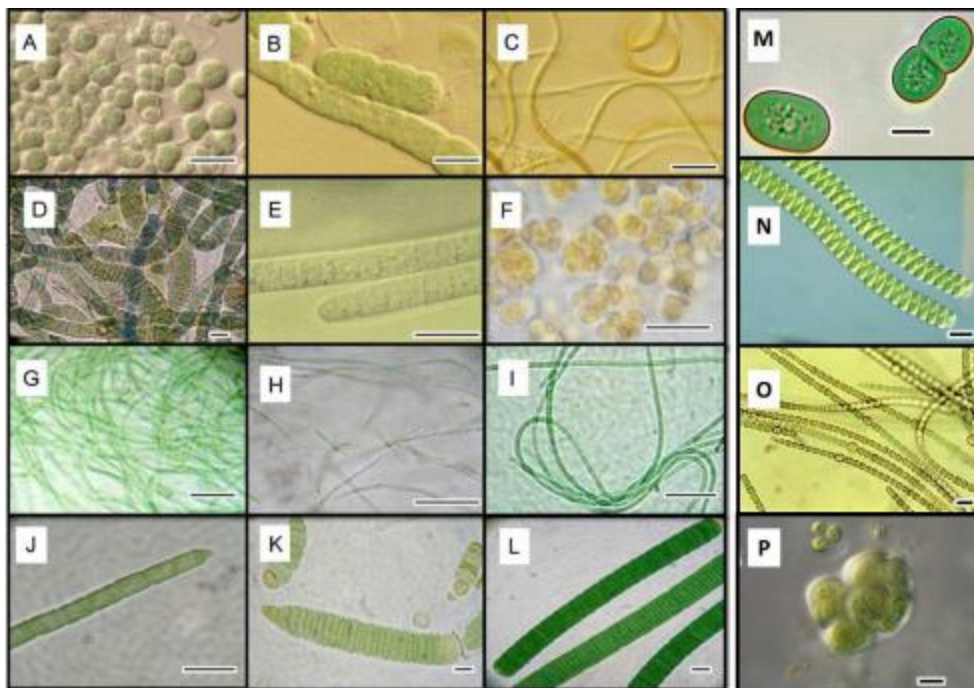
- **Phycobilisomes**

Les phycobilines sont des molécules caractérisées par la présence d'une chaîne tétrapyrrolique ouverte, linéaire, liée à des protéines (**Farineau et Morot, 2006**). Des phycobilisomes ; complexes de phycobiliprotéines (qui peuvent être composés de phycocyanines, de phycoérythrocyanines, d'allophycocyanines, ou encore de phycoérythrine). Ils permettent le captage du flux lumineux (en lien avec la photosynthèse et les thylacoïdes), (**Castenholz, 2001**). Les phycobilisomes sont des particules de hauts poids moléculaires, sont fixés aux faces externes des membranes photosynthétiques afin de canaliser l'énergie sur de longues distances (**Voet, 2016**).

### I.2. Organisation morphologique

Les cyanobactéries présentent une large gamme d'organisation morphologique (Bourrelly, 1985).

Les cyanobactéries ont des formes variées ; elles sont soit unicellulaire de forme sphérique ou en bâtonnet, soit pluricellulaire formant alors des colonies filamenteuse ou trichomes, leur dimension varie de 1 à 10,  $\mu\text{m}$  on distingue 3 types de cellules (Camille *et al.*, 2010).



**Figure N°03 :** morphologies des différentes cyanobactéries

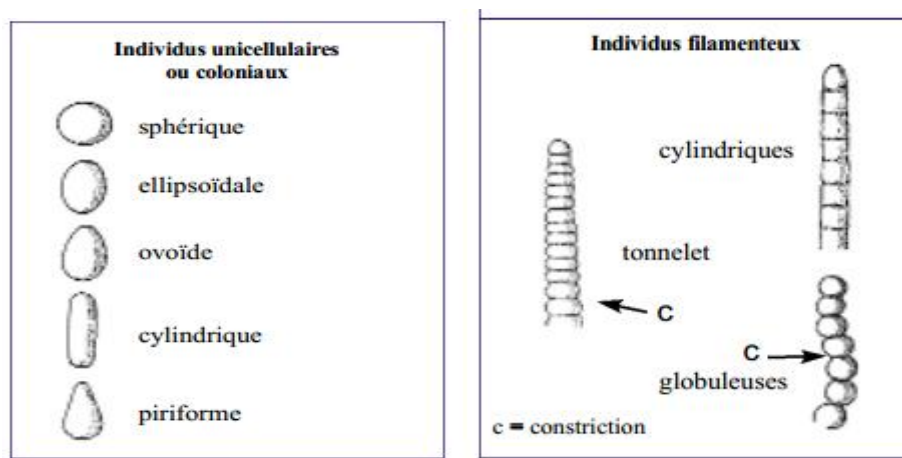
(A) *Chroococcidiopsis* RP114. (B) *Tolypothrix* RP102, détail du filament. (C) *Leptolyngbya* RP108. (D) *Mastigocoleus testarum* BC003. (E) *Microcoleus vaginatus* PCC 9802. (F) *Euhalothece* sp. MPI N303. (G) *Limnothrix* sp. 005. (H) *Limnothrix* sp. 081. (I) *Oscillatoria* sp. 7C. (J) *Microcoleus chthonoplastes* BM 001. (K) *Calothrix* sp. BC2, avec des hétérocystes terminaux. (L) *Lyngbya* sp. BL J. (M) *Synechococcus*, avec fission binaire. (N) *Spirulina*. (O) *Anabaena variabilis* ; les hétérocystes, plus gros, sont facilement identifiables. (P) *Gloeocapsa*. Barre = 10  $\mu\text{m}$ . Source : images A à L, ; images M à P : *Encyclopedia of life* (Komarek *et al.*, 2003).

### II.2.1. Cellule végétative

De forme variées rondes, ovoïde, oblongues, quadratiques et avec un contenu cellulaire homogène ou non, avec ou sans vacuoles à gaz (**Komarek *et al.*, 2003**).

Les cellules végétatives, cellules photosynthétiques, sont formées dans des conditions de croissances favorables (**Gupta et Griffiths, 2002**).

Cellule mère dont les fonctions métaboliques sont actives ou se fait la formation d'une endospore ; le phénomène de sporulation (**Gerard *et al.*, 2003**).



**Figure N°04 : Les cellules végétatives (Couté et Leitao ,2005).**

### II.2.2. Hétérocystes

Cellules différentes des autres, elles sont, en général, faciles à reconnaître grâce à leur paroi épaisse et à leur contenu semblant vide. Leur forme et leur emplacement dans le filament doivent être repérés. Les hétérocystes peuvent également se présenter solitaires ou en série. Le principal rôle des hétérocystes est d'assurer la fixation de l'azote atmosphérique, grâce à une enzyme (nitrogénase) qui fonctionne en milieu réducteur (**Couté et Leitao ,2005**).

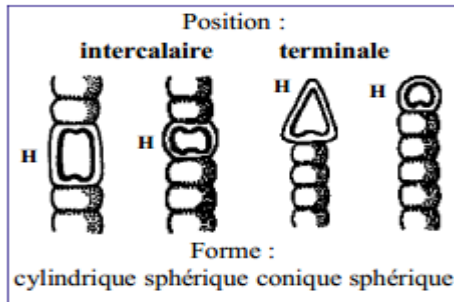


Figure N°05 : Les hétérocystes (Couté et Leitao ,2005).

### II.2.3. Les akinètes

Sont des cellules dont le diamètre est plus grand que ceux des deux premiers types de cellule, elles sont spécialisées, pouvant résister à la dessiccation puis germer quand les conditions deviennent favorables (Camille *et al.*, 2010).

Akinètes sont ellipsoïdales ou cylindriques développées parmi les cellules végétatives, éloignées ou parfois adjacentes aux hétérocystes apicaux. Les akinètes sont intercalaires, solitaires ou rarement en deux, cylindriques; Ovale, ovoïde ou sphérique. Les akinètes ont des parois cellulaires épaisses, légèrement plus grandes que les cellules végétatives (Wehr *et al.*, 2003).

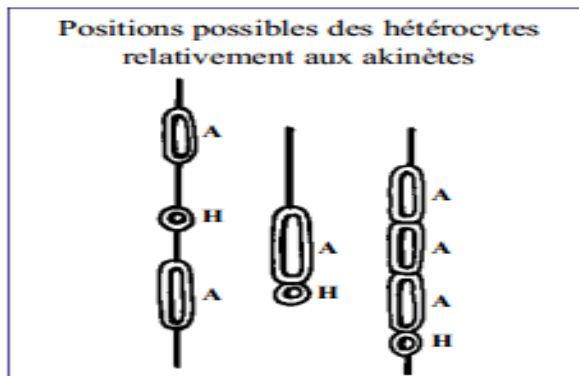


Figure N°06 : les akinètes (Couté et Leitao ,2005).

### II.2.4. Les vacuoles gazeuses

On appelle vacuoles gazeuses, ou à gaz, certaine cavité présentes chez de nombreuses cellules procaryotes aquatiques, dont les cyanobactéries, les bactéries photosynthétiques anoxygéniques. Chaque vacuole est constituée de plusieurs vésicules à gaz alignées, qui sont des cylindres creux recouverts de protéine. Les

vacuoles gazeuses sont des organes de flottaison qui permettent à la cellule de se maintenir dans l'eau à une profondeur appropriée, ou elles reçoivent suffisamment d'oxygène, de lumière et de nutriments (**Gerard et al., 2003**).

### **II.3. La classification**

Pour les motifs précédents, ils sont classés par les microbiologistes dans le règne des *Eubacteria* d'où l'appellation de cyanobactéries, et par les botanistes, dans le règne végétal, d'où le nom de Cyanophytes (**Couté et Leitao ,2005**).

La classification de ces organismes dépend à la fois du code international de nomenclature botanique(ICBN), (**Greuter et al. ,1994**). Et du code international de nomenclature des bactéries(ICNB), (**Lapage et al., 1992**).

**Tableau N°I:** la classification des deux systèmes microbiologique et botanique (**Fremy et Lassus ,2001**).

	<b>ICBN</b>	<b>ICNB</b>
<b>Règne</b>	Végétal	Bactérien( <i>Eubacteria</i> )
<b>Division (embranchements)</b>	<i>Cyanophyta</i>	<i>Gracilicuta</i>
<b>Classe</b>	<i>Cyanophyceae</i>	<i>Oxyphotobacteria</i>  <i>Cyanobacteria</i>  <i>Prochlorophyta</i>

- **La nomenclature botanique**

A l'heure actuelle, l'embranchement ne comprend qu'une classe unique, Celle de cyanophycées, subdivisée en deux sous classes (**Rippka et al., 1979**).

- des coccogonophycidées : Groupant les formes solitaires ou coloniales, parfois filamenteuses mais sans hormogonies et se multipliant uniquement par spores unicellulaires.

Trois ordres existent dans cette sous –classe :

a- *Chroococcales*

b- *Oscillatoriales*

c- *Pleurocapsale*

- Les hormogonophycidées : Qui ont des formes filamenteuses à trichomes souvent entourés d'une gaine, à multiplications par Hormogonies pluricellulaires. Dans cette sous classe on rencontre des espèces à hétérocystes ; il existe deux ordres dans cette sous classe

a- *Stigonématales*

b- *Nostocale*

- **La classification bactériologique**

Dans la classification de Bergey 2004 ; la classe des *cyanobactéria* renferme cinq sous sections (**Camille et al., 2010**).

**Tableau N°II :** la classification des cyanobactéries selon les microbiologistes (Camille *et al.*, 2010).

Classe	Sous section	Définition
<i>Cyanobactéria</i>	I	Forme unicellulaire ou pluricellulaire en agrégats avec fission binaire en un, deux ou trois plans.
	II	Forme unicellulaire ou en agrégats avec fission interne multiples.
	III	Trichome filamenteux unisériel non ramifiée, pas d'hétérocystes, ni akinètes.
	IV	Trichome filamenteux unisériel non ramifiée, mais produisant des hétérocystes et akinètes.
	V	Trichome filamenteux ramifiée ou non ; uni ou plurisérielles, la reproduction se fait par fission binaire dans plusieurs plans.

### **III. Habitat et écologie des cyanobactéries**

Les cyanobactéries représentent un groupe très hétérogène tant au plan génétique qu'au plan morphologique hétérogénéité qui a parmi de coloniser la grande majorité d'écosystèmes terrestres et aquatiques (**Faxinant *et al.*, 2014**).

Les cyanobactéries filamenteuses sont répertoriées dans la plupart des habitats; elles sont présentes dans tous les pays du monde et en tous lieux, aussi bien dans les milieux aquatiques que dans les milieux désertiques (**Silvano, 2005**).

### III.1. Bactérie ubiquitaire

Les cyanobactéries sont largement distribuées dans les habitats naturels terrestres, dulçaquicoles et marins. En général, elles résistent mieux aux conditions environnementales extrêmes que les algues et sont souvent les organismes phototrophes dominant ou même uniques dans les sources chaudes, les lacs salés et les autres environnements extrêmes.

On trouve beaucoup d'espèces à la surface des rochers ou des sols, et mêmes dans certains cas à l'intérieur des rochers. Dans les sols désertiques, soumis à une lumière solaire intense, les cyanobactéries forment souvent des croûtes superficielles étendues, restant en dormance la plupart de l'année et ne poussant que pendant le bref hiver et les pluies printanières. Dans les baies marines profondes, où l'eau présente des températures relativement élevées, des tapis très épais de cyanobactéries peuvent se former. Dans les lacs d'eau douce, en particulier ceux qui sont riches en éléments nutritifs, des efflorescences de cyanobactéries peuvent se développer (**Madigan *et al.*, 2007**).

Les cyanobactéries ont une impressionnante capacité à coloniser des substrats stériles comme les cendres volcaniques, les déserts de sables et des rochers (**Mur, 1999**).

### III.2. Symbiose

Les cyanobactéries réussissent particulièrement bien à établir des relations symbiotiques avec d'autres organismes par exemples ; elles sont des partenaires photosynthétiques dans la plus part des associations de lichens, des protozoaires et des champignons (**Prescott *et al.*, 2010**).

Certaines cyanobactéries sont des endosymbiotes d'hépatiques, de fougères flottantes; Dans le cas de fougère aquatique du genre *Azolla*, d'autres types de symbiose racinaire fixatrices d'azote, et les racines des plantes tropicales, celle en particulier qui s'établit entre des *Nostocs* ; cyanobactérie fixatrice d'azote et les racines des plantes très primitives ; les cycadales (**Goleat *et al.*, 2010**).

### III.3. Les pigments photosynthétiques

Les pigments constituent un critère important dans la classification des cyanobactéries. Le rôle physiologique de ces molécules est de capter l'énergie lumineuse. Selon la nature des pigments surnuméraires associés à la chlorophylle (**Karp, 2008**).

#### III.3.1. Phycobiliprotéines

Phycobiliprotéines sont des pigments accessoires des cyanobactéries, elles sont composées des protéines fixées à un groupe tétrapyrrole. Les cycles pyrrole comportent un ensemble de liaisons doubles alternées similaires à celles présentes dans d'autres molécules de transfert des électrons (**William, 2003**).

Les phycobiliprotéines se sont dotées de véritables prothèses optiques capable de capter la lumière verte, de transformer et de la transmettre photon par photon à la chlorophylle (insensible à la lumière verte), ce sont les phycobiliprotéines bleues (phycocyanines) et les phycobiliprotéines rouge ( phycoérythrine), (**Gudin, 2013**).

#### III.3.2. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont généralement des composés isoprénoïdes hydrophobes qui sont synthétisés dans les membranes. La plupart s'accumule dans les complexes protéiques de la membrane photosynthétique, dans la membrane cellulaire et dans la paroi de la cellule (**William, 2003**).

Ils possèdent de longues chaînes hydrocarbonées avec une alternance de liaisons C-C et C=C, un arrangement appelé système de double liaisons conjuguées ; c'est-à-dire dérivent du lycopène par une cyclisation affectant deux isoprènes des extrémités de la chaîne de liaison conjuguées (**Farineau et Morot, 2006**).

#### III.3.3. La chlorophylle

Les chlorophylles sont de grandes molécules planes constituées de quatre noyaux pyrroles substitués, les quatre atomes d'azote des pyrroles sont unis par les liaisons de coordination à un atome de magnésium. il ya plusieurs chlorophylles, les deux plus importantes sont la chlorophylle *a* et *b*, ces deux molécules diffèrent

légèrement par leur structure et leur propriétés spectrales. Dissoute dans l'acétone, la chlorophylle *a* présente un pic d'absorbance de la lumière à 665 nm ; le pic correspondant de la chlorophylle *b* est à 645 nm (**Prescott *et al.*, 2003**).

La principale chlorophylle utilisée par les plantes vertes, les algues et les cyanobactéries est la chlorophylle *a*. Elle est située dans les thylakoïdes membranaires des chloroplastes chez les algues et les plantes vertes et dans les thylakoïdes (des structures photosynthétiques) chez les cyanobactéries (**Gerard *et al.*, 2003**).

### III.4. Métabolisme

Les cyanobactéries sont généralement capables d'occuper tous les types de milieux, à condition qu'éclairage et humidité y soient disponibles. En effet, l'eau et la lumière sont indispensables au développement de la plupart des systèmes biologiques (**Reviere, 2003**).

La croissance des cyanobactéries nécessite également des sels minéraux variés et, chez certaines espèces, des vitamines telles que la B<sub>12</sub> ou la thiamine (**Morvan *et al.*, 1997**).

Les cyanobactéries requièrent la lumière du soleil et de l'oxygène pour leur métabolisme dont la surface des habitats aquatiques et des strates est particulièrement riche en radiations solaires (**Perry *et al.*, 2004**).

#### III.4.1. La photosynthèse

Les cyanobactéries utilisent l'énergie solaire pour fabriquer des molécules organiques à partir du CO<sub>2</sub> ; elles utilisent la chlorophylle *a* comme pigment clé pour la capture de la lumière et H<sub>2</sub>O comme donneur d'électrons, libérant O<sub>2</sub> comme sous-produit, elles sont donc oxygéniques (**Raven *et al.*, 2011**).

Le photosystème II présente un centre réactionnel entouré d'une antenne interne à la chlorophylle *a*, et caractérisé par la présence de phycobilisomes. Le photosystème I possède une petite antenne réduite à une antenne interne. La capacité des antennes à collecter les photons de lumière verte grâce à l'intervention de la phycoérythrine permet aux ces organismes de se développer dans les eaux marines à plusieurs mètres de profondeur (**Rose et Gareth, 1979**).

Dans des habitats tels que les sources d'eau chaudes qui peuvent présenter des taux élevé de H<sub>2</sub>S, les cyanobactéries peuvent réaliser de la photosynthèse anoxygénique (**Summerfield et al. ,2008**).

### III.5. Mode nutritionnel des cyanobactéries

#### III.5.1. Photolithotrophie stricte

Ces cyanobactéries ne peuvent croître qu'en présence de lumière, leur donneur d'électrons est minéral (H<sub>2</sub>O ou H<sub>2</sub>S) et leur source de carbone est inorganique (CO<sub>2</sub>) (**Reviere, 2003 ; Lee, 2008**).

La photolithotrophie en anaérobiose, la lumière est la source d'énergie permettant l'oxydation d'un substrat minéral en oxygène avec production d'ATP (**Elbée, 2016**).

#### III.5.2. Photohétérotrophes

Les photohétérotrophes utilisent la lumière comme source d'énergie mais trouvent leur carbone dans des molécules organiques comme les glucides ou les alcools produit par d'autres organismes (**Raven et al., 2011**).

#### III.5.3. Les chimiohétérotrophes

Quand on parle de photoautotrophes, de Les photohétérotrophes et de chimioautotrophes, il est facile de reconnaître la source d'énergie et celle de carbone parce qu'il s'agit d'entités distinctes. Par contre, chez les chimiohétérotrophes distinction n'est pas aussi claire parce que ces sources se trouvent généralement dans le même composé organique par exemple, le glucose. Les chimiohétérotrophes utilisent spécifiquement comme source d'énergie les électrons provenant des atomes d'hydrogène qui font partie des composés organiques (**Gerard et al., 2003**).

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

## IV. Reproduction

La reproduction est végétative, c'est à dire asexuée et s'effectue par scission simple ou multiple, par bourgeonnement ou encore par fragmentation au hasard **(Falquet et Hurni, 2006)**.

Dans ce dernier cas, une cellule grandit puis se divise plusieurs fois pour produire de nombreuses cellules plus petites qui sont libérées par rupture de la cellule parentale. La fragmentation des cyanobactéries filamenteuses peut générer des petites filaments mobiles appelés hormogonies. **(Prescott et al., 2003)**.

### IV.1. La cytotoxicité des cyanobactéries

Actuellement ,40 espèces de cyanobactéries appartenant à 22 genres sont répertoriées comme toxiques .les cyanotoxines font partie des produits chimiques d'origine naturelle préjudiciables à la santé **(Roger et Pierre, 2012)**.

Les toxines sont liées aux cellules (endotoxines) qui peuvent être libérées que lors de la lyse des cellules ou lors de traitement par un algicide. Certaines toxines résistent à la température élevée supérieure à 175°C **(Picoux, 2004)**.

Les toxines cyanobactériennes peuvent être classées en fonction de leur action :

- Hépatotoxines : sont des peptides cycliques de faible poids moléculaire regroupés en deux familles microcystines et nodularines. Elles sont synthétisées par certains espèces des genres *Microcystis*, *Nostoc*, *Anabaena*, **(Carmichael, 1997 ; Falconer et Humpage, 1999)**.
- Neurotoxines : regroupées en deux familles : les anatoxines et aphantoxines ce sont des alcaloïdes spécifiques aux cyanobactéries principalement synthétisées par *Anabaena* et *Aphanizomenon* **(Carmichael, 1992)**.

### V. Les écosystèmes extrêmes

#### V.1. Notion de l'environnement extrême et extrémophiles

L'environnement extrême s'agit de tout environnement où les conditions sont hostiles pour les êtres vivants mésophiles, peut être considéré comme tout milieu caractérisé par des valeurs de paramètres physico-chimiques s'approchant des limites entre lesquelles la vie peut exister. Il est très stable à l'échelle biologique (les régions volcaniques ; la croûte terrestre ; l'océan profond (**Gargaud, 2003**)).

Les extrémophiles représentent certains des organismes les plus fascinants sur terre pour la simple raison qu'ils habitent des environnements extrêmes caractérisés par des propriétés physiques et chimiques qui les rendent totalement inhospitaliers pour la plupart des autres organismes. Ils ont donc développé de nombreuses adaptations physiologiques et biochimiques leur permettant d'afficher, malgré les conditions difficiles de leurs habitats, des flux métaboliques. Ils ont été subdivisés en six catégories principales selon le paramètre spécifique qui prévaut dans l'environnement : "Les thermophiles" sont capables de maintenir des températures élevées, dont certaines atteignent environ 115 °C, "les psychrophiles" vivent dans des habitats constamment froids tels que la mer profonde, "les halophiles" prospèrent dans des environnements très salés comme la mer morte, certains "Acidophiles" tolèrent pH à 0 ou même moins. Tandis que les "Alcaliphiles" peuvent se développer heureusement dans des solutions de pH jusqu'à 12; Enfin "les piezophiles", également nommés "Basophiles", sont adaptés à des pressions allant jusqu'à 1000 bar (**Gerday et Glansdorff, 2009**).

##### V.1.1. Intérêt biotechnologique des extrémophiles

Depuis leur découverte, les extrémophiles ont attiré l'attention des chercheurs de plusieurs disciplines dont dans la biotechnologie ; par les possibles applications industrielles des extrémophiles ou de leur molécule (**Quérellou et Guézennec, 2010**).

Les enzymes (protéines qui catalysent la transformation d'un substrat en produit) de chaque organisme sont logiquement adaptées pour fonctionner de manière optimale dans des conditions de croissance habituelles de cet organisme. Les enzymes des extrémophiles sont performantes à haute température, haut ou bas pH, forte

concentration de sel .elles sont aussi très stables et résistantes aux agents dénaturants. Les enzymes des organismes adaptés à des conditions extrêmes très diverses offrent un large choix à l'industrie par leurs performances dans des milieux où la plupart des enzymes connus ne sont pas fonctionnelles, de plus, plusieurs extrêmophiles possèdent des voies métaboliques nouvelles ce qui augmente le panorama des réactions qu'il devient possible de catalyser par voie biotechnologique (**Gargoud, 2003**).

### V.2. Thermophiles

Sont des microorganismes qui se développent à température au\_ dessus de la gamme des mésophiles de 25°C à 40°C qui caractérise le courant dominant de la vie. Sont souvent adaptés à des extrêmes supplémentaires qui se combinent avec une température élevée pour menacer l'intégrité structurale de leurs cellules (**Frank robb et al., 2008**).

Le mot thermophile a été dérivé de deux mots grecs « *thermotita* » signifiant chaleur et « *philia* » signifiant amour, sont des organismes qui aiment la chaleur ; qui non seulement tolèrent des températures élevées, mais aussi nécessitent généralement pour leur croissance et leur survie. Un thermophile tel que défini par Brock (1978) est organisme capable de vivre à des températures a ou près du maximum pour le groupe taxonomique dont il fait partie (**Satyanarayana et al., 2013**).

#### V.2.1. La classification des thermophiles

La température cardinale peut également variée en fonction des conditions de croissance. En outre ; thermophiles couvrent une période de croissance comprise entre 40°C à 100°C, et les thermophiles dans la plage de température inférieure. par conséquent plusieurs tentatives ont été faites pour subdiviser les thermophiles (**Gareth et Rose ,1979**).

Les thermophiles peut êtres classés en thermophiles ; de température optimale 40à 60°C, thermophiles extrêmes de 60 à 85°C et hyperthermophiles (**Satyanarayana et al., 2013**).

**Tableau N°III : Systèmes de classification thermophiles (Gareth et Rose ,1979).**

<b>Terme</b>	<b>Définition</b>
Thermophiles	La température minimale est supérieure à 25°C.
Orthothermophiles	La température maximale est supérieure à 60-70°C.
Thermotolérants	T max est égale 50-55°C.
Mésophiles thermophiles	Croître entre 20 et 57°C et survivre à la pasteurisation.
Véritables thermophiles	T opt est égale 55-60°C.
Thermophiles sténothermes	T min est supérieure à 28°C, T max est inférieur à 60°C.
Thermophiles stricts ou obligatoires	T opt est 65-70°C. T min est supérieur à 40-42°C.
Thermophiles eurithermiques	Croître à 60°C et à 28°C.
Thermophiles facultatifs	T max est 50-65°C. T min est une température ambiante.
Organismes thermotolérants	T max est 45-50°C.
Caldobactéries actives	T max est supérieure à 90°C. T min est supérieure à 40°C. T opt est supérieur à 65°C.
Bactéries thermophiles	T max est supérieure à 60°C. T min est supérieure à 30°C. T opt est supérieur à 50°C.

### V.2.2. Les cyanobactéries thermophiles

Certaines espèces de cyanobactéries sont adaptées à des environnements extrêmes tels que les sources d'eau chaude. Elles peuvent supporter des températures élevées, des pH acides ou encore des conditions variables d'éclairement (**Summerfield et al., 2008**).

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

Les cyanobactéries sont capables de croître ou de rester en vie moyennant des processus d'enkystement jusqu'à des températures avoisinant 70 à 80 °C. C'est donc dans les eaux thermales marines ou douces qu'on peut les trouver. *Mastigocladus laminosus* se développe à 55°C et peut subsister jusqu'à 64°C. Une autre cyanobactérie est encore plus tolérante, c'est le cas de *synechococcus lividus* dont la température optimale de croissance se situe entre 63 et 67°C. C'est surtout dans le parc national de Yellowstone aux États-Unis qu'on trouve de nombreuses espèces thermophiles. Ce qui intéresse les scientifiques chez ces organismes, c'est surtout la structure particulière des protéines capables de s'adapter à de si hautes températures (**Gudin , 2013**).

### V.2.3. Niches écologiques des thermophiles

Les niches écologiques sont nombreuses, y compris à la fois non sélective et sélective environnement naturel et artificiel (**Gerday et Glansdorff, 2009**).

- **Biotope**

Eaux côtières peu profondes, tempérées ou tropicales, sédiments de sources géologiques et de composition chimiques variées, proximité de sources hydrothermales, environnements pauvres en oxygène. La présence de surfaces à

coloniser dans ces sédiments est naturellement plus importante et stimule aussi la croissance bactérienne (Guèzennec, 2014).

### V.2.3.1. Biotopes naturels

Les biotopes naturels pour la survenue de microorganismes thermophiles sont répartis dans le monde entier, ce sont des habitats de température relativement élevée. Ceux-ci peuvent être d'origine terrestre ou marine. Les plus remarquables qui abritent une grande variété de microorganismes thermophiles comprennent des géothermiques et volcaniques terrestres et des événements hydrothermaux de haute mer (fosses hydrothermales sous-marines). La plupart des thermophiles et hyperthermophiles externes actuellement connus ont été récupérés à partir de ces régions par des approches culture dépendantes et indépendantes de la culture. Les zones géothermiques et volcaniques incluent les fumaroles terrestres (solfataras), les sources thermales terrestres et les geysers. Les biotopes naturels comprennent les réservoirs géothermiques d'hydrocarbures et de pétrole et les sols chauffés par le soleil; Sédiments (Satyanarayana *et al.*, 2013).

Dans la nature, les thermophiles se trouvent dans de l'eau contenant des milieux volcaniques et géothermiques chauffés situés principalement le long des zones de fracture tectonique terrestre et sous-marine où les plaques sont en collision (subduction) ou s'éloignent l'une de l'autre (Emst et Marti, 2005).

### V.2.3.2. Biotopes artificiels

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

### V.2.4. Diversité taxonomique et métabolique des thermophiles

Les thermophiles sont métaboliquement divers et incluent des phototrophes, des chimiotrophes, des autotrophes et des hétérotrophes. Dans les passages hydrothermiques sous-marins, les fluides hydrothermiques contiennent des gaz tels que le CO<sub>2</sub>, et des éléments minéraux oxydo-réducteurs (H<sub>2</sub>S, S, Fe<sup>2+</sup>) utiles pour les

chimiolithotrophes. Les hétérotrophes sont également présents, prospérant sur le carbone organique produit dans cet écosystème. La lumière atteint les environnements hydrothermiques terrestres et marins peu profonds, ce qui rend possible le développement des phototrophes (**Ferrera et Reysenbach, 2007**).

### VI. Les sources thermales de l'Algérie

Les traces retrouvées dans les stations thermales remontent à l'époque romaine. En et 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* (Hamam Righa) ; *Aquae Sirenses* (Hamam Bouhanifia) ; *Aquae Chibilita Nae* (Hamam 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 Kedaid, 2005**).

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

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

#### VI.1. Etats des connaissances en Algérie

De par sa superficie et sa biodiversité, l'Algérie représente un immense gisement, sinon un réservoir important pour la recherche et la production de nouvelles sources alimentaires et énergétiques. Il s'agit des algues microscopiques qui représentent un potentiel important dans la production de protéines, de lipides, de

Composés chimiques à usage pharmaceutique et dans la production des hydrocarbures. En effet, l'Algérie offre un champ d'investigation très étendu grâce à la variabilité des conditions climatiques auxquels sont soumis ces organismes aquatiques. Par ailleurs, l'Algérie par son réseau hydrographique dispose d'un nombre important d'écosystèmes d'eau douce. Les eaux chaudes sont très abondantes dans toute la région qui s'étend de Sétif à Constantine et qui atteint Biskra, vers le Sud. Ces sources thermales sont une des manifestations des phénomènes volcaniques qui continuent à se faire sentir sous forme de séismes dans cette partie de l'Est Algérien (**Hélène, 1966**).

Dans ces écosystèmes, les végétaux (microphytes et macrophytes) sont encore peu étudiés. Pour ce qui concerne les microphytes (microalgues et cyanobactéries), quelques études ont été réalisées. Une étude de la composition chimique de ces eaux a été faite en 1940 et 1947, par Simone Guigue, mais la faune et la flore en sont mal connues. H. Gauthier en 1925 a donné une vue d'ensemble de la faune des eaux continentales de l'Algérie, mais n'a pas étudié spécialement les sources chaudes et de plus, n'a jamais signalé de Protozoaires dans ses diagnostics (**Hélène, 1966**).

Les thermophiles sont évalués scientifiquement pour leur analogie avec les anciennes formes de vie sur Terre et comme une source de bicomposés 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 Essalhine située 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.

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

# *Matériel et méthodes*

### Matériel et méthodes

#### I. Présentation de la zone d'étude

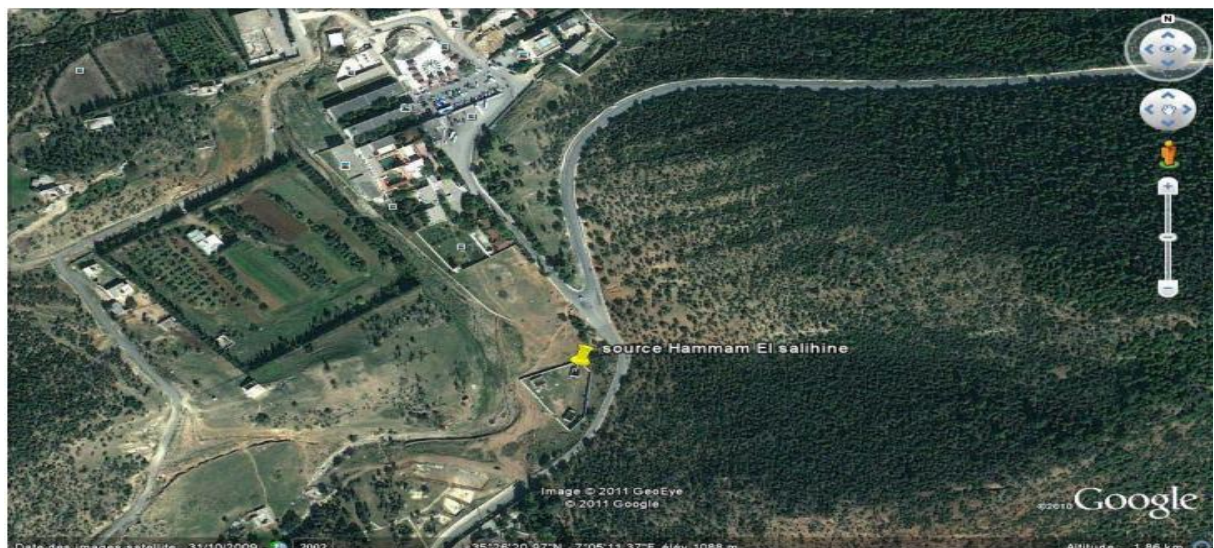
##### Choix de site d'étude

Pour la réalisation de notre étude, nous avons choisi deux sites d'échantillonnage à travers la wilaya de Khenchela.

- **Site 1** : Hammam Essalhine (commune d'El Hamma).
- **Site 2**: Hammam Knif (commune de Baghai).
- **Hammam Essalhine**

La station thermale Hammam Essalhine se situe dans un étroit graben, entouré par des reliefs de tout bord. Dont on peut citer Djebel Aidel au sud. Aurès et son prolongement Djebel Feraoun à l'ouest de la commune d'EL-Hammam au Nord et une et ne chaîne de collines à l'Est.

La station thermale de Hammam Essalhine est située dans la commune d'EL-Hamma, à 7 Km au nord ouest de chef lieu de la wilaya de khenchela dans une dépression montagneuse (**Gasmi et Araar ; 2010**).



**Figure N°07** : Représentation du point d'échantillonnage de Hammam Essalhine Khenchela (**Google earth**).

### Coordonnées géographiques

-Altitude de 1062 mètre.

-Latitude : 35° 26' 17,98 Nord.

-longitude : 7° 05' 08,16 Est.

- **Hamмам knif**

La station de Hammam knif se trouve dans la commune de Baghai à 15km du chef lieu de la wilaya de Khenchela. (**Berkani, 2011**). Le Djebel Knif constitue un site géologique et touristique exceptionnel. Sa richesse en eaux thermales, les vestiges archéologiques et les grottes qu'il recèle, en font une destination de choix pour un tourisme qui associerait culture, géologie, activités sportives et thalassothérapie.

### Situation Géographique

Situé à une dizaine de kilomètres au Nord-est du Chef-lieu de la Wilaya de Khenchela, sur la route nationale Khenchela- Ain El Beida, Il constitue un petit chaînon allongé globalement Nord Est-Sud West, d'une longueur de deux (02) kilomètres et d'une largeur d'environ 500 mètres ; il culmine à 1450 mètre d'altitude et domine la plaine environnante d'à peine une centaine de mètres.



**Figure N°08** : Représentation du point d'échantillonnage de Hammam Knif Khenchela (**Google earth**).

### Coordonnées géographiques

-Altitude de 900 mètre.

-Latitude : 35° 29' 08,32 Nord.

-longitude : 7° 15' 14,107 à l'Est.

### II. Les étapes de l'échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée (**Rodier et al., 2009**).

Les échantillons sont prélevés à partir des eaux environnantes de deux stations des sources thermales, de deux régions différentes climatiquement (situées dans l'Est de l'Algérie) ; wilaya de Khenchela (Hammam Knif , Hammam Essalhine).

#### II.1. Préparation du matériel

Le matériel de terrain consiste en une série de flacons ambrés d'échantillonnage, une glacière, un échantillonneur (lorsque l'accessibilité au site et la température de site selon la taille du cours d'eau) et des instruments de mesure, tels qu'un multi paramètre, thermomètre et un pH-mètre de terrain (**Berkani, 2011**).

#### II.2. Calibrage des appareils

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

### III. Mesure des paramètres *in situ* de l'eau

Pour aboutir aux résultats souhaités, nous avons tout d'abord effectué une visite de reconnaissance des points d'eau chaude dans la zone concernée ensuite nous avons effectué une campagne d'échantillonnage.

Des mesures *in situ* de la température et du pH de l'eau sont réalisées au moment du prélèvement (**Gomri, 2012**).

Les paramètres mesurés sont : la température, le pH, à l'aide d'un analyseur multi paramètre type «6 paramètres C 535 T».



**Photographie N°01:** Multi paramètre (6 paramètres C 535 T).

### III.1. La température

C'est important de reconnaître la température de l'eau avec une bonne précision .En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH (**Ben Bouih ,2000**).

Elle se fait au moyen d'un multi paramètre, un appareil de mesure fournissant des valeurs de température en  $^{\circ}\text{C}$  pour connaître la température de l'eau avec une bonne précision.

### III.2. Le pH

Le pH de l'eau est défini par la concentration des ions de proton contenues dans la solution. Par définition, le pH est le log décimal de cette concentration totale Plus couramment, le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution .Il est liée aux variations de la température, salinité, oxygène dissous, du taux de  $\text{CO}_2$  et des terrains traversé (**Ben Bouih ,2000**).

La mesure des valeurs de température en °C et pH se fait au moyen d'un multi paramètre ; L'utilisation de cet appareil consiste à faire plonger la sonde appropriée dans l'eau, après étalonnage, puis attendre quelques secondes avant de lire le résultat de la mesure, après stabilisation de l'affichage de ce dernier sur l'écran.

### IV. Prélèvement des échantillons

#### IV.1. Méthode de prélèvement

Les prélèvements des échantillons des cyanobactéries et du matériel biologique sont réalisés le moind'Avril 2017.

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

- Les échantillons d'eau sont prélevés dans des flacons en verre stériles préalablement à 120 °C pendant 20 minutes et bien rincés avec l'eau à échantillonner.
- L'opération consiste à utiliser des flacons en verre d'une capacité de 250 ml, de couleur brun ; afin d'éviter tout dommage mécanique ou thermique potentiel et tenus hors de toute lumière du jour.
- On a 02 sites de prélèvement, et chaque site nous avons pris 04 échantillons, donc on a 08 échantillons des sources thermales.

Les cyanobactéries se trouvent soit flottantes ou 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 spatule stérile

Une solution de formaldéhyde à 5 % est ajoutée à un volume équivalent à celui de l'échantillon. ceci permet d'une part de fixer les structures contenues dans les échantillons et d'autre part d'éviter toute activité bactérienne (**Couté et Leitão, 2005**)

Une quantité de Lugol (solution Iodo-iodurée) ; un fixateur est aussi ajoutée à un autre échantillon; Une quantité de Lugol est ajoutée à l'échantillon jusqu'à ce que celui-ci prenne une teinte jaune clair (ce qui facilite leur sédimentation) (**Bensafia, 2005**).

Une solution de chloroforme à 5 % est ajoutée à un volume équivalent à celui de l'échantillon. Il permet une conservation pour une longue durée.

Les échantillons doivent être transportés dans une glacière. Les échantillons sont maintenus à une température de 4°C et à l'obscurité jusqu'à l'analyse au laboratoire (ce qui permet une conservation satisfaisante) cette étape est importante puisque plusieurs paramètres peuvent subir des modifications de l'échantillon. (**Abadli et Harkati, 2015**).

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

Chaque flacon est été muni d'une étiquette comportant la codification suivante, le nom de site et la date de prélèvement (**Silvano, 2005**).

### **V. Procédures de laboratoire**

Les espèces ont été identifiées au microscope optique.

#### **V. 1. Caractères morphologiques choisis**

La détermination des genres récoltés des cyanobactéries est réalisée à partir de l'observation, sous microscope optique, des caractères morpho anatomiques représentant les clés d'identification proposées par **Bourrelly** .

Les critères retenus sont : La structure des cyanobactéries (cellulaire ou filamenteuse), 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.

#### **V.2. Observations microscopiques des échantillons**

L'examen microscopique est indispensable pour l'identification précise des genres et des espèces de cyanobactéries. L'examen direct des échantillons permet d'apprécier la morphologie des cyanobactéries, leurs groupements, leur abondance, et d'observer leur mobilité (**Rippka, 1978**).

- Homogénéiser les échantillons d'eau fixés par les produits et les fixateurs, par agitation du flacon.
- Déposer sur une lame (préalablement nettoyée à l'alcool) une goutte d'échantillon à l'aide d'une pipette Pasteur.
- Recouvrir avec une lamelle en évitant la formation de bulles d'air.
- Laisser sécher les lames à température ambiante et à l'abri de la poussière.
- Les lames sont prêtes pour l'observation au microscope (x40 et x 100).
- L'observation est effectuée sur toute la longueur et largeur de la lamelle.
- Pour une idéale observation au grossissement (x 100) ajouter une goutte d'huile d'immersion sur la préparation.

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.

#### V.4.Taxinomie des cyanobactéries

La détermination des genres et des espèces de chaque récolte est réalisée par l'observation sous microscope optique des caractères morpho- anatomiques représentant les clés d'identification à partir de la description, des dessins et des dimensions, une identification des espèces a été rendue possible par comparaison de nos données à certains travaux comme ce de : **Bourrelly1985, 1968, 1966; Michel, 1987 et Coute, 1995**, et plusieurs d'autres études et recherches faites sur les cyanobacteries.

# *Résultats et discussion*

### Résultats et discussion

#### I. Les propriétés des sources thermales étudiées

Pour rassembler les connaissances actuelles sur les cyanobactéries. Certains paramètres physiques de leur environnement ont été mesurés.

Les valeurs de température et de pH enregistrées pour les eaux des sources thermales étudiées sont notées dans le tableau N°IV.

**Tableau N°IV :** Les propriétés de la source thermale étudiée.

Stations thermales	Hammam Essalhine	Hammam Knif
<b>Localisation</b>	35°26'N / 07°05'E	35°29'N / 07°15'E
<b>T (°C) mesuré in-situ</b>	65.20	50
<b>PH mesuré in-situ</b>	7,20	6.80

##### I. 1. Température

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique qui caractérise le climat d'une région, elle agit également comme facteur physiologique sur le métabolisme et la croissance cellulaire de la plupart des organismes vivant dans l'eau, notamment ceux microscopiques comme les cyanobactéries (Who, 1989).

Elles peuvent être hypothermales, mésothermales ou encore hyperthermales.

Dans la zone d'étude de Hammam Essalhine nous avons remarqué que la température est variée de 65-70°C, alors que la source thermale de Hammam Knif est caractérisée par une température de 50°C.

Nous retiendrons avec **Issaadi (1992)**, la classification des eaux thermales, selon leur température d'émergence ; une eau hypothermales dont la température est comprise entre 21 et 35°C, une eau mésothermales ce sont des eaux dont la température à l'émergence est entre 30 et 50°C, et Hyperthermales dont la température à l'émergence est supérieur à 50°C et inférieur à 100°C.

Les données présentées dans le tableau N°IV nous permettent de conclure que les deux sites des sources thermales étudiées se caractérisent par des eaux hyperthermales.

### I.2. pH

Selon le tableau N°IV les eaux des sources des zones d'études (hammam Essalihine, hammam Knif), dont le pH est varié entre 6.8, 7.20 sont des eaux neutres. Selon Gaujous, a pH neutre, la forme dominante est l'ion bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), le gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) ne se rencontre qu'à pH acide, cependant la forme carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) est pratiquement absente des eaux naturelles (**Gaujous, 1995**).

## II. Résultats d'identification des cyanobactéries

Les étapes d'identification des Cyanobactéries sont réalisées après observation au microscope optique équipé d'un appareil photo au (grossissement X 40 et X 100).

Suivant la morphologie générale des taxons observés, une première détermination des espèces a été faite. En plus des observations, des photographies des taxons ont été prises pour chaque échantillon.

Les résultats d'identification sont exprimés avec les noms de genres et d'espèces pour l'identification des cyanobactéries.

Notre recherche sur les deux sites d'études hammam Essalihine et hammam Knif nous a permis de déterminer 09 espèces appartenant à 08 genres des cyanobactéries.

**Tableau N°V** : Distribution et biodiversité des espèces des cyanobactéries des échantillons analysés dans cette étude.

<b>Sites d'études</b> <b>Espèces</b> <b>Identifiées</b> <b>des</b> <b>Cyanobacteries</b>	<b>Hamam Essalhine</b> <b>(65,20°C)</b>	<b>Hamam Knif</b> <b>(50 °C)</b>
<i>Oscillatoria sp1</i>	+	+
<i>Oscillatoria sp2</i>	+	+
<i>Phormidium sp</i>	+	-
<i>Spirulina sp</i>	+	+
<i>Chroococcus sp</i>	+	-
<i>Synechocystis sp</i>	+	-
<i>Pseudoanabaena sp</i>	-	+
<i>Leptolyngbya sp</i>	+	-
<i>Synechococcus sp</i>	+	+

(+) : présence, (-) : Absence

L'observation des caractères morpho-anatomiques des Cyanobactéries récoltées dans les deux sources thermales de Khenchela (Hamam Essalhine, Hamam Knif); permis d'identifier 09 espèces appartenant à 08 genres : *Oscillatoria sp1*, *Oscillatoria sp2*, *Phormidium sp*, *Spirulina sp*, *Chroococcus sp*, *Synechocystis sp*, *Pseudoanabaena sp*, *Leptolyngbya sp*, *Synechococcus sp*.

Les échantillons d'Essalhine Khenchela étaient plus diversifiés, avec 08 espèces identifiés appartenant à 07 genres, Suivi par Hamam knif avec 05 espèces identifiés appartenant à 04 genres.

### II.1. Classification des espèces des cyanobactéries recensées

Le tableau N°VI détermine la classification des espèces des cyanobactéries recensées dans la région d'étude.

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

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce
<i>Cyanobacteria</i>	<i>Cyanophyceae</i>	<i>Oscillatoriales</i>	<i>Oscillatoriaceae</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Oscillatoria sp1</i> <i>Oscillatoria sp2</i>
				<i>Phormidium</i>	<i>Phormidium sp</i>
		<i>Spirulinales</i>	<i>Spirulinaceae</i>	<i>Spirulina</i>	<i>Spirulina sp</i>
		<i>Chroococcales</i>	<i>Chroococcaceae</i>	<i>Chroococcus</i>	<i>Chroococcus sp</i>
			<i>Nitrospiraceae</i>	<i>Synechocystis</i>	<i>Synechocystis sp</i>
		<i>Nostocales</i>	<i>Oscillatoriaceae</i>	<i>Pseudoanabaena</i>	<i>Pseudoanabaena sp</i>
		<i>Synechococcales</i>	<i>Leptolyngbyaceae</i>	<i>Leptolyngbya</i>	<i>Leptolyngbya sp.</i>
			<i>Synechococcaceae</i>	<i>Synechococcus</i>	<i>Synechococcus sp</i>

#### L'analyse tableau de la classification du des cyanobactéries

D'après le tableau N°VI, nous pouvons dire que notre région d'étude abrite 09 espèces appartenant à 08 genres de Cyanobactéries. La classe des *Cyanophyceae* comporte 05 ordres, *Oscillatoriales*, Cet ordre présente une seul famille des

*Oscillatoriceae* avec 03 espèces recensées appartient à deux genres : *Oscillatoria*, *Phormidium*.

L'ordre *Spirulinales* est représenté par un seul genre *Spirulina* de la famille des *Spirulinaceae*. L'ordre des *Chroococcale* est représenté par deux genres, Le genre *Chroococcus*, et le genre *Synechocystis* et chacun contient une seule espèce.

L'ordre de *Nostocales* est représenté par une seule famille des *Oscillatoriaceae* avec une espèce appartient à un seul genre *Pseudoanabaena*.

Ce qui concerne l'ordre *Synechococcales* présente deux familles ; la famille des *Leptolyngbyaceae* présente un seul genre avec une seule espèce *Leptolyngbya sp*, et la famille des *Synechococcaceae* avec une seule espèce *Synechococcus sp*.

#### IV. Caractéristiques des cyanobactéries recensée

**Tableau N°VII:** Caractères principaux des genres de cyanobactéries rencontrés

<b>Genre</b>	<i>Chroococcus</i> <i>Synechocystis</i> <i>Synechococcus</i>	<i>Oscillatoria</i> , <i>Spirulina</i> , <i>Phormidium</i> ; <i>Pseudanabaena</i> <i>Leptolyngbya</i>
<b>Thalle</b>	unicellulaires ou coloniales	Pluricellulaire
<b>Forme générale</b>	Bacilles ou coques Agrégats non filamenteux	Filaments, trichomes non ramifiés
<b>Hétérocystes</b>	Non	Non
<b>Mobilité</b>	Presque toujours immobiles	Généralement mobiles
<b>Espèces</b>	<i>Chroococcus sp</i> <i>Synechocystis sp</i> <i>Synechococcus sp</i>	<i>Oscillatoria sp1</i> <i>Oscillatoria sp2</i> <i>Spirulina sp</i> <i>Pseudanabaena sp</i> <i>Phormidium sp</i> <i>Leptolyngbya sp</i>

### ✚ L'analyse du tableau de caractéristiques des cyanobactéries

Certains genres identifiés se présentent sous forme de trichomes (*Pseudanabaena*, *Oscillatoria*, *Spirulina*, *Phormidium*, *Pseudanabaena*, *Leptolyngbya*), et d'autres sous forme d'amas cellulaires ou solitaire (*Synechocystis*, *Chroococcus*, *Synechococcus*).

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

- le groupe des espèces à thalle unicellulaire: *Chroococcus sp*, *Synechocystis sp*, *Synechocystis sp*.
- le groupe des espèces à thalle pluricellulaire: *Oscillatoria sp1*, *Oscillatoria sp2*, *Spirulina sp*, *Leptolyngbya sp*, *Pseudanabaena sp*, *Phormidium sp*.

### Discussion

Dans ce travail, nous avons étudié les communautés de cyanobactéries collectées auprès de deux Sources géothermiques algériennes. Les genres reconnus dans ces sites prospectifs ont également été identifiés par **Castenholz (1969)**, **Peter (1988)** et **Kullberg (1971)** dans différentes sources thermales réparties respectivement dans le parc national de Yellowstone, Langola de Zambie et l'ouest du Montana.

L'identification générique des Cyanobactéries au niveau des deux stations thermales de la wilaya de Khenchela a décelé l'existence de 08 genres parmi lesquels le genre *Oscillatoria* et le plus représentée avec deux espèces.

Les échantillons d'Essalhine Khenchela étaient plus diversifiés, avec 08 espèces identifiés appartenant à 07 genres, Suivi par Hammam knif avec 05 espèces identifiés appartenant à 04 genres, et selon **Nasri en 2001**, cela est dû essentiellement à la capacité de chaque genre à s'adapter aux différentes conditions environnementales. Selon **Bourrelly (1985)**, cette diversité dans la fréquence d'apparition des genres, caractérisant chaque milieu, suggère que chaque genre montre des capacités d'adaptation différentes en rapport avec les conditions de l'environnement dans lequel il se trouve.

Le nombre élevé des Cyanobactéries identifiées montre l'existence d'un certain nombre de conditions facilitant la croissance des espèces dans les stations étudiées, qui sont caractérisées par des eaux thermales. La température est un des paramètres les plus importants pour la diversité des espèces des sources thermales. Nous pouvons conclure que les espèces de cyanobactéries en général sont capables de proliférer sous les conditions environnementales des eaux thermales. Les cyanobactéries ont été observées dans des échantillons naturels à 45 ° C (**Coman et al., 2013**) et jusqu'à 63 ° C (**Ionescu et al., 2010**).

La diversité des espèces de cyanobactéries identifiées dans les sources thermales étudiées est en accord général avec les espèces des cyanobactéries thermophile observé il y a des décennies dans le Yellowstone National Parc (**Castenholz 1969; 2008**). L'un des principaux espèces identifiées correspondaient au genre filamenteux *Leptolyngbya*, qui a été détecté dans les sources chaudes dans le monde entier (par exemple, **Ionescu et al., 2010; Coman et al., 2013; Dadheech et al., 2013; Mackenzie et al., 2013**). Un autre morphotype important genre systématiquement associé aux sources thermales est celui de *Synechococcus / Thermosynechococcus spp.*

La présence des cyanobactéries de type *Synechococcus* dans les ressources géothermiques connu depuis longtemps (**Dyer et Gafford 1961; Castenholz 1969; Miller et Castenholz 2000**).

L'apparition de *Leptolyngbya*, *Synechococcus* et d'autres cyanobactéries souvent observées dans la plupart des sources (par exemple, *Spirulina /Phormidium*) pourrait suggérer qu'il n'y a pas de barrière géographique à la dispersion de ces taxons thermophiles (**Papke et al., 2003 ; Danny et al., 2007**) dans d'autres sources thermales à l'échelle mondiale.

Les cyanobactéries identifiées dans les eaux associées à deux sources thermales algériennes (les températures comprises entre 50-6°C) étaient relativement diverses, mais dépendaient du site d'étude. Cela indique que plusieurs lignées de cyanobactéries se sont adaptées à la vie à haute température et sont capables de faire de la photosynthèse jusqu'à au moins 70 ° C dans ces systèmes algériens. La diversité des cyanobactéries ont changé d'une variété d'*Oscillatoriales*, et *Chroococcales* à une

Diversité des membres du genre filamenteux *Leptolyngbya* (*Synechococcales*) et *Synechococcus* (*Synechococcales*).

Trois espèces de cyanobactéries identifiées dans notre étude appartenaient à l'ordre *Oscillatoriales*. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Pentecost (2003), qui ont constaté que les espèces les plus remarquables de cyanobactéries révélées dans les sources thermales avec une température allant de 40 à 66 ° C étaient associées à l'ordre *Oscillatoriales*.

La forme dominante des cyanobactéries identifiées était la forme filamenteuse, Comme l'ont suggéré Gomez *et al.*, (2004).

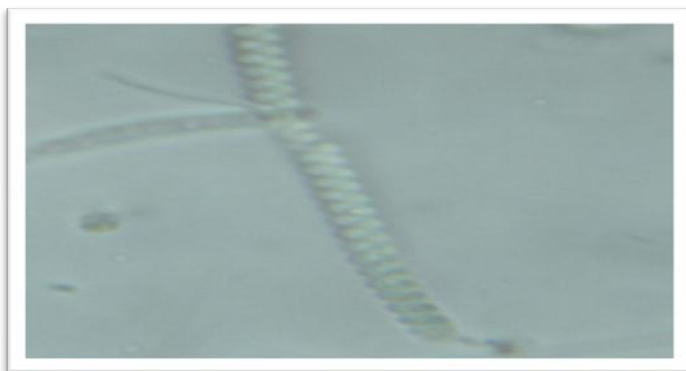
En tout cas, la présence de diverses espèces de cyanobactéries dans ces sources thermales algériennes, en fait des acteurs clés en tant que producteurs primaires dans ces écosystèmes chauds. L'isolement de plusieurs de ces espèces en culture est une étape importante pour une étude approfondie de leur biologie dans diverses conditions de laboratoire.

### III. Les principales genres et espèces des Cyanobactéries identifiées

Les taxons vont maintenant être décrits :

#### **Le genre *Spirulina***

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



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

### Le genre *Synechocystis*

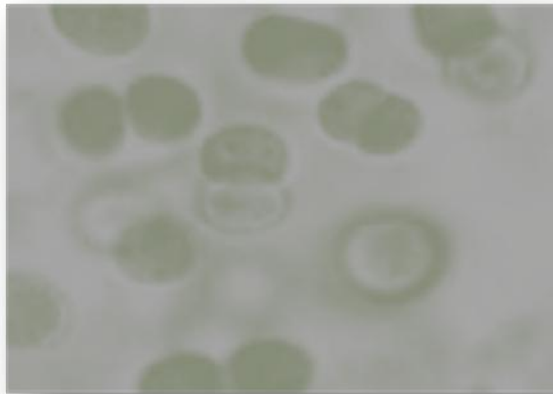
Organisme généralement unicellulaire, parfois colonial et, alors, avec une gaine mucilagineuse incolore (pseudo-filaments de 2 à 4 cellules).



**Photographie N° 03: *Genre Synechocystis* (G 40).**

### Le genre *Synechococcus*

Représente des cellules coccobacilles de petite taille, ce genre regroupe des cellules solitaires, libres, allongées, cylindriques ou ellipsoïdales de couleur verte claire.



**Photographie N°04: *Synechococcus* sp (G100).**

### Le genre *Oscillatoria*

Organisme filamenteux, unisériel, non ramifié et sans gaine mucilagineuse. Trichomes généralement droits mais capables de mouvements d'ondulation, faits exclusivement de cellules végétatives, absence des hétérocystes ou akinètes.



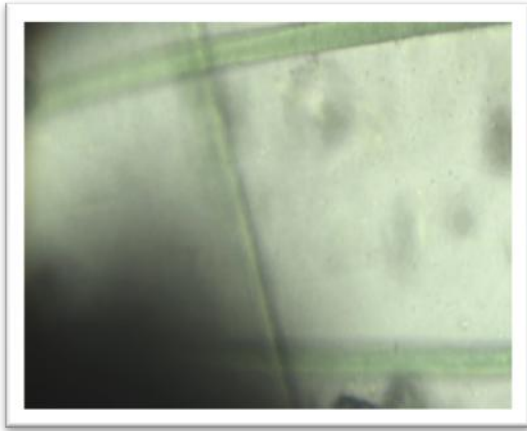
Photographie N°05: (a) *Oscillatoria sp1* (G100.)



Photographie N°06: *Oscillatoria sp2*(G40).

### Le genre *Phormidium* sp

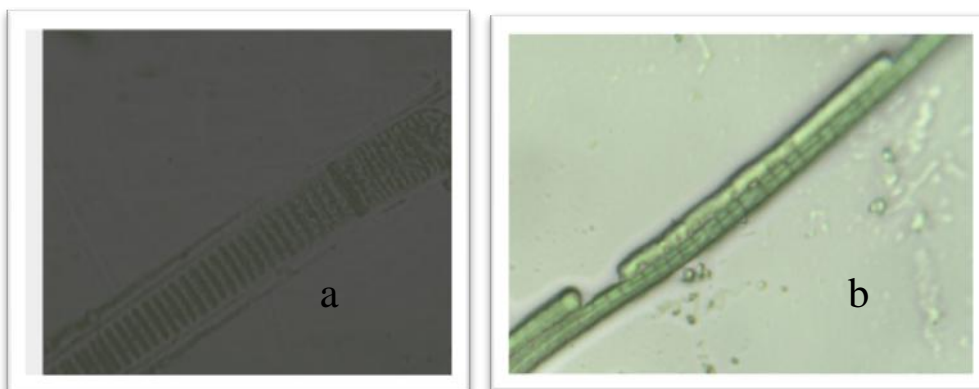
Un seul trichome par gaine, les hormogonies sont mobiles



Photographie N°07 : genre *Phormidium* (G100).

### Le genre *Leptolyngbya*

Regroupe les cyanobactéries filamenteuses, entourées d'une gaine persistante, les cellules sont nettement plus courtes que larges, absence de vésicules de gaz, la mobilité concerne essentiellement les fragments courts du trichome sans gaine libérés du trichome et appelés hormogonies



Photographie N°08 :(a) *Leptolyngbya* sp, (b) *Leptolyngbya* sp (G100).

### Le genre *Chroococcus*

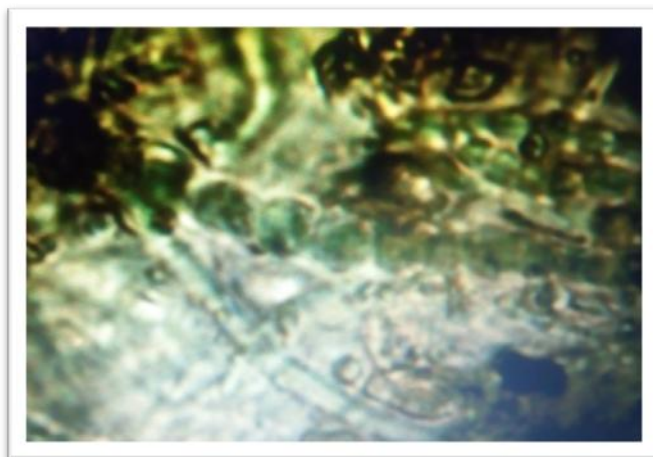
Organisme solitaire ou colonial (et dans ce cas sans forme particulière). Cellules sphériques ou sub-sphériques (hémisphériques au moment de la division).



**Photographie N°09: genre *Chroococcus* (G40).**

### *Pseudanabaena*

Cyanobactérie filamenteuse dont les trichomes sont solitaires, mobiles et sans gaine. Les cellules sont distantes les unes des autres et réunies par un pont gélatineux. Il n'y a ni akinètes ni hétérocystes.



**Photographie N°10: genre *Pseudanabaena* (G100).**

*Conclusion  
et perspectives*

### Conclusion et perspective

Le présent travail constitue une contribution à l'identification de la biodiversité des Cyanobactéries associées aux sources thermales de Hammam Essalhine et Hammam knif de la wilaya de Khenchela.

Cette étude a été menée par une étude morphologique suivie d'un inventaire et une estimation de la richesse spécifique à ces stations thermales.

Le travail a consisté à faire une étude descriptive basée sur des caractères morphologiques. L'étude descriptive a permis d'identifier 09 espèces réparties en 08 genres. Dont le plus abondant était deux espèces de genre *Oscillatoria*, accompagné de membres des genres *Phormidium* *Spirulina*, *Chroococcus*, *Synechocystis*, *Pseudoanabaena*, *Leptolyngbya*, *Synechococcus*. La diversité des espèces de cyanobactéries identifiées dans les sources thermales étudiées est en accord général avec les espèces des cyanobactéries thermophiles détecté dans les sources chaudes dans le monde entier

L'inventaire cyanobactérienne réalisé dans le cadre de ce travail s'est révélé assez riche en espèces malgré la courte période de sa réalisation.

. L'isolement de plusieurs de ces espèces en culture est une étape importante pour une étude approfondie de leur biologie dans diverses conditions de laboratoire.

Néanmoins, nous notons la présence de certaines cyanobactéries connus sous le nom de producteurs de substances bioactives diverses. Sinon, cette étude pourrait constituer une première voie pour constituer une base de données de cyanobactéries thermophiles vivant en géothermie en Algérie et donc permettre la sélection et l'isolement de certaines souches Fournissant des substances bioactives potentielles, exploitées pour différentes applications.

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

✚ Poursuivre l'identification des espèces récoltées dans les sites d'étude : source thermale de Hammam Essalhine, Hammam Knif.

✚ Procéder à l'illustration (photos, dessins) des espèces identifiées ;

## Conclusion et perspective

---

- ✚ Décrire et d'identifier les espèces de diatomées :
- ✚ Extraire et purifier les molécules bioactives produites (enzymes).
- ✚ Confirmer l'identification de ces souches par des analyses phylogénétiques. Et par l'emploi des outils du génie moléculaire.

## *Références bibliographiques*

### Références bibliographique

**Abadli, M. ; Harkati, G., (2015).** Contribution à l'inventaire des quelques microalgues vertes d'intérêt nutritionnel dans quelques zones humides de la wilaya d'El Oued (Lac Ayata , Chott Merouane, Sife Lemnade , STEP Kouinine). Memoire En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique. Departement de biologie. Universite echahid hamma lakhdar d'el-oued.P165-203.

**Agouni, M., (2013).** Caractérisation physico-chimiques et étude des Cyanobactéries dans le barrage d'Ain El Dalia (Région de Souk Ahras). Mémoire de magister. Université de Souk Ahras.P89.

**Amissi, I. ; Yahiaoui, W., (2001).** Distribution spatio-temporelle des Cyanoprocaryotes recensés dans le lac Oubeira. Mémoire d'ingénieur d'état en Aquaculture. Université d'Annaba.P94.

**Anagnostidis, K. ; Komárek, J., (1988).** Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 - *Oscillatoriales* .Arch. Hydrobiol. Suppl. 80 (1-4), 327 – 472P.

**Antranikian, G.; Vorgias, G.C.; Bertoldo, C., (2005).** Extreme environments as a resource for microorganisms and novel biocatalysts. Adv. Biochem. Engin. Biotechnol., 96: 219-262P.

**Antranikian, G., (2008).** Industrial relevance of thermophiles and their enzymes in: Thermophiles, biology and technology at high temperatures. Ed. Robb F., Antranikian G., Grogan D., Driessen A. CRC Press, New York. 8:114-147P.

**Arap, N.S., (2002).** Les algues, les cyanobactéries et la qualité de l'eau. Agriculture et Agroalimentaire Canada.P1, 2.

**Ballot, A. (2004).** Cyanobacteria in Kenyan Rift Valley lakes – A biological and toxicological study. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades des Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) eingereicht im Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie der Freien Universität Berlin. 274-301P.

**Beat, O. ; Pierre, A.F., (2013).** Mares et étangs Ecologie, gestion, aménagement et valorisation. Presses polytechniques et universitaires romandes. 1ère édition .P76.

**Benayad, T., (2011).** Caldicoprobacter algeriensis sp. nov. a New Thermophilic Anaerobic, Xylanolytic Bacterium Isolated from an Algerian Hot Spring, Current Microbiology.; 62: 826-32p.

**Ben Bouih. H., (2000).** Contribution à l'évaluation de la pollution métallique des zones humides de la région du Gharb. Cas du lac Fouarat ,Thèse de doc .Nat.université. Ibn tofailKénitra. P147.

**Bensafia, N., (2005).**Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences de la Mer les peuplements de cyanobactéries de deux plans d'eau douce (lac oubeïra, lac tonga)inventaire et dynamique spatiotemporelle. Département des sciences de la mer. Université Badji-Mokhtar, Annaba. P220.

**Berkani, C., (2011).** Etude hydrochimique des sources thermales des Aurès. Mémoire de Master.Département d'écologie.Univ. Khenchela. P23, 24, 47, 51, 52, 53.

**Berner,T., (1993).** Ultrastructure of microalgae. Department of life sciences, Bar-Ilan university, Ramat-Gen,Israel.17,20P.

**Bertrand, E.L., (1860).** Les eaux minérales et les bains de mer en Algérie. Rue Jacob ;30.Paris,Au Bureau de la Gazette des eaux. P75.

**Boualleg,C. ; Kouachi, N., (2001).** Ecobiologie des cyano procaryotes récoltés dans le barrage de ain Dalia (Souk Ahras). Diplôme d'ingénieur d'état en aquaculture. Université d'Annaba. P58, 59.

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

**Boudoukha, A. ; Athamna, M.; Benaabidat, L., (2002).** Etude du potentiel hydrothermal de Hammam Sokhna, Est Algérien.Université de Batna, Algérie. Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée. Larhyss journal, ISSN1112-3680,n°24,Decembre 2015.P 161-174.

**Boulesnane, N.; Chaibi, R., (2002).** Les Cyanophycées dans un plan d'eau douce : le lac Oubeira ; inventaire et dynamique. Mémoire d'ingénieur d'état en Aquaculture. Université d'Annaba. P60.

**Bourrelly, P., (1972).** Les Algues d'eau douce ; Initiation à la systématique. Tome I : Les Algues vertes. Edition N.Boubée & Cie. P512.

**Bourrelly, P., (1985).** Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Les algues bleues et rouges. Eugléniens, Péridiniens et cryptomonadines. Société. Nouvelle éditions Boubée. Vol III. P606-607.

**Bousseboua, H., (2002).** Elément de microbiologie générale. Editions de l'Université Mentouri, Constantine(Algérie).P81, 82.

**Bulletin., (1857).** Annales de la colonisation Algérienne.3rue de provence.Paris.Ala librairie internationale universelle. P352.

**Camille, D. ; avec la participation de Bernard,T., Joelle, D., (2010).** Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux. Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyses ou de contrôle sanitaire. Paris. 2ème édition. P476,477, 497.

**Camille, D., (2014).** pratique en microbiologie de laboratoire.Lavoisier Paris. Direction editoriale ; Emmanuel leclère. Edition Celine poiteaux.P7.

**Carmichael, W.W., (1992).** "Cyanobacteria secondary metabolites-the cyanotoxins", Journal of Applied Bacteriology, vol. 74, p. 445-459.

**Carmichael, W.W., (1994).** The toxins of cyanobacteria. Sci. Am. 270, 78-86 P.

**Carmichael, W.W., (1997).** The Cyanotoxins. Adv. Bot. Res. 27, 211,-256 P.

**Castenholz, R.W., (1969).** Thermophilic blue-green algae and the thermal environment. Bacteriol Rev 33(4): 476–504 P.

**Castenholz, R.W., (2001).** Phylum BX. Cyanobacteria. Oxygenic photosynthetic bacteria. In Bergey's manual of systematic bacteriology, The Archaea and the deeply branching and Phototropic Bacteria. 2<sup>e</sup> Edition. G. Garrity, D. R. Boone, and R. W. Castenholz (eds.) Springer-Verlag, New York, 473–599 P.

**Castenholz, R.W., (2008).** le rôle des cyanobactéries et autres phototrophes dans les écosystèmes des sources chaudes<sup>3</sup> ° Symposium international sur les boues thermales en Europe – Dax – 26/27 novembre 2004 .Centre pour l'écologie et la biologie évolutive, Université d'Oregon, Eugene, Oregon 97403, États-Unis. P145:129-134.

**Chaibi, R., (2004).** Caractéristiques physico-chimiques et évaluation du milieu trophique d'un écosystème lagunaire : Lagune El-Mallah. Mémoire de magister en écologie animale. Université d'Annaba.P250,251.

**Chorus, I.; Bartram, J., (1999).** Toxic cyanobacteria in water : a guide to public health significance, monitoring and management. Spon, London, 416P.

**Chorus, I. ; L, Mur., (1999).** "Preventative measures" , dans I. Chorus et J. Bartram (éd.), Toxic Cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management,London, New York, E & FN Spon. 235-273 P.

**Coman, C., Druga, B., Hegedus, A., Sicora, C., Dragos ,N., (2013).** Archaeal and bacterial diversity in two hot spring microbial mats from a geothermal region in Romania. *Extremophiles* 17(3):523–534.

**Costenaro, L., (2001).** Interactions faibles protéine–protéine en solution: La malatedéshydrogénase halophile, Thèse préparée au Laboratoire de Biophysique Moléculaire Institutde Biologie Structurale Jean-Pierre Ebel (CEA–CNRS–UJF), Grenoble.P16.

**Coute, A. (1995).** Diversité chez les micro-algues,P20-24.

**Coute, A. ; Bernard, C., (2001).** Les cyanobactéries toxiques. In Toxines d'algues dans l'alimentation. Edité par Frémy J. M. et Lassus P. Plouzané, Editions Ifremer. P21-37 .

**Couté, A. ; Leitão , M., (2005).** Guide Pratique des Cyanobactéries Planctoniques du g rand Ouest de la France. Ed AESN. Honfleur. P64.

**Dadheech, P.K., Glockner, G., Casper, P., Kotut, K., Mazzoni, C.J., Mbedi, S., Krienitz,, L (2013).** Cyanobacterial diversity in the hot spring, pelagic and benthic habitats of a tropical soda lake. *FEMS Microbiol Ecol* 85(2): 389–401 P.

**Danny, I., Aharon, O., Muna, Y., Hanan, M., (2007).** The thermophilic cyanobacteria of the zerkaMa'in thermal spring in Jordan. In: Seckbach, J. (Ed.), *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments*. Springer, Dordrecht, Netherlands. 411-424 P.

**Debnath, M.; Mandal, N.C.; Ray, S., (2009).** The Study of Cyanobacterial Flora from Geothermal Springs of Bakreswar, West Bengal, India. *Algae* Vol. 24(4): 185-193p.

**Dyer, D.L.; Gafford, R.D., (1961).** Some characteristics of a thermophilic blue-green alga. *Science* 134(3479):616–617. doi:10.1126/ science.134.3479.616P.

**Elbée, J.,(2016).** Memento de planctonologie marine.20 ,Rue des Grandes. Augustins, Paris. Edition Quae. P101, 102.

**Emst, G.G.J.; Marti, J., (2005).** Volcanoes and the environment. Cambridge university press, New York. P175.

**Falconer, I.R. ; Hardy, S.J. ; Humpage, A.R. ; Froscio, S.M. ; Tozer G.J. ; Hawkins P.R.,(1999).** Hepatic and renal toxicity of the blue-green alga (cyanobacterium) *Cylindrospermopsis raciborskii* in male Swiss Albino mice. *Environ. Toxicol.* 14: 143-150 P.

**Falquet, J. ; Hurni, J.P.** Spiruline : aspect nutritionnels. [WWW.antenna.ch/documents/Asp Nutr 2006.pdf](http://WWW.antenna.ch/documents/Asp Nutr 2006.pdf). Page consultée le 20 janvier 2008.

**Farineau, J. ; Morot- Gaudry, J.F. ; avec la participation de Soussouna, J.F., (2006).** La photosynthèse (processus physiques, moléculaires et physiologiques). institut national de la recherche agronomique 14, Paris 6<sup>e</sup> édition. P45.

**Faxinant ; Redoutable ; Rebelle., (2014).** Le monde des microbes. 5-7, rue de l'École polytechnique, 75005 Paris. P26. <http://www.harmattan.fr>.

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

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

**Frank, R.; Gerabed.; Antranikian.; Grogan,D.; Driessen,A., (2008).** Thermophiles: Biology and technology at high températures. Edition by Taylor and Francis Group,LLC,CRC. 3-6 P.

**Fremy, J.M.; Lassus , P., (2001).** Toxines d'algues dans l'alimentation.3, Rue Edourd Berlin, Brest.2<sup>e</sup> édition ifremer France service logistique. P 21, 26, 28.

**García, L., (2002).** La vie dans les milieux extrêmes. Texte de la 433<sup>e</sup> conférence del'Université de tous les savoirs.P25,26,27.

**Gargoud, M., (2003).**Les traces du vivant. Université Michel de Montaigne – Bordeaux 3. Presses universitaires de Bordeaux. P 255-257.

**Gasmi, I.; Araar, S., (2010).** Caractérisation et fonctionnement des eaux thermales, Station thermale de Hammam El Salhine- Khenchela. Mémoire d'ingénieur d'état en Ecologie Végétale. Centre universitaire de khenchela.P77-80.

**Gerard, J.T.; Berdell, R.F.; Christine, L.C., (2003).** Introduction à la microbiologie. Bibliothèque nationale du Canada. Édition du renouveau pédagogique Inc. P158, 196.

**Gerday, Ch.; Glansdorff, N., (2009).** Extremophiles. Volume III, Encyclopedia of life supports systems. Eolss publishers/ UNESCO.2-6 P.

**Girardin-Andréani, C., (2005).** Spiruline: système sanguine, système immunitaire et cancer phytothérapie. P158, 161.

**Goleat, G.M.; Michel, A.; Matthey, W., (2010).** Le sol vivant : bases de pédologie. Biologie des sols. Presses poly techniques et universitaires ramandes. 3<sup>e</sup>me édition revue et augmenté Jean et al. P694.

**Gomez, N., Hualde, P.R., Licursis, M., Bauer, D.E., (2004).** Spring phytoplankton of Rio de la Plata: a temperature. P99-105.

**Gomri, M.A., (2012).** Screening d'activités hydrolytiques extracellulaires chez des souches bactériennes aérobies thermophiles isolées à partir de sources thermales terrestres de l'Est algérien. Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Alimentaires. Université Mentouri-Constantine .Département de Biotechnologie alimentaire. P133.

**Google Earth., (2008).** In www. Google earth.com.

**Greuter, W.; Barrie F.R.; Burdet H.M.; Chaloner W.G.; Demoulin V.; Hawksworth D.L.; Jorgensen P.M.; Nicholson D.H.; Silva P.C.; Trehane P.; McNeill J.,(1994).** International code of Botanical Nomenclature. Koeltz ScientificBooks, Koenigstein-Regnum vegetabile, 131, 389P.

**Grossman, A.R.; Bhaya, D.; Q. H.E., (2001).** "Tracking the Light Environment by *Cyanobacteria* and the Dynamic Nature of Light Harvesting",The journal of biological chemistry, vol. 276, 11449-11452 P.

**Gudin, C., (2013).** Histoire naturelle des microalgues.15 Rue soufflot Paris. Edition Odile Jacob. P30.

**Guézennec, J., (2014).**Bactéries marines et biotechnologies.Augustins, Paris.6<sup>e</sup> édition Quae. P30.

**Gugger, M.; Lyra, C.; Henrisken, P.; Couté, A.; Humbert, J.F.; Sivonen, K., (2002).** Phylogenetic comparisonof the cyanobacterial genera *Anabaena* and *Aphanizomenon*. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 52 : 1867 – 1880 P.

**Gupta, R.S.; Griffiths, E., (2002).** Critical issues in bacterial phylogeny. Theoretical Population Biology. 61, 423–434 P.

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

**Hoiczyk, E.; Hansel, A., ( 2000).** Cyanobacterial cell walls: news from an unusual prokaryotic envelope. J. Bacteriol. 182: 1191–9.

**Holden, J.F., (2009).** Extremophiles: Hot Environments in Encyclopedia of microbiology, 3<sup>rd</sup> Ed., Schaechter M. Elsevier. P127-146.

**Horvath, I.T.; Horvath, I. (2002).** Encyclopaedia of catalysis, John Wiley and Sons Ed. 4772 P.

**Ionescu, D., Hindiyeh, M., Malkawi, H., Oren, A., (2010).** Biogeography of thermophilic cyanobacteria: insights from the Zerka Ma'in hot springs (Jordan). *FEMS Microbiol Ecol.* doi:10. 1111/j.1574-6941.2010.00835.x. 103–113P.

**Ishikawa, K. et al., (2002).** "Transport and accumulation of bloom-forming cyanobacteria in a large, mid-latitude lake: The gyre-Microcystis hypothesis", *Limnology*, vol. 3, P 87-96.

**Issaadi, A., (1992).** Le thermalisme dans son cadre géostructural,apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. Thèse de Doctorat, Univ.Alger, Algérie,p 274 .

**Jerome, J.P.; Jame, T.S.; Stephen,L., (2004).**Microbiologie cours et questions de revision.France.P520, 521.

**Karp., (2008).**Cell and molecular biology. Concepts and experiments.rue des minimes 39,B-1000 Bruxelles.5th edition de Boeck université.14,15P.

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

**Komarek, J.; Komarkova, J.; Kling, H., (2003).** Filamentous cyanobacteria. In *Freshwater alga of North America*. Elsevier (ed.), USA, 117-196P.

**Kullberg, R.G., (1971).** Algal distribution in six thermal spring effluents. *Transactions of the American Microscopical Society*. 90, 412-434P.

**lapage, S.P.; Sneath, P.H.A. ; Lessel, E.F. ; Skerman,V.B.D. ; Seeliger, H.P.R. ; Clark, W.A., (1992).** International code of nomenclature of Bacteria (1990 revision . Washington D.C., American Society for Microbiology. 199P.

**Latifi, A. ; Ruiz, M. ; Zhang, C.C., (2009).** Oxidative stress in cyanobacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* 33: 258–278P.

**Lavoie, I., I. ; Laurion, A. ; Warren et W.F. ; Vincent., (2007).** Les fleurs d'eau de cyanobactéries, revue de littérature. INRS rapport no 916, xiii, 124 p.

**Lee, R.E. (2008).** Phycology. Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York. 4<sup>th</sup> edition. 547P.

**Lethellieux, J., (1984).** Ouargla cité saharienne des origines au début du XX<sup>ème</sup> siècle. Librairie Orientaliste Paul Geutner, SA (Paris). P295 .

**Madigan, M.; Martinko, J., (2007).** Biologie des microorganismes. Pearson education France. 11<sup>th</sup> édition .P 402, 403.

**Madigan, M.t.; Martinko, J.M.; Stahl, D.A.; Clark, D.P., (2010).** Brock's biology of microorganisms, 13<sup>th</sup> ed. Pearson.8:577-780P.

**Manamani, R. ;(2007).** Niveau trophique et efflorescences des cyanobactéries dans le barrage d'Ain Dalia (Souk Ahras). Mémoire de magister en science de la mer, option : biologie et physiologie des organismes marins. P48-50.

**Marchant, R.; Banat, I.M. (2010).** The genus *Geobacillus* and hydrocarbon utilization in: Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology. Timmis K.N., Springer. P1888-1894.

**Mazbour, F., (2004).** bioécologie des cyanobactéries du lac Oubeira (lac d'eau douce).Mémoire d'ingénieur d'état en Aquaculture. Université d'Annaba. P74.

**Menail, H., (2000).** Micro-algues toxiques dans le lac Oubeira. Approche taxonomique et suivi de la population micro-algale. Mémoire d'ingénieur d'état en aquaculture. Université d'annaba. P99.

**Michel, R., (1987).** Atlas du phytoplankton marin "DIATOMOPHYCEES Volume II". Muséum National d'Histoire Naturelle. P160-204.

**Morvan, H.; Gloaguen, V.; Vebret, L.; Joset, F.; Hoffmann, L., (1997).** Structure function investigations on capsular polymers as a necessary step for new biotechnological applications: the case of the *cyanobacterium Mastigocladus laminosus*. Plant Physiology and Biochemistry. P 671-683.

**Mur Luuc, R.; Olav,M., Skulberg . ; Hans; Utkilen , ( 1999 ).** Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management: Chapter 2. *Cyanobacteria* in the environment. Edited by Ingrid Chorus and Jamie Bartram. P720-741.

**Nakagawa, S.; Shtaih, Z.; Banta, A., (2005).** Sulfurihydrogenibiumyellowstonense sp. nov., an extremely thermophilic, facultatively heterotrophic, sulfur-oxidizing bacterium from Yellowstone National Park and amended descriptions of the genus Sulfurihydrogenibium, S. subterraneum, and S. azorense. *Int. J. of Syst. and Evo. Microbio.*55: 2263–2268P.

**Nasri, A. B., (1999).** Étude de la biodiversité des Cyanoprocaryotes et leur toxine dans un milieu d'eau douce : lac Oubeira. Thèse de magistère. Université d'Annaba.P185.

**Nasri, H., (2001).** Etude de la dynamique spatio- temporelle et des paramètres de croissance de Cyanoprocaryotes toxiques dans un milieu d'eau douce. Cas du barrage Chaffia. Mémoire de magister. Université d'Annaba.P196.

**Nasri, H.; Bouaïcha, N.; Kaid Harche, M. (2007).** A New Morphospecies of Microcystis sp. Forming Bloom in the Cheffia Dam (Algeria): Seasonal Variation of Microcystin Concentrations in Raw Water and Their Removal in a Full-Scale Treatment Plant. *Environ Toxicol* 22: 347–356P.

**Niehaus, F.; Bertoldo, C.; Kahler, M.; Antranikian, G., (1999).** Extremophiles as a source of novel enzymes for industrial applications. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 51:711-729P.

**Ouartsi, A. ; Saoudi, A. ; Chekireb, D., (2011).** Etude des efflorescences toxiques a cyanobactéries dans le barrage Mexa, Algérie. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 5, N°1.P81-100.

**Ouli, (2005).** Les sources thermales en Algérie. Division energie solaire thermique et géothermie. 505P.

**Pentecost, A., (2003).** Cyanobacteria associated with hot spring travertines. *Canadian Journal of Earth Sciences.* P1447-1457.

**Perry, J.J. ; Staley, J.T. ; Stephen ,L.,(2004).**Microbiologie cours et questions de revision.France.P520, 521.

**Peter, O., (1988).** The longola hot springs of Zambia: the need for conservation. *Biological Conservation.*40, 81-86P.

**Picoux, J.B., (2004).** Manuel pratiques (maladies des moutons). Paris ; 8 cité Paradis.2<sup>e</sup> édition France agricole. p190.

**Pierre, C.J., (2012).** L'homme et les lois de la nature 2.p 11.

**Piessse, L., (1862).** Accompagné d'une carte générale de l'Algérie, d'une carte speciale de chacune des trois provinces et d'une carte de la Mitidja. Paris. P107.

**Pinzón-Martínez, D.L ; Rodríguez-Gómez, C. ; Miñana-Galbis, D. ; Carrillo-Chávez J.A. ; Valerio-Alfaro, G. ; Oliart-Ros, R., (2010).** Thermophilic bacteria from Mexican thermal environments: isolation and potential applications. Environ. Techn.P31(8-9) 957-966.

**Pentecost, A., (2003).** Cyanobacteria associated with hot spring travertines. Canadian Journal of Earth Sciences .P1447-1457.

**Pitois, S.; Jackson, M.H. et B.J.B Wood. ( 2000).** Problems associated with the presence of Cyanobacteria in recreational and drinking waters. International journal of Environmental Health Research.10: 203- 218P.

**Prescott ; Harley ; Klein, (1995).** Microbiologie. Ed. De Boeck Université .p 474, 537.

**Prescott, L.M.; Haley, J.P.; Klein, D.A., (2003).** Microbiologie. De Boeck Université, 2<sup>e</sup> éd. Française, traduit de la 5<sup>e</sup> édition américaine (2002).P 45,524.

**Prescott, L.M.; Harley, J.P., (2010).** Microbiologie 3<sup>e</sup> édition. Bruxelles, De Boeck Université .P529.

**Quérellou, J.; Guézennec, J., (2010).** Biotechnologie des extrêmophiles. EditionsTech. Ing. BIO580.P 1-13.

**Raven, H.P.; Georges,B.J.; Kenneth,A.M.; Jonathan, B.L., (2011).** Biologie. De Boeck supérieur. P559.

**Reviere, B., (2003).** Biologie et phylogénie des algues. Belin, Paris. Collection Sup Sciences. 255P.

**Rippka, R. et Stanier, R.Y., (1978).** The effects of anaerobiosis on nitrogenase synthesis by cyanobacteria. Journal of General Microbiology. 105, 83-94P.

**Rippka, R.; Deruelles, J.; Wtarebury, J.B.; Herdman, M.; Stanier, R.Y., (1979).** Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. J. Gen. Microbiol., 111.61P.

- Rodier, J. ; Legube B. et Merlet N., (2009).** L'analyse de l'eau, Ed. Dunod.78-1368P.
- Roger, G. ; Pierre, I.V., (2012).** L'énergie hydraulique. 2<sup>e</sup> édition ,1978,Direction des études et de recherches d'Electricité de France .Chantal Arpino.P158.
- Roland,B .,(1995).**les carpes : biologie et élevage. Istitut national de la recherche agronomique.paris cedex 07. 6<sup>e</sup> édition. P374.
- Roques, C.F., (2007).** Le thermalisme, la médecine que la terre nous a donnée. Géophysique.P7 :74-79.
- Rose, A.H.; Gareth,J.M., (1979).**advences in microbial physiology.School of biological sciences bath university England. Volume 19.Edition by Academic press INC (London) LTD. 88, 194, 196P.
- Rousteau, A., (2006).** Les Thallophytes. Cours LS3. <http://calamar.univag.fr/deugsv/Documents/Cours/BV-Thallophytes.pdf>. Consulté en Novembre.P14.
- Royal., (1838).** Tableau de la situation des établissements Français dans l'Algérie. Paris. Précède de l'expose des metifs et du projet de loi portant demande de credits extraordinaires au titre de l'exercice (1853). P460.
- Saibi, H., (2009).** Geothermal resources in Algeria. Renewable and Sustainable Energy Reviews.13:2544–2552p.
- Saoudi, A., (2008).** Isolement, culture et évaluation de la toxicité des efflorescences à microcystis sp.du barrage Mexa El Taref. Mémoire de magister. Université d'Annaba.P71.
- Satyanarayana, T.; Littlechild, J.; Kawarabayasi, Y., (2013).** Thermophilic Microbes in environmental and industrial biotchnology. Biotechnology of thermophiles .Springer Dordrechtheidelberg New York London.Second edition . Media Dordreht.4-6 P.
- Silvano, J., (2005).** Toxicité des cyanobactéries d'eau douce vis a vie des animaux domestiques et sauvages. Thèse, Université Claude Bernard - Lyon. (Médecine - Pharmacie). P 1-116.

**Summerfield, T.C.; J. Toepel, et al., (2008).** "Low-oxygen induction of normally cryptic psbA genes in cyanobacteria." *Biochemistry*. 47(49): 12939-41P.

**Thiel, T.; Pratte, B. S.; Zhong, J.; Goodwin, L.; Copeland, A.; Lucas, S.; Han, C.; Pitluck, S.; Land, M. L.; Kyrpides, N.; et al., (2014).** complete genome sequence of *Anabaena variabilis* ATCC 29413. *Stand. Genomic Sci.* 9, 562–573P.

**Vincent,W.F., (1989).** "Cyanobacterial growth and dominance in two eutrophic lakes: Review and synthesis", *Archiv für Hydrobiologie*, vol. 32, 239-254P.

**Voet,D. ;Voet, J.G., (2016).***Biochimie*.Rue du Bosquet, 7, B-1348 louvaun-la neuve. 3<sup>e</sup> édition de Boeck supérieur.P102.

**Wehr, D.J.; Robert, G.;Sheath, J. ; Kociolek, P. (2003).***Freshwater algae of north America :Ecology and classification* .Second edition Elsevier Inc. All rights reserved library of congress cataloging in publication Data .221P.

**Who. World health organization, Health , (1989).** Guide lines for the use of waste water in Agriculture and Aquaculture. TechnicalReport Series No.778.Who.Geneva.55,56P.

**William, G.H., (2003).** la physiologie végétale. Rue des minimes 39, B-1000 Bruxelles.2<sup>e</sup> édition by W.G.H de Boek université. P 135.

# *Annexes*

### Annexes I

#### **Matériel et produit:**

#### **Appareillages :**

Multi paramètre «6 paramètres C 535 T».

Four Pasteur.

Un microscope optique équipé d'un appareil photo numérique,

Réfrigérateur

Glacière.

#### **Verreries :**

Les Flacons en verre brun

Pipettes Pasteur stériles

Boite de Pétri

Lames, lamelles.

Spatule

#### **Produits**

Alcool, Huile d'immersion.

**Fixateurs d'algues :** Lugol, Formol aldéhyde, Chloroforme,

**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.

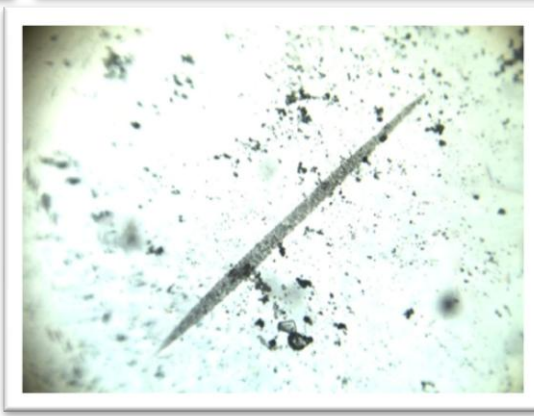
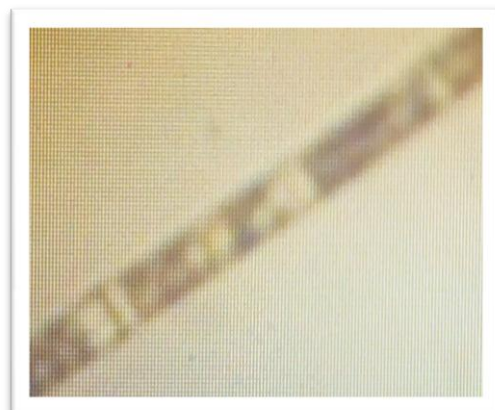
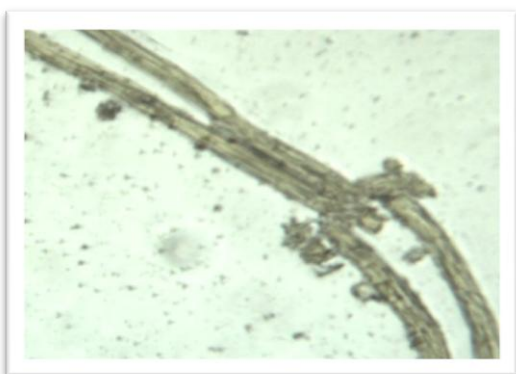
Verser le tout dans un flacon brun ou enrobé de papier d'aluminium pour protéger de la lumière.

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.

### **Chloroforme**

Faciliter la décantation des espèces phytoplanctoniques pour une investigation microscopique ultérieure. Permet leur conservation pendant plusieurs mois.

Annexes II : photos des Cyanobactéries



Photographie N°11: Cyanobactérie non identifiées (G100, G40).

# *Résumé*

## Résumé

Les cyanobactéries sont des procaryotes photosynthétiques présentent des caractéristiques écologiques très variées qui leur ont permis de coloniser la plupart des habitats, aquatiques ou terrestres. Un grand nombre d'entre elles sont adaptées à des environnements extrêmes comme les sources chaudes, grâce à des capacités qui leur permettent de supporter des températures élevées.

Les sources hydrothermales en Algérie sont connues depuis l'Empire romain. Ils se situent principalement dans l'Est de l'Algérie et sont habités par des organismes thermophiles, y compris les cyanobactéries.

Dans ce travail, nous avons enquêté sur La diversité des cyanobactéries de deux sources thermales de la wilaya de kenchela (l'Est algérien). La station thermale de Hammam Essalhine et La station thermale de Hammam knif présentent des températures élevée 65.20°C et 50 °C respectivement. Elles se caractérisent par un pH neutre.

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 09 espèces réparties en 08 genres. Dont le plus abondant était deux espèces de genre *Oscillatoria*, accompagné de membres des genres *Phormidium* *Spirulina*, *Chroococcus*, *Synechocystis*, *Pseudoanabaena*, *Leptolyngbya* , *Synechococcus*.

Les échantillons d'Essalihine Kenchela étaient plus diversifiés, avec 08 espèces identifiés, Suivi par Hammam knif avec 05 espèces identifiées.

L'isolement de certaines de ces espèces ouvre les portes pour des futures études sur la biologie des cyanobactéries thermophiles ainsi que leur intérêt en biotechnologie.

---

**Mots clés** : diversité, cyanobactéries, Kenchela, sources hydrothermales, thermophiles.



Présenté par : THIRANI Moufida

Date de soutenance: 22 / 06 / 2017

BOUDRAA Afaf

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

*Contribution à l'étude de la diversité cyanobactériennes dans les sources thermales de l'Est Algérien  
(Hammam Essalhine, Hammam Knif-khenchela-)*

### Résumé

Les cyanobactéries sont des procaryotes photosynthétiques présentent des caractéristiques écologiques très variées qui leur ont permis de coloniser la plupart des habitats, aquatiques ou terrestres. Un grand nombre d'entre elles sont adaptées à des environnements extrêmes comme les sources chaudes, grâce à des capacités qui leur permettent de supporter des températures élevées.

Les sources hydrothermales en Algérie sont connues depuis l'Empire romain. Ils se situent principalement dans l'Est de l'Algérie et sont habités par des organismes thermophiles, y compris les cyanobactéries.

Dans ce travail, nous avons enquêté sur La diversité des cyanobactéries de deux sources thermales de la wilaya de khenchela (l'Est algérien). La station thermale de Hammam Essalhine et La station thermale de Hammam knif présentent des températures élevée 65.20°C et 50 °C respectivement. Elles se caractérisent par un pH neutre.

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 09 espèces réparties en 08 genres. Dont le plus abondant était deux espèces de genre *Oscillatoria*, accompagné de membres des genres *Phormidium Spirulina, Chroococcus, Synechocystis, Pseudoanabaena, Leptolyngbya, Synechococcus*.

Les échantillons d'Essalihine Khenchela étaient plus diversifiés, avec 08 espèces identifiés, Suivi par Hammam knif avec 05 espèces identifiées.

L'isolement de certaines de ces espèces ouvre les portes pour des futures études sur la biologie des cyanobactéries thermophiles ainsi que leur intérêt en biotechnologie.

**Mots clés:** diversité, cyanobactéries, Khenchela, sources hydrothermales, thermophiles

### Devant le jury :

<b>Président :</b>	<b>ABAIIDIA A. G.</b>	<b>(MAA)</b>	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela
<b>Encadreur :</b>	<b>BOUTARFA S.</b>	<b>(MAA)</b>	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela
<b>Examinatrice :</b>	<b>CHORFI K.</b>	<b>(MAA)</b>	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela

## Abstract

---

### Contribution to the study of the cyanobacterial diversity of the waters of the hot springs of the Algerian East

#### Abstract

Cyanobacteria are photosynthetic prokaryotes with a wide range of ecological characteristics that allowed them to colonize most habitats, both aquatic and terrestrial. Many of them are adapted to extreme environments such as hot springs, thanks to capacities that allow them to withstand high temperatures

Geothermal sources in Algeria have been known since the Roman Empire. They are mainly located in eastern Algeria and are inhabited by thermophilic organisms, including cyanobacteria.

In this work, we investigated the diversity of cyanobacteria of two thermal springs in the wilaya of kenchela (eastern Algeria). The Hammam Essalhin hot spring and The Hammam Knif hot spring have high temperatures 62.20° C and 50° C respectively. They are characterized by a neutral pH.

The work consisted of a descriptive study based on morphological characteristics followed by a systematic inventory of the species encountered. The descriptive study identified 09 species in 08 genera. Of which the most abundant were two species of genus *Oscillatoria* accompanied by members of the genera *Phormidium* *Spirulina*, *Chroococcus*, *Synechocystis*, *Pseudoanabaena*, *Leptolyngbya*, *Synechococcus*. The samples from Essalihine hot spring were more diverse, with 08 identified morphotypes, followed by Hammam knif with 05 identified morphotypes.

The isolation of some of these strains sets the ground for future studies on the biology of thermophilic cyanobacteria as well as their interest in biotechnology.

---

**Keywords:** diversity, cyanobacteria, hot spring, Kenchela, thermophilic.

## Abstract

---

## مساهمة في دراسة التنوع البكتيريا الزرقاء في الينابيع الساخنة في شرق الجزائر

## ملخص

البكتيريا الزرقاء هي من بدائيات النوى التي تقوم بعملية التركيب الضوئي و لها خصائص بيئية متنوعة جدا التي مكنتهم من استعمار معظم المساكن المائية أو الأرضية. عدد كبير منها يتأقلم مع البيئات القاسية مثل الينابيع الساخنة بسبب القدرات التي تسمح لها بتحمل درجات الحرارة العالية. ينابيع المياه الساخنة في الجزائر موجودة منذ الإمبراطورية الرومانية. وهي أساسا موجودة في شرق الجزائر ويسكنها الكائنات الحية الحرارية، بما في ذلك البكتيريا الزرقاء .

في هذا البحث ، قمنا بدراسة تنوع الطحالب المجهرية في اثنين من الينابيع الساخنة في ولاية خنشلة (شرق الجزائر). ينابيع المياه الساخنة لحمام الصالحين و ينابيع المياه الساخنة لحمام الكنيف تتميز بارتفاع درجات حرارة مياهها 60.20 درجة مئوية و 50 درجة مئوية، على التوالي. وهي تتميز بـ pH محايد.

ترتكز الدراسة في هذا العمل على دراسة وصفية و الخصائص المورفولوجية للأنواع المصادفة. الدراسة الوصفية حددت وجود 09 نوعا تنتمي لـ 08 أجناس. الأجناس الأكثر تواجدا هي *Oscillatoria* بنوعين تليها *Phormidium Spirulina*, *Chroococcus*, *Synechocystis*, *Pseudoanabaena*, *Leptolyngbya Synechococcus* عينات. منبع حمام الصالحين كانت اكثر تنوعا بـ 08 نواع متبوعا بمنبع حمام الكنيف بـ 05 انواع.

عزل بعض هذه الأنواع يفتح الباب للدراسات المستقبلية على البكتيريا الزرقاء الحرارية وكذا اهميتها في مجال التكنولوجيا الحيوية.

**الكلمات المفتاحية:** ، التنوع، بكتيريا زرقاء ، خنشلة ، الكائنات الحية الحرارية، ينابيع المياه الساخنة



Présenté par : THIRANI Moufida  
BOUDRAA Afaf

Date de soutenance: 28 / 06 / 2017

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

*Contribution à l'étude de la diversité cyanobactérienne dans les sources thermales de l'Est Algérien  
(Hammam Essalhine, Hammam Knif-khenchela-)*

## Résumé

Les cyanobactéries sont des procaryotes photosynthétiques présentent des caractéristiques écologiques très variées qui leur ont permis de coloniser la plupart des habitats, aquatiques ou terrestres. Un grand nombre d'entre elles sont adaptées à des environnements extrêmes comme les sources chaudes, grâce à des capacités qui leur permettent de supporter des températures élevées.

Les sources hydrothermales en Algérie sont connues depuis l'Empire romain. Ils se situent principalement dans l'Est de l'Algérie et sont habités par des organismes thermophiles, y compris les cyanobactéries.

Dans ce travail, nous avons enquêté sur La diversité des cyanobactéries de deux sources thermales de la wilaya de khenchela (l'Est algérien). La station thermale de Hammam Essalhine et La station thermale de Hammam knif présentent des températures élevée 65.20°C et 50 °C respectivement. Elles se caractérisent par un pH neutre.

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 09 espèces réparties en 08 genres. Dont le plus abondant était deux espèces de genre *Oscillatoria*, accompagné de membres des genres *Phormidium Spirulina*, *Chroococcus*, *Synechocystis*, *Pseudoanabaena*, *Leptolyngbya*, *Synechococcus*.

Les échantillons d'Essalihine Khenchela étaient plus diversifiés, avec 08 espèces identifiés, Suivi par Hammam knif avec 05 espèces identifiées.

L'isolement de certaines de ces espèces ouvre les portes pour des futures études sur la biologie des cyanobactéries thermophiles ainsi que leur intérêt en biotechnologie.

**Mots clés:** diversité, cyanobactéries, Khenchela, sources hydrothermales, thermophiles

## Devant le jury :

<b>Président :</b>	<b>ABAIIDIA A. G.</b>	<b>(MAA)</b>	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela
<b>Encadreur :</b>	<b>BOUTARFA S.</b>	<b>(MAA)</b>	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela
<b>Examinatrice :</b>	<b>CHORFI K.</b>	<b>(MAA)</b>	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela