



*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 Biologique

OPTION: Microbiologie Appliquée

Thème

**Identification des algues microscopiques des
sources thermales de l'Est Algérie (Hammam
Essalihin, Hammam knif Khenchela)**

Présenté par :

M^{elle} .HEZIL Mabrouka

M^{elle} .LALAAOUNA Sara

Encadré par :

M^{elle} .BOUTARFA. S

Soutenu le : 22 /06 /2017

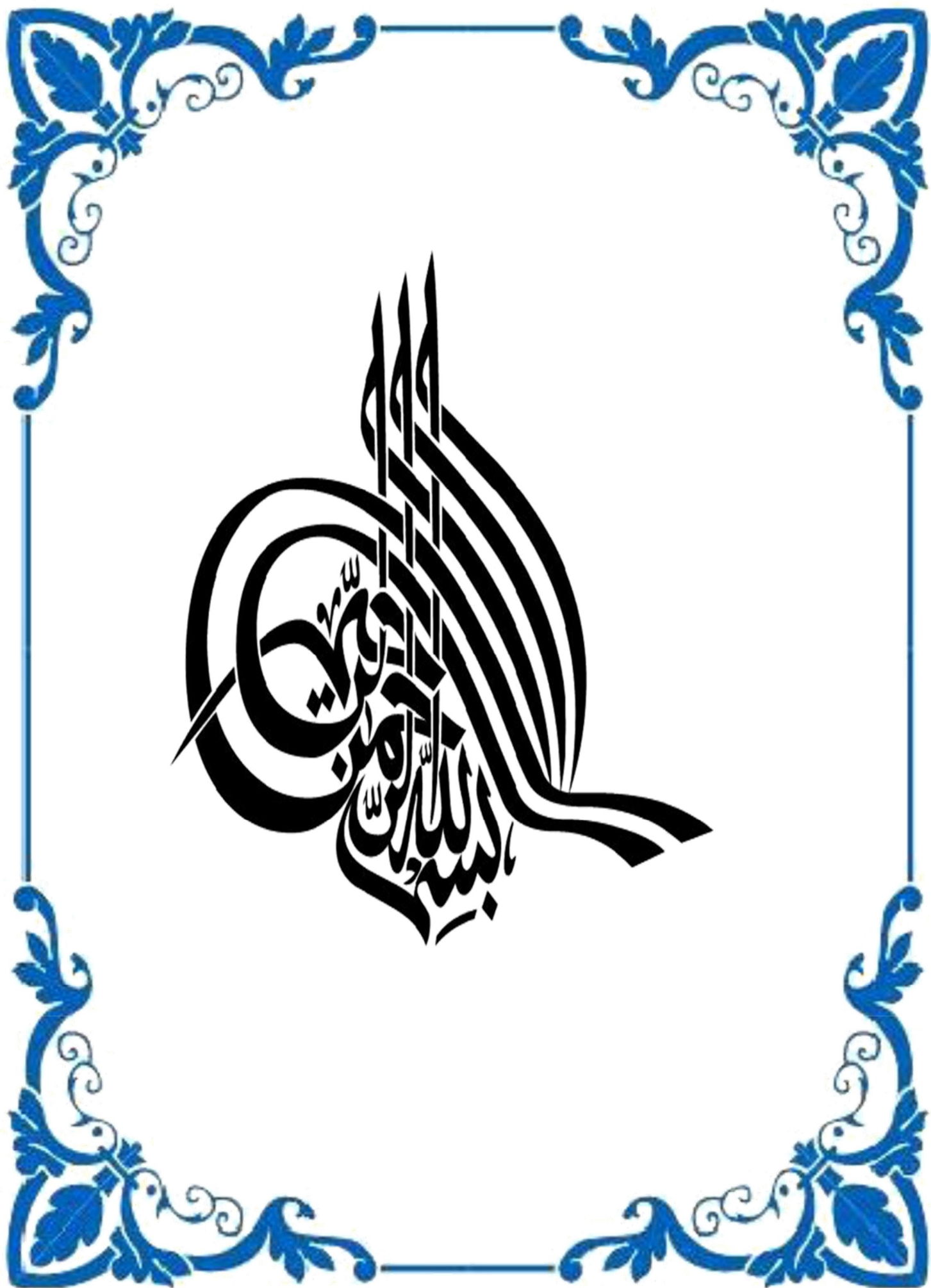
Jury de soutenance:

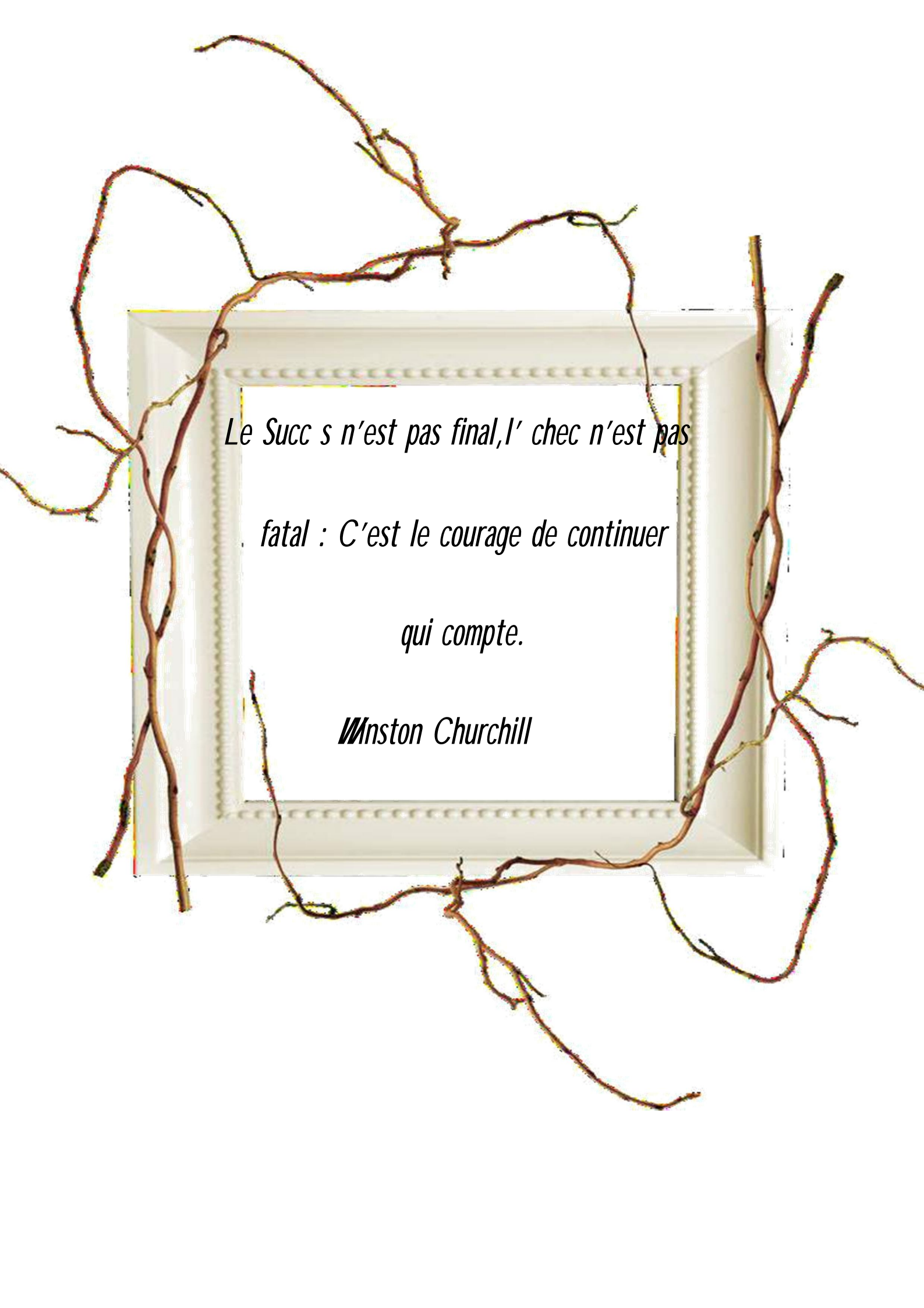
Président: M^f .BOUSSAA A. (M.A.A) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela.

Encadreur : M^{elle} .BOUTARFA S. (M.A.A) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela.

Examineur: M^f .ABAIIDIA A. (M.A.A) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela.

Promotion: 2016/2017





*Le Succès n'est pas final, l'échec n'est pas
fatal : C'est le courage de continuer
qui compte.*

Winston Churchill



Remerciements

Nous tentons tout d'abord à remercier le Bon Dieu tout puissant de nous avoir aidées à réaliser ce modeste travail.

Au terme de ce travail, il nous est agréable d'exprimer nous remerciment à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

*Nos vifs remerciements vont à **M^r BOUSSA A** . Maître à la faculté de science de la nature et de la vie, Université Abbés Laghrour K henchela, pour avoir accepté de présider ce jury de mémoire.*

*A notre maitre **M^r ABADIA A**. Maitre assistante à la faculté de science de la nature et de la vie, Université Abbés Laghrour K henchela permettez-nous de vous exprimer nos sincères remerciements. C'est un grand honneur que vous nous faites en acceptant d'examiner ce travail,*

*Nous remercions **M^{lle} BOUTARFA S**. Maitre assistante à la faculté de science de la nature et de la vie, Université Abbés Laghrour K henchela, pour son encadrement, ses précieux conseils, et les encouragements qui nous ont permis de réaliser ce travail.*

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

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

MABROUKA ET SARA

Dédicace

*Toutes les lettres ne seraient trouver les mots qu'il faut
Tous les mots ne seraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la
reconnaissance, c'est tout simplement que Je dédie cette mémoire a*

Allah

le tout puissant

*A mes adorables parents qui étaient toujours présents avec leur
soutien*

*moral et matériel, derrière toutes mes réussites depuis l'école primaire
Jusqu'à ce jour; Vous m'avez donné l'éducation et enseigné le sens de
l'honneur, de la dignité et le respect de soi.*

*A ma chère famille, notamment mon adorable père, pour avoir
toujours été*

là quand j'en avais besoin, merci pour tes concessions et tes sacrifices.

A ma

*chère mère : Maman qui m'a supportée vaillamment pas à pas tout au
long de ma vie, qui a toujours été convaincue que j'y arriverai m'a
soutenu*

même quand le moral était bas.

A mes frères: Rahim , Cherif, Daoud

*A mes sœurs: Zina, Ilham ,Nadjete, Wissem ,Sakina ,Ahlem
pour leurs encouragements et leur compréhension.*

A mes neveux et nièces

*Spéciale dédicace a mon binôme Sara et aussi mon encadreur Melle
Boutarfa soumia .*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour
que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

Spécial dédicace à tous mes camarades de promotion de Microbiologie

Mabrouka



Dédicace

Je dédie ce modeste travail fruit de mes années universitaires aux êtres les plus chers au monde.

A mes chers parents qui sont la source éternelle de mon bonheur ,qui m'ont donné la volonté ,le courage ,l'espoir ,et la patience d'aller plus loin .

Que dieu les gardes en bonne santé toujours

A mes deux sœurs lamis et khawla

A mes frères khalil et skander

A tous les membres de ma famille, et aussi mon belle encadreur

boutarfa somia

Petits et grands, surtout nadia , veuillez trouver dans ce modeste travail' expression de ma profond affection

A toutes mes amies

Merci pour votre amour et amitié .vous être toujours la pour me soutenir,m'aider et m'écouter .Que Dieu vous protège et vous procure joie et bonheur et que notre amitié dure à jamais .

Tous les étudiants de la promotion de microbiologie 2016/2017

SARA

TABLE DES MATIERES

Liste des abréviations	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux	III
Liste des photographies	IV
Introduction	01

Première Partie :

Synthèse bibliographiques

I	Phytoplancton	3
I.1	Définition	3
II	Algues microscopique	5
II.1	Définition des algues microscopique	5
II.2	Caractéristiques générales des algues microscopiques	6
II.3	Classification des algues	7
II.3.1	Chlorophytes	7
II.3.2	Rhodophytes	8
II.3.3	Chrysophytes	9
II.3.3.1	Chrysophycées	9

Table des matières

II.3.3.2	Xanthophycées	10
II.3.3.3	diatomées (Bacillariophycées)	11
II.3.4	Phéophytes	11
II.3.5	Pyrophytes	12
II.3.6	Cryptophytes	12
II.3.7	dinoflagellés (Dinophytes)	12
II.3.8	Les Euglenophytes (Euglenas	13
II.4	Mode de nutrition algues microscopique	14
II.5	Composition des algues microscopique	16
II.6	Facteurs de production algale	17
II.7	Applications biotechnologiques des algues microscopiques	18
II.7.1	Alimentation humaine et animale	18
II.7.2	Utilisations industrielles	20
II.7.3	Colorants	20
II.7.4	Polysaccharides	20
II.7.5	Vitamines et autres produits	21
II.7.6	Imperméabilisants	21
II.7.7	Cosmétique	21
II.7.8	Pharmaceutique	21
II.7.9	Production de biocarburants	22
IV	Les écosystèmes extrêmes.	23
IV.1	Notions d'environnements extrêmes et d'extrémophile	24

Table des matières

IV.2	Intérêt biotechnologique des extrêmophiles	24
IV.3	Classification	25
IV.3.1	Algues thermophiles	27
IV.3.2	Niches écologiques des thermophiles	27
IV.4	Biotopes	28
IV.4.1	Biotopes naturels	29
IV.4.2	Biotopes artificiels	29
IV.4.3	Diversité taxonomique et métabolique des thermophiles	30
IV.5	Les sources thermales de l'Algérie	30
IV.6	Etats des connaissances en Algérie	31

Deuxième Partie

Etude expérimentale

Matériel et méthodes

I	Présentation de la zone de l'étude	33
II	Les étapes de l'échantillonnage	35
II.1	Préparation du matériel	35
II.2	Calibrage des appareils	35
III	Mesure des paramètres in situ de l'eau	35
III.1	Température	36
III.2	pH	36
IV	Prélèvement des échantillons	37
IV.1	Méthode de prélèvement	37

Table des matières

IV.2	Procédures de laboratoire	37
IV.3	Caractères morphologiques choisis	37
IV.4	Observation microscopique	37
IV.5	Taxonomie des microalgues	38

Résultat Et discussion

I	Les propriétés de la source thermique étudiée	39
I.1	Température et pH	39
II	Résultats d'identification des algues microscopiques	40
III	Classification des espèces des microalgues recensées	42
IV	L'analyse du tableau de la classification des microalgues	43
V	Les principales espèces des microalgues	45

	Conclusion et Perspectives	48
--	-----------------------------------	----

	Références bibliographiques	50
--	------------------------------------	----

Annexes

Résumés

Liste des abréviations

C : Cytosine

Fe²⁺:Oxydation du fer.

G : Guanine.

GES: gaz à effet de serre.

H₂S: Oxydation du soufre.

N: Azote.

NH₃: L'ammoniaque.

NO₃: Les nitrates.

NO₂: Les nitrites.

P: Phosphore.

PCR : polymérase chaîne réaction

pH: Le potentiel d'hydrogène.

PSII: Photosystème II.

PSI: Photosystème I.

UV : Ultra VIOLET

Liste des figures

Figure	Titre	Page
01	Structure des algues microscopiques	06
02	Algues vertes (chlorophycées)	08
03	Quelque exemples des Rhodophytes :1- <i>cyanidioschyzon merolae</i> ,2- <i>cyanidium caldarium</i> ,3- <i>porphyridium cruentum</i> , 4- <i>porphyrostromium ciliar</i> ,5- <i>stylonema alsidii</i> ,6- <i>chroodactyl onornatum</i> ,7- <i>Rhodorus marinus</i> ,8- <i>compsopogonopsis sp</i> , 9- <i>Erythrotrichia ceramicola</i> ,10- <i>porphyrostro miumciliar</i> ,11- <i>rhodochaete parvula</i> ,12- <i>compsopogon sp</i> (Algaebase.org .)	09
04	Algues dorées (chrysophycées)	10
05	Diatomées (bacillariophycées)	11
06	Quelque exemple des Dinoflagellés : 1- <i>Borghiella tenuissima</i> , 2- <i>Biecheleria baltica</i> , 3- <i>Symbiodinium voratum</i> , 4- <i>Herdmania litoralles</i> ,5- <i>Amphidinium bipes</i> , 6- <i>Nannoceratopsis gracilis</i> .	13
07	Quelque exemple des Euglenophytes : 1- <i>Euglena ehrebergii</i> , 2- <i>Euglena acus</i> ,3- <i>Eutreptia pertyi</i> 4- <i>Peranema trichophorum</i> ,5- <i>Distigma proteus</i> ,6 – <i>Phacus triqueter</i>	14
08	Représentation du point d'échantillonnage de Hammam Essalhine Khenchela.	34

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
01	Les modes de nutrition des microalgues	15
02	Répartition du fractionnement biochimique d'une cellule de microalgue	16
03	Eléments majeurs constitutifs des microalgues. Enfin, le fractionnement biochimique se répartit suivant 4 familles de molécules : protéines, lipides, sucres et acides nucléiques	17
04	Genres microalgaux utilisés en industrie, avec leurs applications	22
05	Systèmes de classification thermophiles	26
06	Les propriétés de la source thermique étudiée	39
07	Distribution et biodiversité des espèces des algues microscopiques des échantillons analysés dans cette étude.	41
08	Classification, des espèces de microalgues recensées dans la région d'étude	42
09	Caractères principaux des genres de micro algues rencontrés	48

Liste des photographies

photographies	Titre	Page
01	Représentation du point d'échantillonnage de Hammam Essalhine Khenchela.	33
02	Multi paramètre (HANNA HI8424).	35
03	<i>Spirogyra sp</i> (G40).	45
04	<i>Navícula sp1</i> (G100)	45
05	<i>Navícula sp2</i> (G100)	45
06	<i>Chlorella</i> (G100).	46
07	Diatoma (G40)	46
08	Chlamydomonas (G100)	47

Introduction

Introduction

Au cours de ces dernières années, l'activité de recherche dans le domaine des microalgues s'est accrue et l'on connaît mieux maintenant leurs potentialités. (**Kecha *et al.*, 2007 ; Bouanane D *et al.*, 2011**). Les eucaryotes photosynthétiques sont communément appelés phytoplancton lorsqu'il s'agit d'organismes pélagiques ou microalgues, au sens large, comprenant à la fois les organismes pélagiques et benthiques (**Couté *et al.*, 2001**).

Les microalgues présentent une grande variété de modes de vies (mobiles, dérivant dans la colonne d'eau ou sessiles) et de morphologies cellulaires (sphériques, ovoïdes, fusiformes, cylindriques et même pyramidales). Certains groupes ont développé des structures externes rigides aux motifs élaborés qui recouvrent la cellule et constituées principalement de silice pour les Diatomées (la frustule), de carbonate de calcium pour les Coccolithophoridés (le test) et de cellulose incrustée de silice pour les Dinoflagellées (la thèque). (**Thurman, 1997**). Du fait de ces caractéristiques uniques, les microalgues sont aujourd'hui valorisées dans de nombreux domaines et notamment les industries pharmaceutiques, agroalimentaires, cosmétiques et aquacoles (**Spolaore *et al.*, 2006**).

Cette forte diversité morphologique associée à une plasticité métabolique importante fait l'ubiquité de ce groupe d'organismes. Outre leur présence dans les systèmes aquatiques marins, saumâtres et dulcicoles, certaines espèces ont fait preuve d'une forte adaptabilité et ont colonisé des écosystèmes peu favorables tels que les sols, les glaciers, les déserts et même les sources chaudes. (**Thurman, 1997**).

Les enzymes produites par ces organismes sont extrêmement thermoactives, rigoureusement thermostables ayant même des activités à des températures dépassant les températures maximales de croissance de leurs organismes. Elles résistent souvent aux dénaturants chimiques tels que les détergents, les solvants organiques et les valeurs extrêmes de pH (**Antranikian *et al.*, 2005**).

Les 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 algues microscopiques. 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 (**Bouanane D *et al.*, 2011**).

Cependant, ces sources n'ont été que très peu étudiées d'un point de vue biodiversité et ce n'est que récemment qu'on a commencé à s'intéresser aux microorganismes habitants ces environnements locaux et les publications concernant le sujet sont encore très rares. Pourtant l'étude des microorganismes thermophiles ou hyperthermophiles indigènes à ces milieux hostiles à la vie peut aider à mieux exploiter cette importante source de molécules bioactives à des températures nettement plus élevées que celles d'organismes conventionnels, en particulier leurs enzymes (**Kecha *et al.*, 2007 ; Bouanane D *et al.*, 2011**).

L'importance d'élargir nos connaissances sur la biodiversité et identifier et caractériser ces microorganismes, à partir d'environnements extrêmes, répond aux exigences sociales, scientifiques et technologiques dans le monde (**Connolly *et al.*, 2011**).

Il ya plusieurs études sur les algues macroscopiques mais il n'ya pas peu d'études sur les algues microscopiques et notre travail s'installe dans se contexte.

Le but de ce travail, et justement fait pour déterminer d'une part la diversité des algues microscopiques de ces retenues et d'autre part, pour ouvrir des portes sur l'exploitation des richesses de ces zones vierges.

Première Partie :
synthèse
bibliographique

I) Phytoplancton

I.1. Définition

Le phytoplancton (du grec *phyton* ou plante et *planktos* ou errant) est constitué par l'ensemble du plancton végétal, c'est-à-dire des microorganismes photosynthétiques qui sont libres, passifs et en suspension dans la colonne d'eau. **(Domaizon et al., 2003; Zubkov et Tarran 2008).**

Il s'agit de cellules, colonies ou filaments qui ne peuvent nager et dont les mouvements dépendent de ceux de l'environnement aquatique et/ou qui sont motiles (flagellés ou ciliés) mais dont les déplacements sont restreints. La principale source d'acquisition de l'énergie s'effectue par phototrophie chez ces organismes, à partir de la lumière (photosynthèse = processus d'absorption des sels minéraux et du carbone sous forme de CO₂ et de rejet d'oxygène sous l'effet de la lumière). **(Domaizon et al., 2003; Zubkov et Tarran 2008).**

Les organismes qui se procurent l'énergie nécessaire à leur croissance et à leur reproduction en combinant les modes de nutrition autotrophe et phagotrophe sont qualifiés de «mixotrophes» **(Stickney et al., 2000)**. Par ailleurs, de nombreuses cellules phytoplanctoniques (les chrysophycées par exemple) sont capables de réaliser la mixotrophie, c'est-à-dire qu'elles possèdent des capacités hétérotrophes et elles utilisent des substances organiques à la base de leur métabolisme ou sont même capables d'ingérer des bactéries **(Domaizon et al., 2003; Zubkov et Tarran 2008)**.

Leur forme est extrêmement variée, la diversité morphologique étant souvent liée à une adaptation à la mobilité (flottaison, et mouvements verticaux) **(Zeitzschel 1978)**. La chlorophylle *a*, un des pigments chlorophylliens, est le pigment majoritaire impliqué dans ce processus. Le phytoplancton se situe le plus souvent dans la couche supérieure éclairée des masses d'eau, dite zone euphotique dont la limite inférieure correspond à la profondeur recevant 1% de la lumière incidente. **(Domaizon et al., 2003; Zubkov et Tarran 2008)**.

Les organismes qui constituent le phytoplancton est d'une extrême plasticité écologique. Ces espèces très ubiquistes colonisent les biotopes terrestres et aquatiques **(Fogg et al., 1973)**, et se retrouvent dans l'eau douce, saumâtre ou salée.

Quelques espèces sont recensées dans les eaux thermales tandis que d'autres tolèrent les basses températures des lacs arctiques et antarctiques (**Skulberg 1996**). Certaines espèces vivent en association avec des animaux comme des protozoaires, des éponges ou des ascidies (endozoïques),

Le phytoplancton regroupe deux types d'organismes qui diffèrent au niveau cytologique essentiellement par la présence (eucaryotes) ou non (procaryotes) d'un noyau cellulaire (ADN confiné dans une enveloppe nucléaire) (**Prescott et al., 2003**). Actuellement, la phylogénie est en pleine évolution, grâce notamment aux avancées technologiques en biologie moléculaire (**Iglesias-Rodriguez et al., 2006; Not et al., 2007; Saez et al., 2008**). 8 principales classes différenciées selon des critères morphologiques, cytologiques, biochimiques et reproductifs sont recensées dans les milieux aquatiques.

II. Les Algues microscopiques

II.1 Introduction

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

Ces algues bleues, rouges, vertes et brunes ont joué et jouent encore un rôle essentiel sur la planète. C'est grâce à ces organismes que l'atmosphère initiale hostile au développement d'espèces animales a été transformée en cette atmosphère respirable que l'on connaît aujourd'hui. (**Pflug, 1987**).

Comme toutes les plantes, les microalgues sont capables, grâce à la photosynthèse, de recycler le dioxyde de carbone en oxygène et de convertir l'énergie solaire en une matière première constituant la base de la chaîne alimentaire des autres êtres vivants. Au cours de leur évolution, ces microorganismes ont pu coloniser la quasi-totalité des niches écologiques dont la plupart sont des milieux extrêmes. (**Pflug, 1987**).

Leur capacité d'adaptation à n'importe quel type de milieu est remarquable car ils peuvent fabriquer des structures de résistance lorsque les conditions écologiques sont défavorables.

Ainsi, nous pouvons trouver des microalgues dans des environnements acides, alcalins, et même riches en acide sulfhydrique d'autres supportent le froid ou au contraire les hautes températures ou la sécheresse (**Couté, 1995**).

La plupart des algues se développent en milieu aquatique mais certaines sont terrestres et sont même capables de se développer sur les troncs des arbres ou façades des maisons.

Cette adaptation à des milieux très différents explique la variété d'espèces qui comporte actuellement, selon les estimations, entre 20 000 et 40 000 espèces différentes. Malgré cela, le monde scientifique ne s'intéresse que depuis peu aux microalgues. Leur étude reste limitée à une cinquantaine d'espèces clairement identifiées et à une vingtaine réellement exploitées. (**Thurman, 1997**)

Les microalgues appartiennent au règne des eucaryotes caractérisés principalement par l'absence de racines, de tissus vasculaires et de feuilles mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments pour réaliser la photosynthèse (**Michel Cavalla, 2000**).

II.2. Définition

Les microalgues, ou Phytoplancton, ont généralement d'une taille de l'ordre du micron (**Diadié, 2009**). Ce sont définies comme des organismes unicellulaires ou pluricellulaires soit des Eucaryotes ou des Procaryotes (**Sialve et Steyer, 2013**).

Les microalgues caractérisées principalement par l'absence de racines et de feuilles mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments pour réaliser la photosynthèse (**Becerra, 2009**). Leur mécanisme photosynthétique est similaire à celui des plantes terrestres (**Sadi, 2012**).

Elles sont distribuées dans les mers, les océans, les eaux douces et les eaux saumâtres. Sous la forme d'un revêtement gluant sur les structures immergées. Certaines espèces s'installent sur les murs des monuments ou sur les troncs des arbres. D'autres microalgues vivent en symbiose avec des animaux (mollusques) aussi, avec des champignons en formant des lichens (**Diadié, 2009**).

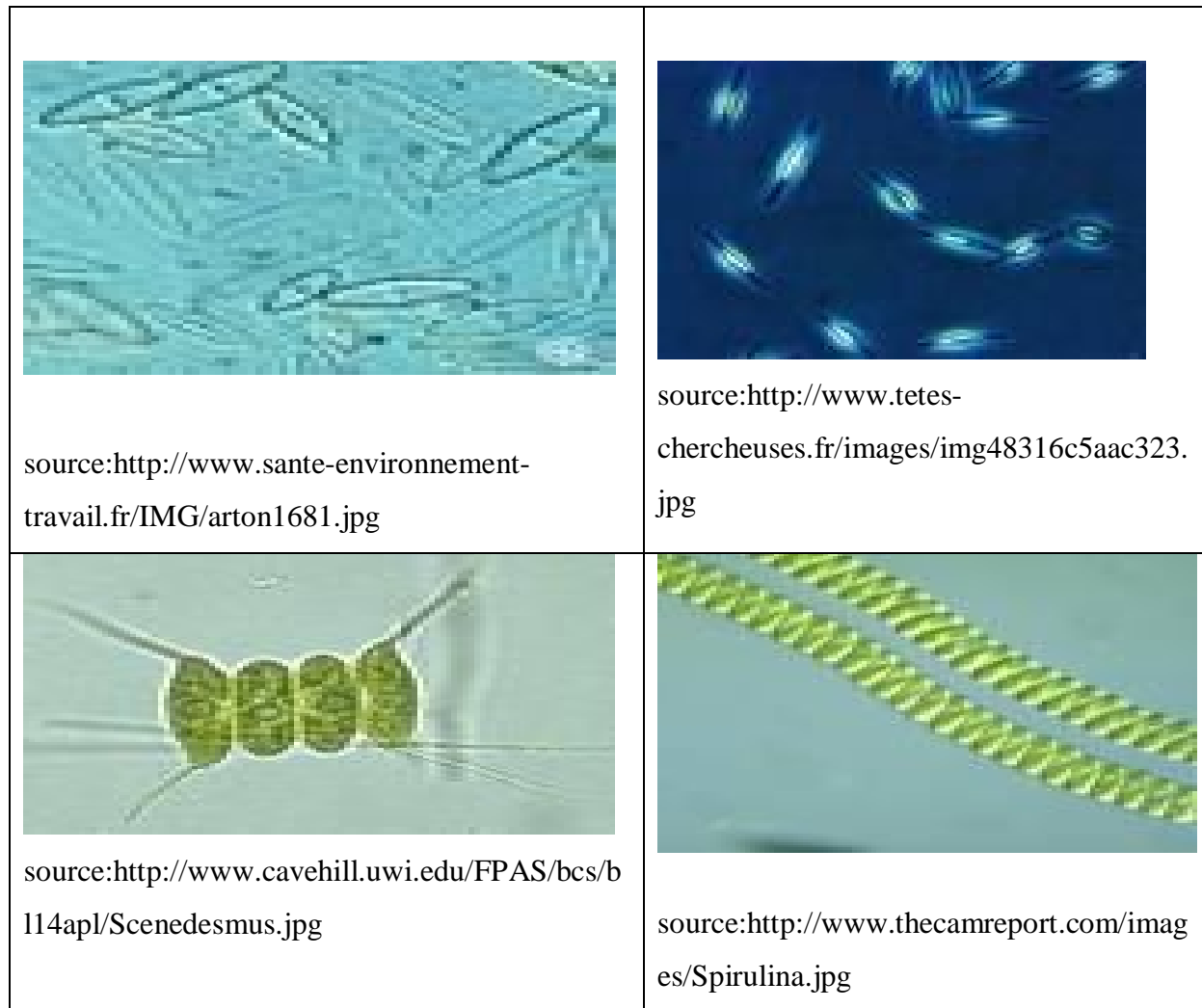


Figure N °1 : Structure des algues microscopiques

II.3. Caractéristiques générales des algues microscopiques (Fabrice Franck, 2010)

- Végétaux de taille microscopique (cellules de quelques microns) ;
- Organismes monocellulaires, parfois groupés en colonies ou multicellulaires (filaments);
- Habitat le plus souvent aquatique (eau de mer et eau douce) ;
- Multiplication le plus souvent par voie non sexuée ;
- Nutrition: autotrophe (photosynthèse), parfois possibilité de nutrition par voie hétérotrophe et mixotrophe ;
- Organismes eucaryotes (organites cellulaires: noyau, chloroplaste, mitochondries etc...) pour la plupart ou procaryotes (pas d'organites cellulaires) dans le cas des cyanobactéries (algues bleues)

- Classification usuelle sur base de la couleur (contenu pigmentaire): Chlorophycées algues vertes, Rhodophycées (algues rouges), Cyanophycées (algues bleues ou cyanobactéries)
- Croissance rapide par division cellulaire: plusieurs divisions par jour en conditions
- • favorables production rapide de biomasse (**Fabrice Franck, 2010**).

II.4. Classification des algues microscopiques

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

II.4.1. Les chlorophycées

Forment un groupe extrêmement vaste et morphologiquement très diversifié. Elles sont réparties en 4 classes : les Euchlorophycées, les Ulothricophycées, les Zygothricophycées et les Charophycées. Celles-ci comportent environ 500 genres, représentant plus de 15000 espèces (**John 1994**).

Toutefois, la plupart des algues vertes planctoniques lacustres appartiennent à l'ordre des Volvocales et à celui des Chlorococcales qui font partie de la classe des Euchlorophycées (**Bourelly, 1985b**).

Les cellules des Volvocales possèdent une paroi cellulaire glycoprotéique pourvue de 2, 4 ou 8 flagelles de même taille, 1 noyau et 2 vacuoles contractiles localisées à la base des flagelles. Les chloroplastes de la plupart des volvocales sont en forme de U et les chlorophylles *a* et *b* sont les pigments majeurs (**Ettl, 1983**). Les Chlorococcales sont unicellulaires ou coloniales avec une membrane bien définie, parfois de formes filamenteuses (**Ettl et Gärtner, 1988**).

L'état végétatif est sous forme immobile et les flagelles sont absents au stade adulte. On distingue comme précédemment un noyau par cellule et les mêmes pigments majeurs (**Bourelly, 1985b**).

Pour assurer leur reproduction, les Volvocales et les Chlorococcales forment des zoospores à l'intérieur de la paroi cellulaire de la cellule mère. On distingue 3 types de zoospores : celles avec membrane et 2 fouets égaux, celles sans membrane et à fouets égaux et celles sans membrane et à fouets légèrement inégaux mais de même structure (**Bourrelly, 1985b**).

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

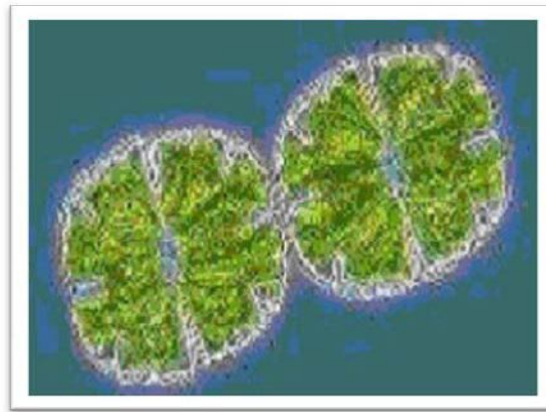


Figure N° 2 : Algues vertes (chlorophycées) (**Coste, 2008**).

II.4.2 Les rhodophycées

Sont le plus souvent des algues marines et leur présence dans les eaux douces se limite à une trentaine de genres peu fréquents. Leurs pigments sont constitués par des chlorophylles a et d, des **a** et **fi** carotènes, des xanthophylles et des biliprotéines (Phycoérythrine et Phycocyanine). (**Wetzel et al., 2001**).

Les réserves sont constituées de rhodamylonou (amidon floridéen **O**, amidon particulier toujours extraplastidial prenant une teinte rougeâtre au contact de l'iode. En eau douce, la couleur des Rhodophytes est bleu-vert, rouge-violacé, très souvent vert sale ou vert noirâtre. Il n'existe pas de formes flagellées. Ce groupe n'existe qu'à l'état de rareté dans les eaux soudaniennes. (**Wetzel et al., 2001**).

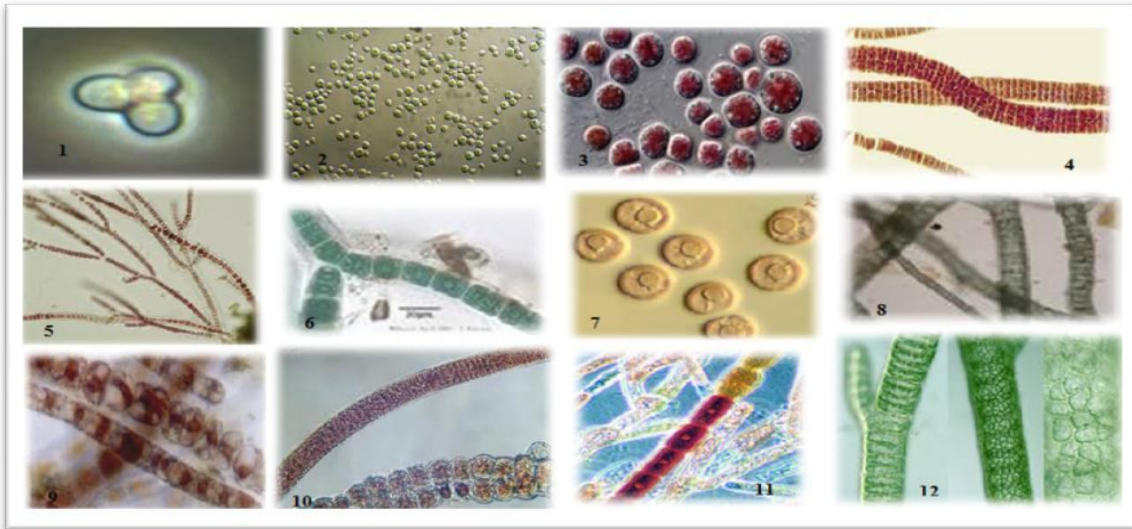


Figure03: Quelque exemples des Rhodophytes : 1- *cyanidioschyzon merolae*, 2- *cyanidium caldarium*, 3- *porphyridium cruentum*, 4- *porphyrostromium ciliar*, 5- *stylonema alsidii*, 6- *chroodactyl onornatum*, 7- *Rhodosorus marinus*, 8- *compsopogonopsis sp*, 9- *Erythrotrichia ceramicola*, 10- *porphyrostromium ciliar*, 11- *rhodochaete parvula*, 12- *compsopogon sp* (Algaebase.org.)

II.4.3 Les Chrysophytes ou cormophytes :

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

II.4.3.1 Les chrysophycées

Sont des algues unicellulaires ou coloniales (rarement filamenteuses), dont certaines vivent dans une enveloppe protectrice appelée lorique. Leurs cellules possèdent un ou plusieurs plastes jaunes ou bruns à cause de la forte concentration en xanthophylles (lutéine, fucoxanthine, diadinoxanthine) et caroténoïdes (β -carotène) masquant la couleur due aux chlorophylles *a* etc. (Sanders *et al.*, 1990; Domaizon *et al.*, 2003).

La plupart de ces cellules obtiennent leur énergie par mixotrophie, c'est à dire qu'elles sont capables d'autotrophie et d'hétérotrophie. Dans le dernier cas, elles se nourrissent en consommant de la matière particulaire comme des bactéries ou des protistes (phagotrophie) ou bien en absorbant des molécules organiques complexes (osmotrophie) (Sanders *et al.*, 1990; Domaizon *et al.*, 2003).

Le nombre de flagelles est variable. La plupart des cellules sont uniflagellées mais d'autres possèdent deux flagelles généralement de même taille. Beaucoup des espèces appartenant à cette classe n'ont pas de paroi cellulaire mais sont juste entourées d'une membrane cytoplasmique. D'autres possèdent une surface cellulaire couverte de plaques ou d'écailles siliceuses ou calcaires. (Sanders *et al.*, 1990; Domaizon *et al.*, 2003).

La multiplication se fait par fission binaire ou par zoo sporulation. Les phénomènes sexuels, rarement signalés, sont de nature isogamique. En période de repos, la formation endogène de kystes siliceux, globuleux, percés d'un pore obstrué par un bouchon, est caractéristique des Chrysophycées. (Sanders *et al.*, 1990; Domaizon *et al.*, 2003).



Figure N° 4 : Algues dorées (chrysophycées) (Oyadomary, 2005).

II.4.3.2 Les xanthophycées

Regroupent plus de 100 genres et environ 600 espèces dulçaquicoles. Elles vivent à l'état unicellulaire, colonial ou de filament et sont caractérisées par une plus grande proportion de pigments caroténoïdes (β -carotène) que de chlorophylle, ce qui peut expliquer leur couleur jaune-verte (Ettl 1978). Les cellules mobiles possèdent deux flagelles de taille différente. La paroi cellulaire est souvent absente et quand elle est présente, elle contient une grande quantité de pectine et peut être siliceuse chez plusieurs espèces.

Les xanthophycées se divisent essentiellement par fission binaire mais peuvent également former des zoospores. La reproduction sexuée, quand elle a lieu, est le plus souvent isogame (Ott et Oldham-Ott 2003).

II.4.3.3 Les diatomées (Bacillariophycées)

Engloberaient plus de 100 000 espèces et on estime que seulement près de 15 000 ont été identifiées à ce jour. C'est un des groupes les plus importants du phytoplancton même si beaucoup d'espèces sont sessiles ou associées aux substrats littoraux. **(Germain 1981).**

Leur caractéristique principale est la présence d'une paroi cellulaire siliceuse appelée frustule. Le pourtour des valves est connecté avec des bandes qui constituent la ceinture de la cellule. **(Germain 1981).**

Ces microorganismes sont unicellulaires ou coloniaux et sont communément divisés en deux groupes : les diatomées centriques qui ont une symétrie radiale et les diatomées pennées qui ont une symétrie bilatérale. Les valves des diatomées pennées présentent des parties de cellules plus épaisses et dilatées. Chez certaines espèces, une fente, nommée raphé, traverse une partie ou la cellule entière alors que chez d'autres espèces, **(Germain 1981).**

On observe une dépression de la paroi cellulaire appelée pseudoraphé. Quatre groupes de diatomées pennées sont différenciés sur la base de ces structures :

Les Araphidées, les Raphidioidées, les Monoraphidées et les Biraphidées. La reproduction végétative par division cellulaire est le mode le plus commun de multiplication **(Canter-Lund et Lund 1995).**

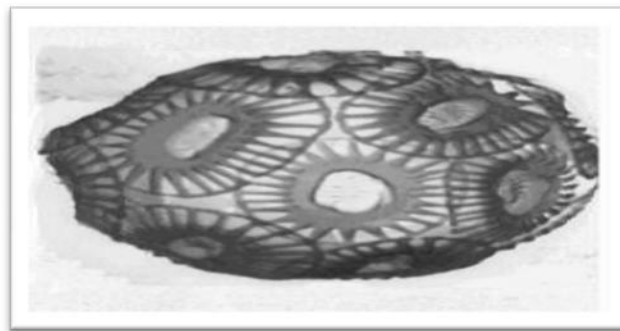


Figure N°5 : Diatomées (bacillariophycées) (Benemann, 2008)

II.4.4 Les Phéophytes

Sont des algues brunes toujours filamenteuses ou thalloïdes, jamais unicellulaires. Elles sont surtout marines et ne sont représentées en eaux douces que par cinq genres et cinq à six espèces fortes rares.

Elles possèdent des plastes bruns contenant des chlorophylles a et c, du p carotène et des xanthophylles (surtout de la fucoxanthine et de la diatoxanthine). **(Bourrelly, 1972).**

Elles ne produisent jamais d'amidon et les matières de réserve consistent en laminarine et en mannitol. La reproduction se fait par des zoosporocystes uni ou pluriloculaires. Les Phbophycées n'ont pas été signalées jusqu'à présent dans les eaux soudaniennes. **(Bourrelly, 1972).**

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

II.4.5 Les pyrrophytes

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

II.4.6 Les cryptophytes

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

II.4.7 Les dinoflagellés

Regroupent environ 300 espèces et sont des algues flagellées unicellulaires dont la plupart sont mobiles. Une ceinture transversale, le cingulum, encercle la cellule et la divise en un épi thèque et une hypothèque alors qu'une invagination longitudinale, le sulcus, définit la face ventrale de la cellule.

Ils possèdent des plaques de cellulose sur la partie externe de la membrane et la taxonomie de ces microorganismes est basée sur le nombre et l'arrangement de ces plaques (Kofoid 1909). Ces plaques peuvent être très fines et sont parfois difficiles à voir par microscopie optique. Des pores apicaux, des extensions de plaques et des épines peuvent aussi apparaître chez certaines espèces. La chlorophylle *a* et *c2* sont deux pigments photosynthétiques majeurs des cellules de dinoflagellés.

La péridinine qui fait partie des pigments accessoires de type caroténoïdes est responsable de la couleur dorée bien que les cellules puissent apparaître jaunâtre voire marron. Bien que la reproduction sexuée se produise de temps en temps la reproduction asexuée par la formation d'aplanospores (spores non flagellés) prédomine. En période de diapause, la formation de kystes peut s'accroître considérablement (Carty 2003).

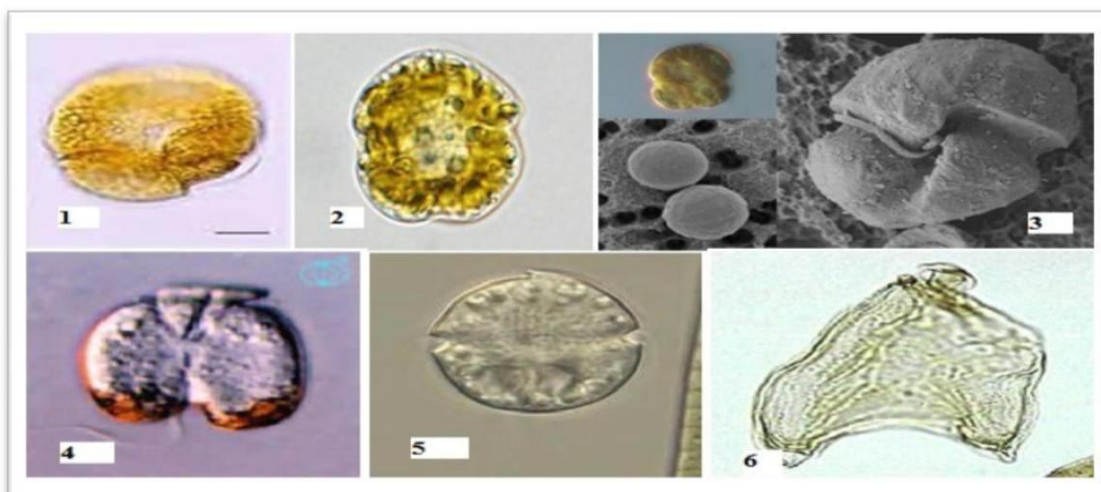


Figure N° 6 : Quelques exemples de Dinoflagellés : 1-*Borghiella tenuissima*, 2-*Biecheleria baltica*, 3-*Symbiodinium voratum*, 4-*Herdmania litoralis*, 5-*Amphidinium bipes*, 6-*Nannoceratopsis gracilis*. (Algaebase.org.)

II.4.8 Euglenophytes (Euglenas)

Sont réparties en 13 genres et plus de 2000 espèces. Ils sont presque tous unicellulaires, sans paroi cellulaire, possèdent un, deux ou trois flagelles qui émanent d'une invagination de la membrane cellulaire, une vacuole contractile et un stigma (« eyespot ») orange à rouge composé de globules de caroténoïdes. Bien que certaines euglènes soient non pigmentées, phagotrophes (capable d'ingérer des particules solides) et par conséquent considérées comme des protistes animaux (ex protozoaires), (Rosowski 2003).

La plupart sont photosynthétiques et parfois hétérotrophes. Il reste que même si la phagotrophie peut constituer le mode d'assimilation de carbone principal, aucune de ces espèces n'en dépend uniquement. Ce dernier est toujours combiné à l'absorption de composés organiques dissous. En ce qui concerne leur mode de reproduction, la division cellulaire semble être la règle pour cette classe du phytoplancton (**Bourelly 1985a**).

Le premier niveau de classification est basé sur les pigments photosynthétiques, les produits de réserve et leur localisation cytoplasmique, ainsi que leur niveau de complexité intracellulaire. Plus communément d'autres critères tels que la reproduction, la nature du squelette, la mobilité permettent de ranger les algues en plusieurs classes telles que :

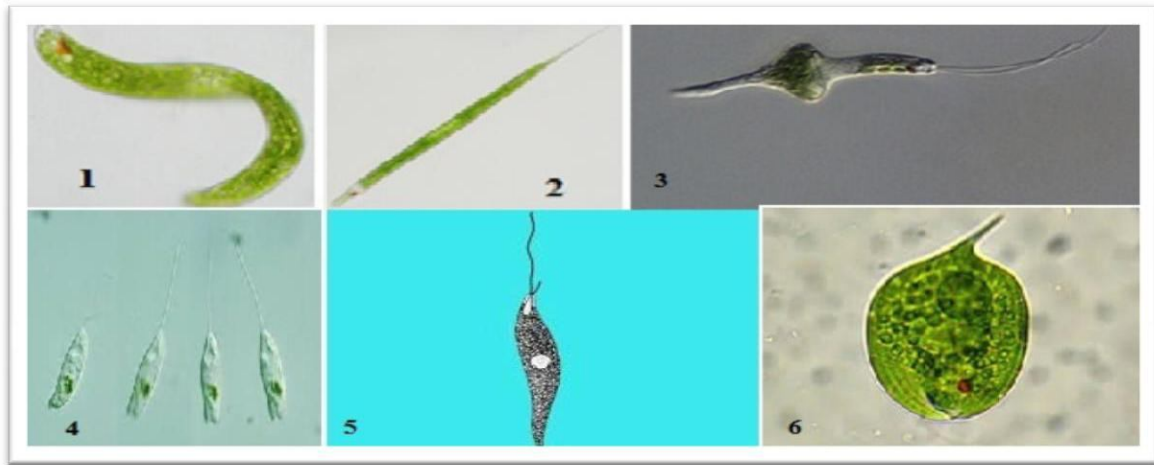


Figure N°7 : Quelques exemples des Euglenophytes : 1-*Euglena ehrenbergii*, 2- *Euglena acus*, 3-*Eutreptia pertyi* 4- *Peranema trichophorum*, 5- *Distigma proteus* , 6 -*Phacus triqueter* .(**Algaebase.org**.)

II.5. Mode de nutrition des algues microscopiques

Les microalgues sont largement et principalement connues comme étant des organismes photoautotrophes. L'autotrophie est un mode de nutrition des microalgues leur permettant d'utiliser les rayons solaires afin de synthétiser leur énergie. Les microalgues de métabolisme autotrophe utilisent également une source de carbone inorganique comme le CO₂ pour la synthèse du carbone organique (**Becerra Celis, 2009**).

Ce carbone organique est essentiel à la synthèse de toutes les composantes organiques nécessaires à leur survie. D'autre part, plusieurs microalgues ont un métabolisme hétérotrophe de nutrition et celles-ci n'ont pas besoin de l'énergie solaire. (**Becerra Celis, 2009**).

Elles utilisent plutôt une source de carbone organique pour la production de l'énergie et des composants organiques (**Becerra Celis, 2009**).

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

Dans le mode autotrophe, les micro-algues sont capables d'utiliser des formes minérales azotées (nitrate, nitrite, ammonium), et phosphatées (phosphate). Quel que soit le mode de croissance, les algues nécessitent également du potassium, du fer et de la silice (pour les diatomées), du soufre, des métaux sous forme de traces, et des vitamines. Il est à noter que certaines carences en nutriments sont appliquées volontairement dans le but de stimuler la production de certains métabolites...) Par exemple, une carence azotée phosphorée ou siliciée peut induire, chez certaines espèces, une forte accumulation de lipides Pour le mode hétérotrophe, une source de carbone organique est utilisée (sucres, acides organiques, glycérol, etc.)(**Laura, 2011**).

Comme pour tout végétal chlorophyllien, la photosynthèse permet de fixer le dioxyde de carbone atmosphérique ou dissous dans l'eau à partir de l'énergie lumineuse pour produire de la biomasse. Les algues utilisent différents pigments chlorophylliens leur permettant de capter des photons de diverses longueurs d'onde (**Julie, 2011**).

Tableau I : Les modes de nutrition des microalgues (**Becerra C, 2009**).

Microalgues	Source de carbone		Source d'énergie	
	CO2	Composés organiques	Lumière	Oxydation des composés organiques ou inorganiques
Photoautotrophe				
Photohétérotrophe	✓		✓	
Chimioautotrophe		✓	✓	
Chimiohétérotrophe	✓			✓
Chimiohétérotrophe		✓		✓

II.6 Composition des algues microscopiques

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

- **Fibres** : de 33à 61% ;
- **Calcium** : les microalgues sont une source abondante de ce minéral qui peut être jusqu'à 34% de la matière sèche;
- **Vitamines** : surtout la vitamine B12 à des teneurs assez importantes contrairement aux plantes terrestres;
- **Iode** : la teneur en iode des microalgues est exceptionnelle et peut atteindre jusqu'à 14296mg/kg matière sèche;
- **Protéines** : Les phycobiliprotéines sont les principaux pigments des algues rouges (phycoérythrine) et bleus (phycocyanine) , possèdent des propriétés antioxydantes utilisées dans les traitements de certains cancers et maladies inflammatoires liées au stress oxydatif;
- **Polyphénols** : appelés phlorotannins chez les microalgues, ils sont présents surtout dans les phéophycées et montrent une activité antioxydante dans les tests in vitro;
- **Caroténoïdes** : des puissants antioxydants ,les algues brunes en sont riches en plus des fucoxanthine,β-cartène et violaxanthine. De nombreuses études ont démontré l'activité antioxydante des caroténoïdes et effets preventifs contre les pathologies (**Guezzen, 2014**)

Tableau II: Répartition du fractionnement biochimique d'une cellule de microalgue(**Becerra C, 2009**).

Compartiment biochimique	Fonction	Ordre de grandeur (%)
Protéines	Structure et métabolisme	40-60
Lipides	Structure et réserve énergétique	5-60
Sucres	Structure et réserve énergétique	8-30
Acides nucléiques	Support, vecteur	5-10

Tableau III : Eléments majeurs constitutifs des microalgues. Enfin, le fractionnement biochimique se répartit suivant 4 familles de molécules : protéines, lipides, sucres et acides nucléiques (**Becerra C, 2009**).

Elément μg/mg	Composition cellulaire de poids sec
C	176-650
O	205-330
H	29-100
N	10-140
Na	0.4-47
K	1-75
P	0-80
S	1.6-6
Mg	0.5-75
Fe	0.2-34
Zn	0.005-1
Mn	0.02-0.24
Si	0-230
B	0.001-0.25
Mo	0.0002-0.001
Cu	0.006-0.3

II.7. Facteurs de production algale

Plusieurs facteurs fondamentaux influencent et définissent les procédés et les choix technologiques présentés dans les prochaines sections. Les recherches issues de multiples programmes ont permis de déterminer et de documenter les principaux facteurs de production dont dépend le succès de la production intensive de microalgues dans un but énergétique : procédés, ressources, coproduits possibles, environnement et échelles de production. (**Stengel, 1970; Fulks et Main, 1991**).

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

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

II.7. Applications biotechnologiques des microalgues

Les applications de ces microalgues sont multiples, de l'alimentation humaine, l'alimentation animale, les cosmétiques, la pharmaceutique. Chaque espèce des microalgues a des propriétés qui lui sont propres et toutes les microalgues produites n'ont pas une application unique. Il est possible de regrouper les espèces en fonction de leurs principales utilisations (FILALI, 2012).

Les micro-algues sont des microorganismes photosynthétiques qui produisent une grande variété de molécules et qui sont très riches en substances biochimiques, qui peuvent avoir des applications très diverses et dans de nombreux domaines. Voici quelques exemples d'utilisations de molécules synthétisées par les micro-algues (FILALI, 2012).

II.7.1 Alimentation animale

Les micro-algues sont la base du réseau trophique en milieu marin. De ce fait il apparaît qu'elles peuvent être intégrées à l'alimentation en aquaculture marine. Elles sont notamment utilisées dans les élevages de bivalves et pour les larves de poissons et de crustacés.

Ce sont notamment leurs nombreux acides gras insaturés qui aident à la croissance des jeunes larves. Ces micro-algues (mortes) sont fournies sous forme de pâtes de micro-algues ou de micro-algues sèches. Il semble cependant que ces micro-algues mortes soient utilisées essentiellement en tant que soutien de l'alimentation donnée habituellement ou en tant que supplément quand il n'y a pas suffisamment d'algues vivantes. En effet, ces algues sèches ont des valeurs nutritionnelles plus faibles que les vivantes et sont peu disponibles (**Soeder et Pabst, 1970**).

Dans le commerce. Les micro-algues vivantes apportent plus de bénéfices dans l'alimentation des élevages marins que lorsqu'elles sont séchées. De plus, il existe une flore bactérienne naturelle avec la culture des micro-algues qui a été prouvée bénéfique pour la santé des mollusques. (**De la Noüe et Proulx, 1986**).

Enfin, l'utilisation de levures et de bactéries dans l'alimentation de ces élevages donnent des résultats beaucoup moins bons en apports nutritionnels qu'avec des micro-algues. Les micro-algues vivantes apparaissent comme le meilleur choix dans les conditions d'élevages, pour apporter des valeurs nutritives élevées, présenter des propriétés physiques appropriées et fournir un environnement sain à l'élevage. (**Clément et van Landeghem, 1970; Iltis, 1974; Fox, 1986**).

On peut par exemple citer *Isochrysis galbana* et *Tetraselmis suecica* qui sont considérées comme la meilleure nourriture pour les larves de bivalves. *Scenedesmus* peut être utilisée dans l'alimentation d'un crustacé tel que l'Artémia. Quant à la *Chlorelle*, elle ne convient pas pour les huîtres ou les palourdes (**Clément et van Landeghem, 1970; Iltis, 1974; Fox, 1986**).

Les caroténoïdes présentés précédemment ont aussi des applications dans l'élevage puisqu'ils améliorent l'état de santé général des animaux. Ils sont aussi un supplément vitaminique chez les volailles. En aquaculture, ils favorisent la qualité et la survie des larves de crevettes et sont utilisés dans l'élevage et la coloration des saumons (**Clément et van Landeghem, 1970; Iltis, 1974; Fox, 1986**).

II.7.2 Alimentation humaine

Certaines micro-algues sont sources de matière alimentaire à haute valeur nutritive en vitamines, protéines, sucres et lipides, produits en grande quantité et utilisables par l'homme.

Notamment les *Diatomées*, la *Chlorelle* et la *Spiruline* sont consommées (sous forme de compléments alimentaires). Par exemple, la *Spiruline* est formée par 60 à 68% de sa matière sèche par des protéines (elle est donc bénéfique pour des régimes alimentaires déséquilibrés en protéines), 19% de glucides, 3% lipides (dont des oméga-6), du fer et des vitamines A, B2, B6, B12 (**Rebeloso Fuentes et al., 2000**).

II.7.3 Utilisations industrielles

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

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

II.7.4. Colorants

Actuellement, le β carotène et la phycocyanine sont les deux seules substances d'origine algale à avoir été commercialisées (**de la Noüe et al., 1990**) Le β carotène est un autre colorant, actuellement extrait de *Porphyridium cruentum*, qui sert notamment à colorer la margarine. Il sert aussi en pharmacie comme provitamine A, en cosmétique comme produit bronzant, et en aquaculture pour colorer la chair des truites (**Moriceet Jamma, 1992**).

D'autres colorants peuvent être extraits des microalgues: ce sont les phycobilliprotéines utilisées également comme marqueurs fluorescents (**Huntley et al., 1989**).

II.7.5 Polysaccharides

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

II.7.6 Vitamines et autres produits

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

II.7.7 Imperméabilisants

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

II.7.8 Cosmétique

Les microalgues utilisées par la filière cosmétique sont souvent les mêmes que celles utilisées pour les applications alimentaires. Cependant, les travaux de recherche mettent en évidence de nouvelles applications pour de nouvelles espèces.

La filière cosmétique utilise les microalgues sous forme d'extraits de plantes, broyées (pour les gommages par exemple) ou en tant qu'agents de coloration. Étant donné que le marketing joue un rôle important dans l'industrie des cosmétiques, les microalgues sont souvent utilisées afin de véhiculer une image de produits naturels apportant les bienfaits de la mer (IDEALG, 2014).

II.7.9 Pharmaceutique et santé

Les extraits des microalgues sont également utilisés par le secteur pharmaceutique, les principes actifs extraits des microalgues sont utilisés comme anti-inflammatoire œsophagien, pour lutter contre l'embonpoint, pour leur effet laxatif ou encore pour les pansements, les microalgues peuvent être utilisées dans une amélioration du confort des diabétiques. En effet certains polysaccharides issus des microalgues des côtes françaises peuvent moduler l'absorption intestinale du glucose et la réponse insulinique à l'alimentation. Par ailleurs, des oligosaccharides extraits des microalgues peuvent améliorer l'équilibre de la flore intestinale du colon, en favorisant la croissance des bactéries comme favorables pour la santé. (Gana, 2014).

Ces bactéries sont actuellement largement utilisées des préparations à base de lait peu caloriques, riches en vitamines et en minéraux. Les microalgues alimentaires sont source de polysaccharides divers, très différents de ceux provenant des végétaux terrestres. Ces polysaccharides représentent entre 30% et 70 % du poids sec des microalgues, selon l'espèce (Gana, 2014).

II.7.10 Production de biocarburants

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

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

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

III. les écosystèmes extrêmes

III.1. Notions d'environnements extrême et extrémophiles

La croissance et la survie des organismes sont commandées par une série de facteurs physiques et chimiques, tous les deux biotique et abiotique. Un biotope pour un organisme est défini par un intervalle pour chacun de ces différents facteurs environnementaux.

C'est donc un espace à n-dimensions, avec des limites supérieures et inférieures pour chacun des facteurs de croissance. Pour pouvoir définir un environnement extrême il faudrait d'abord définir ce qu'est un environnement non-extrême ou normal. Pour cela, un consensus général établit les facteurs physiques et chimiques les plus importants pour un environnement normal. Ces facteurs se situeraient approximativement à des valeurs de température de 4 à 50°C, de pH de 5 à 8,5 et de salinité entre celle de l'eau douce et celle de l'eau de mer (3,5%, p/v). **(Kristjansson et Hreggvidsson, 1995).**

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

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

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

Le terme extrémophile est le plus souvent employé pour rapporter des organismes procaryotes, puisque la majorité appartient au domaine des *Archaea*. Egalement, plusieurs

termes sont utilisés pour décrire les extrémophiles et les extrêmotrophes et des sous définitions existent pour les organismes modérément-extrêmes, extrêmes et hyper extrêmes. Ces définitions se focalisent sur une unique extrémophilie environnementale mais beaucoup d'extrémophiles peuvent être classés sous plusieurs catégories, on parle souvent de polyextrémophilie en sachant qu'un environnement est souvent caractérisé par deux, voire plusieurs paramètres extrêmes. **(Horikoshi et Bull, 2011).**

Parmi les microorganismes qualifiés d'extrémophiles, on rencontre ceux qui vivent en présence de fortes concentrations de sel (halophiles), ceux qui se développent à des températures froides ou chaudes (psychrophiles et thermophiles), et/ou dans des milieux très acides ou basiques (acidophiles et alcaliphiles) ou sous pressions élevées **(Horikoshi et Bull, 2011).**

III.2) Intérêt biotechnologie des extrémophiles

Les extrémophiles représentent une nouvelle frontière pour la biotechnologie. Les travaux de recherche sur les extrémophiles sont pour une grande part motivés par les applications biotechnologiques déjà acquises et par celles susceptibles de reposer sur des biomolécules aux propriétés nouvelles pouvant déboucher sur le développement de nouveaux produits. En raison des pratiques en vigueur dans les laboratoires de recherche et dans l'industrie, il est souvent difficile de documenter les chemins ayant conduit de la source (extrémophile) à un produit ou un procédé. Plusieurs milliers d'articles sont consacrés à ce domaine en pleine expansion. **(Quérellou et Guézennec, 2010).**

Il est possible d'aborder ce chapitre sous plusieurs angles **(Quérellou et Guézennec, 2010).**

- par groupes d'extrémophiles ;
- par type d'applications industrielles ;
- par grandes familles d'enzymes et de produits.

Néanmoins, d'excellentes synthèses existent par groupes d'extrémophiles qui permettent au lecteur d'aborder les applications biotechnologiques sous cet angle : citons pour les propriétés et les applications liées aux psychrophiles les synthèses de **(Cavicchioli et al.,)**

Les extrêmophiles sont un sujet d'étonnement et d'étude à plusieurs titres :

- Leurs particularités offrent des perspectives technologiques variées (protéines thermostables, enzymes de lessives à l'eau froide, par exemple) et un vaste champ d'études biologiques. Les protéines et enzymes extrêmes constituent un marché en plein essor (biotechnologie et industrie chimique).
- L'exemple le plus spectaculaire est la Taq polymérase provenant de *Thermus aquaticus* qui est largement employé pour les réactions de PCR.
- L'apparition de la vie a peut-être eu lieu dans un environnement extrême. L'atmosphère primitive de l'époque, sans oxygène et sans ozone, laissait passer les rayons Ultra VIOLET (UV) du soleil qui pouvait entraîner la formation de radicaux libres toxiques pour les cellules. Ils illustrent les capacités étonnantes d'adaptation de la vie aux milieux les plus divers et les plus hostiles, ce qui crédibilise l'idée que des formes de vie semblables se trouvent sur des planètes en apparence non viables (Antranikian, 2009).

III.3) Thermophiles

Les organismes thermophiles peuvent vivre et se multiplier entre 50 et 70 °C. Ils peuvent croître entre 25 et 40 °C mais faiblement. Il existe des organismes thermophiles parmi les différents groupes d'organismes eucaryotes comme des protozoaires, des champignons, des algues, et des procaryotes comme des streptomycètes, des cyanobactéries, des *Clostridium*, des *Bacillus*. Les eucaryotes connus ne peuvent pas vivre à des températures supérieures à 60 °C. (Wiegel et Canganella, 2001).

La bactérie *Thermus aquaticus* est un exemple d'organisme thermophile ; la haute résistance thermique de son ADN polymérase est utilisée pour la réaction de polymérisation en chaîne (Wiegel et Canganella, 2001).

III.3.1 Classification

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

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

Les hyperthermophiles sont également caractérisés par la présence de la gyrase reverse, une enzyme responsable de la stabilisation de l'AND bicaténaire aux températures élevées **(Holden, 2009).**

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 **(Holden, 2009).**

Tableau V : Systèmes de classification thermophiles (Gareth & Rose ,1979).

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

III.3.2 Algues thermophiles

Les algues thermophiles sont des organismes ayant besoin d'une température élevée pour se développer. Les températures maximales de croissance recensées à ce jour se situent aux alentours aux 60°C chez les algues. Chez les organismes vivants, la fluidité des membranes augmente avec la température. Les membranes cytoplasmiques des microorganismes thermophiles (**Peary et Castenholz, 1964, Bauld et Brock, 1974**).

Possèdent une structure particulière leur permettant de rester stables et fonctionnelles aux températures élevées. Celles des bactéries (hyper)thermophiles sont composées d'une bicouche lipidique formée d'acides gras liés à un glycérol par une liaison ester et sont exceptionnellement riches en acides gras saturés (**Peary et Castenholz, 1964, Bauld et Brock, 1974**).

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

Les communautés de tapis thermophiles se développent dans les sources géothermiques à des températures allant jusqu'à 65 ° C environ (**Ward et al., 1998**). La température est un facteur physique important qui influence fortement le dégagement d'oxygène du photosystème II (PSII), la température dispose d'un certain nombre d'effets sur les membranes de cyanobactéries et 32 influe la disponibilité des nutriments et de son absorption (**Inoue et al., 2001 ; Murata, 1989; Vonshak, 2003**)

III.4 Niche écologiques des thermophiles

Ensemble des conditions environnementales telles qu'une espèce donnée peut former des populations viables. La niche écologique est une notion théorique, définie par **Hutchinson (1957)** comme l'hypervolume occupé par une espèce dans un hyperespace à n dimensions, ne correspondant au nombre total des paramètres définissant le milieu ; (**Calteau, 2005**)

Chaque espèce est ainsi identifiée par les « seuils » écologiques qu'elle admette vis-à-vis de chaque paramètre et qui dessinent les contours de l'hypervolume. Cette niche fondamentale, propre à chaque espèce, constitue son habitat. (**Calteau, 2005**)

Les organismes thermophiles et hyperthermophiles peuvent être isolés de biotopes comme des systèmes hydrothermaux volcaniques et géothermiques, comme des sources chaudes, cheminées hydrothermales sous-marines(**Calteau, 2005**)

Les températures élevées augmentent la fluidité des membranes et détruisent de nombreuses macromolécules organiques. Pour maintenir la fluidité et la cohérence optimale des membranes et de leur milieu interne, ces cellules doivent ajuster leur composition en lipide (ratio acide gras saturé et insaturé, liaisons tétra-éther plus solides). La température affecte aussi la structure et la fonction des protéines et enzymes. (**Calteau, 2005**)

Le fonctionnement au niveau moléculaire des protéines et enzymes thermophiles est très étudié afin d'une part, de mieux comprendre l'adaptation aux fortes températures et d'autre part, pour des applications biotechnologiques (biologie moléculaire). Certains biologistes font l'hypothèse que les micro-organismes thermophiles et barophiles ressembleraient plus que tout autre être vivant actuel à l'ancêtre commun de toutes les cellules modernes (**Calteau, 2005**)

III.4.1 Biotopes

Selon plusieurs auteurs, le terme biotope est synonyme d'habitat. Mais l'habitat concerne seulement une espèce ou une population d'une espèce alors que le biotope englobe tout une communauté biologique (biocénose). Un biotope et la biocénose qu'il accueille forment un écosystème bien particulier. (**Oshima et Moriya 2008**).

Lieu de vie défini par des caractéristiques physiques et chimiques relativement stables. Ce milieu héberge un ensemble de formes de vie composant la biocénose: flore, faune, champignons et des populations de micro-organismes (**Oshima et Moriya 2008**).

Les caractéristiques d'un biotope sont :

- **géographiques** : latitude, longitude, altitude
- **climatiques et microclimatiques** : caractéristiques des influences du climat et de ses interactions avec le couvert végétal (ombre, vent, évapotranspiration, rosée, albédo, etc.)

- **pédologiques** : caractéristiques physico-bio-chimiques du sol
- **géologiques** : caractéristiques du sous-sol, qui influent sur l'hydromorphie
- **hydrographiques** : distribution des eaux dans l'espace
- **hydrologiques** : caractéristiques et mouvements des eaux, et interactions avec la biocénose ; Par exemple, les sphaignes stockent de l'eau, les castors aussi, via leurs barrages
- **topographiques et géomorphologiques** : caractéristiques altimétriques

III.4.1.1 biotope naturel

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

III.4.1.2 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**).

III.4.1.3 Diversité taxonomique et métabolique des thermophiles

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

III.5 Les sources thermales de l'Algérie

Il existe sur le territoire algérien plus de 200 sources thermales d'après les études réalisées à ce sujet, ce nombre croit régulièrement quand on se déplace vers l'Est. Les températures mesurées à l'émergence varient de 19°C à Ben Haroune à 98 °C à Hammam Meskoutine. La minéralisation des eaux est déterminée surtout par la nature chimique et minéralogique des sédiments qu'elles traversent. Les sources thermales les plus minéralisées sont en relation directe avec les sédiments gypso-salins du Trias si répandu en Algérie [1], ce cas est rencontré à titre d'exemple à Hammam Melouane 29.42 gr/l, Hammam El Biban 15gr/l, Hammam Salhine 9 gr/l. **(Fekraoui et Abouriche,1999)**

Les stations thermales médicalisées Parmi les nombreuses stations thermales qui existent en Algérie, huit seulement sont médicalisées, il s'agit des stations thermales : Hammam Bouhanifia (Mascara), Hammam Bouhadjar (Ain Temouchent), Hammam Boughrara (Tlemcen), Hammam Rabbi (Saida), Hammam Righa (Ain Defla), Hammam Guergour (Setif), Hammam Salhine (Biskra), Hammam Meskoutine (Guelma). **(Fekraoui et Abouriche,1999).**

Ces stations thermales sont gérées par la Société Algérienne de Thermalisme et sont conventionnées avec les différentes caisses de sécurité sociale (CNAS, Casnos, caisse militaire). Les établissements disposent de structures d'accueil et d'équipements adéquats ainsi qu'un encadrement médical et paramédical qualifié pour prodiguer des soins basés sur des méthodes scientifiques de la crénothérapie aux différents malades et curistes. **(Saïbi, 2009).**

Les autres stations thermales éparpillées à travers le territoire national enregistrent par contre un déficit dans les infrastructures d'accueil, elles sont surtout sollicitées par les curistes pour les bains thermaux traditionnels. Hammam Boughrara Hammam Boughrara est situé à 282 mètre d'altitude à l'extrême Ouest du pays, sur les bords de l'Oued Tafna à proximité de la ville frontalière de Maghnia. **(Fekraoui et Abouriche,1999).**

Dans une zone essentiellement agricole avec un centre commercial et des équipements de loisir et de soins. La station thermale de hammam Boughrara est mise en exploitation en 1974, ses eaux sulfatées et bicarbonatées sodiques, émergent à une température de 45°C. Les indications thérapeutiques sont d'ordre rhumatologique, dermatologique, gynécologique et respiratoire. **(Fekraoui et Abouriche,1999).**

Les techniques thermales consistent en des bains simples, bains carbo-gazeux, bains locaux, douches au jet, auxquelles s'ajoutent des soins complémentaires : thermothérapie (infrarouges et applications de paraffine), électrothérapie, massage à sec. (Saïbi, 2009).

III.6 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. (Hélène, 1966).

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. (Hélène, 1966).

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

Il apparaît alors nécessaire d'améliorer les connaissances sur ces organismes végétaux et de renforcer les capacités dans ce domaine. Pour cette présente étude, l'accent sera mis sur les microphytes (microalgues et cyanobactéries) qui suscitent une attention particulière à

travers le monde du fait d'une part de leur exploitation dans les domaines de production alimentaire (la spiruline) ou énergétique (bioproduction d'hydrogène, biocarburant) et d'autre part à cause de la nuisance de certaines espèces qui secrètent des toxines (*Microcystis aeruginosa*, *Cylindrospermopsis raciborskii*...) (**Debnath et al., 2009**).

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

Deuxième Partie :
Etude expérimentale

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 à travers la wilaya de Khenchela

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

- **La station thermale Hammam Essalhine**

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

La station thermale de Hammam Essalhine (Khenchela) est située dans la commune d'El Hammam, à 7 Km au Nord Ouest de chef lieu de la wilaya de Khenchela dans une dépression montagneuse. (Gasmi et Araar ; 2010).



Photographie N°01 : Représentation du point d'échantillonnage de Hammam Essalhine Khenchela.

Coordonnées géographiques

-Altitude de 1062m.

-Latitude: 35°26' 17.98" Nord.

-Longitude: 7°05'08.16" Est.

- **La station de Site: Hammam el knif**

Hammam knif se trouve dans la commune de Baghai à 15km du chef lieu de la wilaya de Khenchela. 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. (Berkani, 2011).

Il constitue un petit chaînon allongé globalement NE-SW, d'une longueur de deux (02) kilomètres et d'une largeur d'environ 500 mètres ; il culmine à 1450m 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 m.

-Latitude : 35° 29' 08,32 Nord.

-longitude : 7° 15' 14,107àoko Est.

II. Les étapes d'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 Est de l'Algérie) ; wilaya de Khenchela (Hammam Knif , Hammam Essalhine).

II.1. Préparation du matériel

Comme règle générale, le matériel de terrain consiste en une série de bouteilles d'échantillonnage, une glacière, un échantillonneur (lorsque l'accessibilité au site et la température de site selon la taille du cours d'eau) et des instruments de mesure, tels qu'un multiparamètre. Le volume des flacons à utiliser ainsi que le volume d'eau à prélever dépendent des paramètres qui doivent être analysés.

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.

III. Mesure des paramètres physique in situ de l'eau

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



Photographie N°02 : Multi paramètre (HANNA HI8424).

III.1. Température

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

III.2. Mesure de pH

Le pH est mesuré à l'aide d'un Multi paramètre de terrain, la mesure est réalisée selon les étapes suivantes:

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

IV. Prélèvement des échantillons

IV. 1. Méthode de prélèvement

Le prélèvement des échantillons d'eau peut s'effectuer de plusieurs façons, selon la taille du cours d'eau et l'accessibilité au site et la température de site. Dans les sources moins chaudes, l'idéal est de se placer au centre du cours d'eau et de remplir les bouteilles à la main, au milieu de la colonne d'eau, en faisant face au courant. Lorsque la température élevée empêche le prélèvement à la main comme c'est le cas dans notre étude, nous utilisons des supports et/ou des gants résistants à la chaleur. **(Rodier, 1984).**

Les échantillons d'eau destinés aux analyses microbiologiques sont prélevés dans des flacons en verre stériles de 250 ml et bien rincés avec l'eau à échantillonnée. Les échantillons devraient être prélevés à l'aide des flacons en verre, de préférence de couleur ambrée afin d'éviter tout dommage mécanique ou thermique potentiel et tenus hors de toute lumière du jour. **(Bouannane et al., 2011).**

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

Les échantillons d'eau ont été fixés avec une solution de formaldéhyde à 5 %. La solution de formaldéhyde est ajoutée à un volume équivalent à celui de l'échantillon pour avoir la concentration finale de 5%. Il permet une conservation pour une longue durée. Une quantité

de Lugol (solution Iodo-iodurée) est aussi ajoutée à l'échantillon jusqu'à ce que celui-ci prenne une teinte jaune clair. (Bouannane *et al.*, 2011).

Le Lugol facilite la sédimentation des micro-algues. Les flacons bouchés et agités, sont gardés à 4°C. Les échantillons prélevés ont été maintenus à l'abri de la lumière jusqu'à leur analyse. Sur ces échantillons les espèces ont été identifiées au microscope optique. (Aiea, 2005)

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).

Sur ces échantillons les espèces ont été identifiées au microscope optique équipé d'un appareil photo.

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

V. Procédures de laboratoire

V. 1. Caractères morphologiques choisis

La détermination des genres récoltés des algues microscopiques est réalisée à partir de l'observation, sous microscope optique, des caractères morphoanatomiques représentant les clés d'identification, plusieurs caractères morphologiques peuvent permettre de distinguer les taxons. Les critères retenus sont: 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 Observation microscopique

L'observation de ces algues microscopiques s'effectue aux grossissements successifs 40; 100. Agiter le flacon, prélever une goutte, la déposer sur une lame et recouvrir d'une lamelle ; Prendre à l'aide d'une pipette un volume de 1 ml d'échantillon digéré, déposer uniformément entre lame et lamelle de microscope (préalablement nettoyée à l'alcool). Laisser sécher les lames à température ambiante et à l'abri de la poussière:

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

V.4. Taxinomie des algues microscopiques

L'identification des algues microscopiques est établie par observation de leurs caractères morphologiques à l'aide d'un microscope optique. A partir de la description, une identification des espèces a été rendue possible par comparaison de nos données à certains travaux comme ce de : **Bourrelly (1966, 1968, 1985, 1990)** ; et plusieurs d'autres études et recherches faites sur les microalgues.

Résultats et discussion

Résultats et discussion

I. Les propriétés physiques des sources thermales étudiées

Pour rassembler les connaissances actuelles sur les algues microscopiques. 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° VI.

Tableau N°VI: Les propriétés de la source thermale étudiée

Source Hammam	Site (1)hammam Elssalhine	Site (2) hammam kniffe
Localisation	35°26'N / 07°05'E	35°26'N / 07°05'E
T (°C) mesuré in-situ	65	55
pH mesuré in-situ	7.07	7.08

I.1. Température et pH

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

Dans la zone d’étude de Hammam Essalhine nous avons remarqué que la température est 65°C, alors que la source thermale de Hammam Knif est caractérisée par une température de 55°C.

Selon Richard 1996, une eau est considérée comme hypothermale si elle possède une température comprise entre 21 et 35°C ; mésothermale dans le cas ou sa température varie de 35 à 45°C et hyperthermale si elle possède une température supérieur à 50°C.

Les données présentées dans le tableau N° VI nous permettent de conclure que les deux sites thermaux étudiés se caractérisent par des eaux hyperthermales.

Selon le tableau n° VI les eaux des sources des zones d'études (hammam Essalihine, hammam Knif), dont le pH est varié entre 7.07, 7.08 sont des eaux neutres. Selon **Gaujous, 1995**, à pH neutre, la forme dominante est l'ion bicarbonate (HCO_3^-), le gaz carbonique (CO_2) ne se rencontre qu'à pH acide, cependant la forme carbonate (CO_3^{2-}) est pratiquement absente des eaux naturelles.

II. Résultats d'identification des algues microscopiques

L'identification des espèces d'algues microscopiques est faite en se référant à l'ensemble des clés d'identification de **Bourrelly (1966, 1968, 1985, 1990)**.

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

Les résultats d'identification sont exprimés avec les noms de genres et d'espèces pour l'identification de algues microscopiques recueillis à partir de nos prélèvements des stations thermales des régions d'étude.

Notre recherche des algues microscopiques dans les deux sites des sources thermales hammam Essalihine et de Hamma Knif nous a permis de déterminer 13 espèces identifiées appartenant à 10 genres de microalgues .

Tableau N ° VII: Distribution et biodiversité des espèces des algues microscopiques des échantillons analysés dans cette étude.

Sites d'études Espèces Identifiées des Algues microscopiques	Hamam Essalhine (65 °C)	Hamam Knif (55 °C)
<i>Chlorella sp₁</i>	+	-
<i>Chlorella sp₂</i>	-	+
<i>Chlamydomonas sp</i>	+	+
<i>Spirogyra sp</i>	+	+
<i>Navicula sp₁</i>	+	-
<i>Navicula.sp₂</i>	+	-
<i>Cosmarium sp</i>	+	+
<i>Cymbella sp</i>	+	-
<i>Nitzschia sp₁</i>	+	+
<i>Nitzschia sp₂</i>	+	-
<i>Klebsormidium flaccidum</i>	-	+
<i>Diatoma sp</i>	+	+
<i>Achnanthes sp</i>	+	-

(+) : présence, (-) : Absence

L'observation des caractères morpho-anatomiques des Cyanobactéries récoltées dans les deux sources thermales de Khenchela (Hamman Essalhine, Hamman Knif) ; permis d'identifier 13 espèces appartenant à 10 genres : *Chlorella sp1*, *Chlorella sp2*, *Chlamydomonas sp*, *Spirogyra sp*, *Navicula sp1*, *Navicula.sp2*, *Cosmarium sp*, *Cymbella sp*, *Nitzschia sp1*, *Nitzschia sp2*, *Klebsormidium flaccidum*, *Diatoma sp*, *Achnanthes sp*.

Les échantillons d'Essalihine Khenchela étaient plus diversifiés, avec 11 espèces identifiés, Suivi par Hamman knif avec 06 espèces identifiés.

II.1. Classification des espèces des microalgues recensées

Le tableau N° VIII détermine la classification des espèces des algues microscopiques recensées dans la région d'étude

Tableau N°VIII : Classification, des espèces des algues microscopiques recensées dans les régions d'étude

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espec
<i>Chlorophytes</i>	<i>Zygnematophyceae</i>	<i>Zygnematales</i>	<i>Zygnemataceae</i>	<i>Spirogyra</i>	<i>Spirogyra sp</i>
		<i>Desmidiiales</i>	<i>Desmidiaceae</i>	<i>Cosmarium</i>	<i>Cosmarium sp</i>
	<i>Trebouxiphyceae</i>	<i>Chlorellales</i>	<i>Chlorellaceae</i>	<i>Chlorella</i>	<i>Chlorella sp1</i> <i>Chlorella sp2</i>
	<i>Chlorophyceae</i>	<i>Volvocales</i>	<i>Volvocaceae</i>	<i>Chlamydomonas</i>	<i>Chlamydomonas sp</i>
<i>Chrysophytes</i>	<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	<i>Navicula sp1</i> <i>Navicula.sp2</i>
		<i>Cymbellales</i>	<i>Cymbellaceae</i>	<i>Cymbella</i>	<i>Cymbella sp</i>
		<i>Bacillariales</i>	<i>Bacillariaceae</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia sp1</i> <i>Nitzschia sp2</i>
		<i>Diatomales</i>	<i>Diatomophyceae</i>	<i>Diatoma</i>	<i>Diatoma sp</i>
		<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthaceae</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes sp</i>

<i>Charophytes</i>	<i>Klebsormidiopeae</i>	<i>Klebsormidies</i>	<i>Klebsormidiaceae</i>	<i>Klebsormidium</i>	<i>K.flaccidum</i>
--------------------	-------------------------	----------------------	-------------------------	----------------------	--------------------

D'après le tableau VIII, nous pouvons dire que notre région d'étude abrite 13 espèces appartenant à 10 genres de microalgues. On a trois Embranchements : *Chlorophytes*, *Chrysophytes*, et l'embranchement de *Charophyta*.

L'embranchement *Charophyta* était représentée par une seule espèce *Klebsormidium flaccidum*, de la classe des *Klebsormidiopeae*. L'embranchement des *Chlorophytes* est représenté par 05 espèces.

Les résultats expriment que la diversité des communautés en développement dans les sources thermales est dominée par les *Chrysophytes*. Nous avons 07 espèces de totales des espèces identifiées appartiennent à l'embranchement des *chrysophytes*.

Discussion

Dans ce travail, nous avons étudié les communautés d'algues microscopiques 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., et **Ghazzi et al., (2013)** dans différentes sources thermales réparties en Tunisie.

Le nombre élevé des algues microscopiques montre l'existence d'un certain nombre de conditions facilitant la croissance des espèces dans les zones d'études, caractérisée par des eaux thermophiles. La température est un des paramètres les plus importants pour la diversité des espèces des sources thermales. Nous pouvons conclure que les espèces de microalgue en général sont capables de proliférer sous les conditions environnementales des eaux thermales.

Il est bien connu que les écosystèmes thermiques soutiennent les communautés des algues microscopique qui dominent la biomasse et la productivité totale des écosystèmes (**Aguilera et al., 2012; Hindák, Kviderová et Lukavský, 2013**).

Les échantillons d'Essalihine Khenchela étaient plus diversifiés, avec 11 espèces identifiées, Suivi par Hammam knif Hammam Knif avec 06 espèces identifiées, 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.

La plupart des microalgues identifiées dans cette étude, sont précédemment signalées comme thermophiles (**Chaneva et al., 2007; Hindák et al., 2013**). Tandis que quelques diatomées sont considérées comme thermophiles ; tolérant des températures supérieures à 40 ° C (**Stockner, 1967**), la plupart sont benthiques. Dans notre travail, les principaux genres représentés sont *Navicula* et *Nitzschia*, comme dans les eaux thermales de Katlanovska Banja (**Stavreva-Veselinovska et Todorovska, 2010**) et l'île de Sao Miguel, les Açores (**Quintela et al., 2013**). Contrairement aux études précitées, dans la présente étude, les diatomées n'ont été observées que microscopiquement dans les tapis d'algues. Il est bien connu que les diatomées s'humilient mieux à basse température à celle des Cyanobactéries et des Chlorophycées. Ainsi, la présence de diatomées dans notre échantillon peut également être due aux cyanobactéries qui produisent des mucilage; C'est-à-dire que la matrice mucilagineuse environnante représente un microenvironnement adapté aux diatomées. (**Donner, 2013**).

L'intérêt scientifique des microalgues thermophiles répond aux faits suivants: (1) il existe une quantité considérable de espèces non encore décrite qui peut vivre a des temperature supérieure à 50 ° C; (2) ils pourraient très bien représenter des formes anciennes liées à l'origine et à l'évolution de la photosynthèse et des capacités de fixation d'azote (N₂), et (3) elles ont des potentielles utilisations dans diverses biotechnologies à haute température (**Castenholz, 1969**). Une myriade d'applications des algues identifiées a été lancée, comme la centrale électrique qui visait à utiliser la biomasse générée en tant que biocarburant.

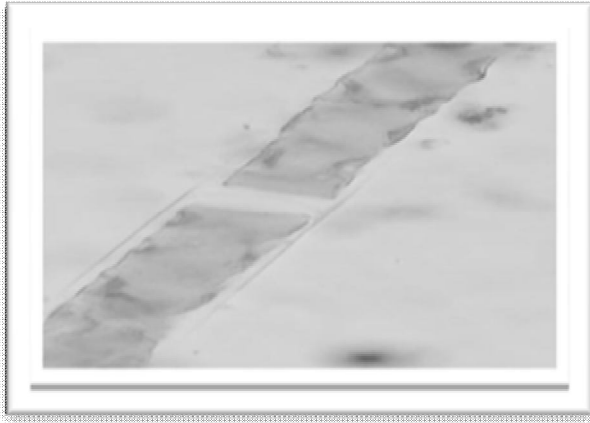
En tout cas, la présence de diverses espèces des algues microscopiques dans ces sources thermales algériennes, en fait des acteurs clés en tant que producteurs primaires dans ces écosystèmes chauds. L'isolement de plusieurs de ces espèces en culture est une étape importante pour une étude approfondie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

- **Les principaux genres des Algues microscopiques identifiées**

Les taxons vont maintenant être décrits :

Le genre Spirogyra

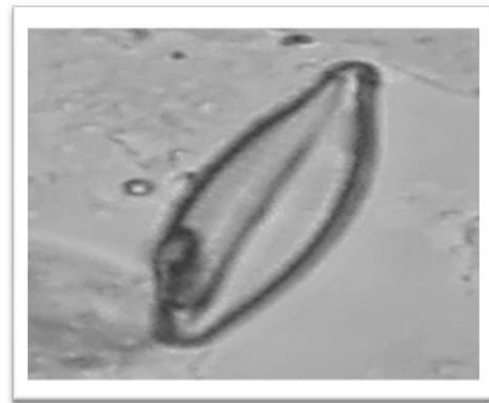
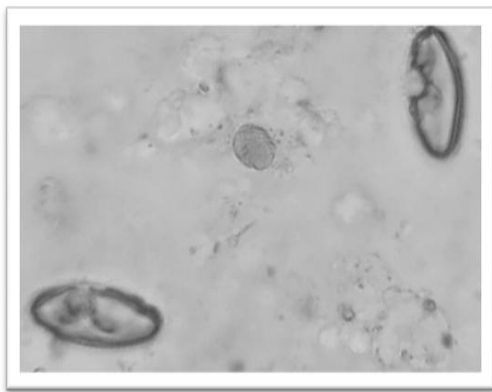
Microalgue verte, pas de ramification, chloroplaste en forme hélice « rubané ».



Photographie N°3 : Genre *Spirogyra* (G40).

Le genre Navícula

Navícula est une espèce Navícula, décrite **en 1880 par Grunow**. Diatomées pennées, la forme est appelée naviculoid (pôles arrondis)



Photographie N° 4: a) *Navícula sp1* (G100).

b) *Navícula sp2*(G100).

Le genre Chlorella

Chlorella est un genre d'algues vertes à une seule cellule appartenant au phylum Chlorophyta. Il est de forme sphérique, d'environ 2 à 10 µm de diamètre, et est sans flagelle.

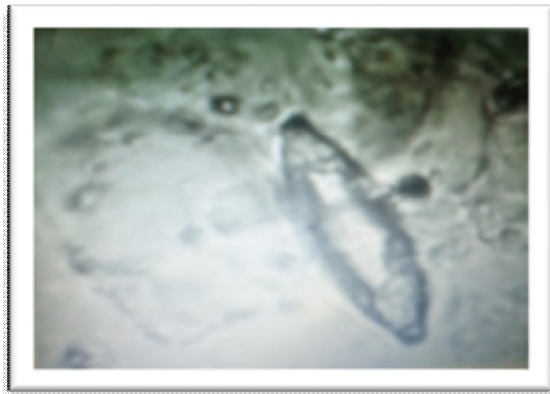


Photographie N°5 : Genre *Chlorella* (G100).

Le genre Diatoma

En vue connective, cellules sans renflement médian et sans septum dans la bande intercalaire, en forme de cigare en vue valvaire.

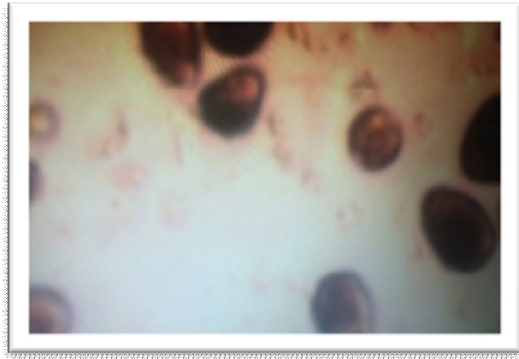
Les diatomées sont des algues de photosynthèse, elles ont un squelette siliceux (frustule) et se retrouvent dans presque tous les milieux aquatiques, y compris les eaux fraîches et marines, les sols, en fait presque partout humides.



Photographie N°6 : Genre *Diatoma* (G40)

Le genre Chlamydomonas

Chlamydomonas est une microalgue unicellulaire eucaryote. Ils sont de forme ovale, les cellules sont entourées d'une paroi cellulaire rigide, principalement formée de glycoprotéines, qui double la membrane plasmique. Environ 40% du volume cellulaire est occupé par le chloroplaste, cet organite est composé du stroma, des thylakoïdes et du pyrénéoïde



Photographie N°7 : genre *Chlamydomonas* (G100)

Tableau N°IX: Caractères principaux des genres de micro algues rencontrés

Espèces	<i>Spirogyra</i> <i>sp</i> <i>cosmarium sp</i>	<i>Navícula</i> <i>sp</i> <i>Nitzschia sp</i>	<i>Chlorella</i> <i>Sp₁ et sp₂</i> <i>Achnanthes sp</i>	<i>Diatoma</i> <i>sp</i> <i>Cymbolla</i> <i>sp</i>	<i>Chlamydomonas</i> <i>sp</i> <i>Klebsormidium</i> <i>flaccidum</i>
Thalle	coloniales	Pluricellulaire	Pluricellulaire	unicellulaire	Unicellulaire
Forme générale	filamenteux	trichomes non ramifiés	Filaments, trichomes non ramifiés	Bacilles	ovale
Hétérocystes	Non	Non	Oui	oui	Non
Mobilité	Presque toujours immobiles	Généralement mobiles	Généralement mobiles	mobile	Mobile

Conclusion

Et perspectives

Conclusion et Perspectives

Les microalgues, sont de plus en plus, ont un grand intérêt dans divers domaines comme domaine nutritionnel, elles peuvent produire en grande quantité des substances bioactive très importantes telles que les vitamines, protéines, sucres et lipides, et utilisables comme des ingrédients dans l'alimentation humaine et animal.

Ce travail a été initié dans le but de contribuer à une identification des micro-algues associées aux sources thermales de *Hammam Essalhine* et de *Hammam elknif* de la wilaya de Khenchela. La station thermale de Hammam Essalhine et La station thermale de Hammam knif présentent des températures élevée 65°C et 55°C respectivement. Elles se caractérisent par un pH neutre. Cette étude a été menée par une étude morphologique suivie d'un inventaire et de la richesse spécifique à cette station thermale.




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 13 espèces réparties en 10 genres. Dont le plus abondant était deux espèces de genre *Chlorella*, *Navicula* et *Nitzschia* accompagné de membres des genres *Spirogyra*, *Cosmarium*, *Chlamydomonas*, *Cymbella*, *Diatoma*, *Achnanthes*, *Klebsormidium*. Les échantillons d'Essalihine Khenchela étaient plus diversifiés, avec 11 morphotypes identifiés, Suivi par Hammam knif avec 06 morphotypes identifiés.

L'identification des algues microscopiques réalisées dans le cadre de ce travail s'est révélée 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.

Cette étude pourrait constituer une première voie pour constituer une base de données d'algues 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
-  Procéder à L'isolement des espèces identifiées ;
-  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.

***Référence
bibliographiques***

Référence Bibliographique

A

Aguilera, A., Souza-Egipsy, V., & Amils, R. (2012). *Photosynthesis in extreme environments*. Rijeka: Artificial Photosynthesis InTech Europe.28p

A.I.E.A. (2005). Radiological Conditions at the Former French Nuclear Test Sites in Algeria: Preliminary Assessment and Recommendations.STI/PUB/1215, Austria.8-10p

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

B

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

Becerra-Celis G., G. Hafidi, S. Tebbani., D. Dumur and A. Isambert.(2009). « Non-linear predictive control for continuous microalgae cultivation process in a photobioreactor », *ICARCV 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, Hanoi, Vietnam, December 17-20p.

Benemann, J.-R. (2008). Open Ponds and Closed Photobioreactors– Comparative Economics. In Benemann Associates and Manager International Network on Biofixation of CO₂ and Greenhouse Gas Abatement (réd), 5th Annual World Congress on Industrial Biotechnology & Bioprocessing, Chicago, 30 avril, 2008.11p

benharzallah fethi 2007. Guide touristique de khanchela p12-13- 14- 15

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

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.

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

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

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

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

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

Bourelly, P. (1985b). Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique. Tome III: Les algues Vertes. Editions N. Boubée et Cie, Paris.57p

C

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

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

Canter-Lund, H et Lund, J.W.G. (1995). Freshwater Algae : Their microscopic world explored. Biopres Limited, Bristol.23_26p

Castenholz RW (1969) Thermophilic blue-green algae and the thermal environment. *Bacteriol Rev* 33(4):476–504p

Castenholz RW (2008) Le rôle des cyanobactéries et autres phototrophes dans les écosystèmes des sources chaudes. *Press Therm Climat* 145:129–134p

Chaneva, G., Furnadzhieva, S., Minkova, K., & Lukavsky, J. (2007). Effect of light and temperature on the cyanobacterium *Arthronema africanum* – a prospective. 40p

Chisholm, S.W. (1995). The iron hypothesis : Basic research meets environmental policy. *Reviews of Geophysics*. 33p : 95RG00743.

Clément, G., Van Landeghem, H. (1970). Spirulina: ein günstiges Objekt für die Massenkultur von Mikroalgen. *Ber. Dtsch. Bot. Bd.* 83 (11): 559-565p.

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):523–534p

Connolly, J., Cadotte, M. W., Brophy, C., Dooley, A., Finn, J., Kirwan, L., (2011). Phylogenetically diverse grasslands are associated with pair wise interspecific processes that increase biomass. *Ecology*, 92, 1385–1392p.

Coste, S. (2008). III. Les algues, In CIRAD. *Ecofog*. 30-33p

Couté, A. (1995). « Diversité chez les microalgues », *Techniques sciences méthodes, génie urbain génie rural*, 1, 20-24 p.

Couté, A., Bernard, C. (2001). Les cyanobactéries toxiques. In: *Toxines d'algues dans l'alimentation*, Frémy, J. M. & Lassus, P. (Ed), Ifremer, Brest, 21-37p.

D

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

De La Noüe, J., Proulx, D. (1986). Intérêt des biomasses d'algues et d'invertébrés obtenues par recyclage. *Entropie* 130,131: 17-32p.

De La Noüe, J., Proulx, D., Dion, P., Gudin, C. (1990). Drugs and chemicals from aquaculture. *In*: N. DE PAUW et R. BILLARD (eds), Aquaculture Europe '89- Business joins science. EAS spec. publ. 12: 389-418p.

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

Donner, A. (2013). The case of Chroococciopsis: new phylogenetic and morphological insights into ecological important *Cyanobacteria* Bachelorthesis. Kaiserslautern, Alemania: Technische Universität Kaiserslautern.60-66p.

E

Ettl, H. (1978). Xanthophyceae. Ettl, H., Gerloff, J. et Heynig, H. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.55p

Ettl, H. (1983). Chlorophyta I (Phytomonadina). Ettl, H., Gerloff, J. Heynig, H. et Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart 80p

Ettl, H. et Gärtner, G. (1988). Chlorophyta II (Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales). Ettl, H., Gerloff, J. Heynig, H. et Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart175-180p

F

Fabrice, F. (2010). La production de biodiésel à la partir de micro algues: une technologie immature mais prometteuse 95-100p

Falkowski, PG., Katz, ME., Knoll, AH., Quigg, A., Raven, JA., Schofield, O., Taylor FJR.(2004). The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. *Science* 305:354–360p.

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

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

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

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

G

Germain, H. (1981). Flore des diatomées : eaux douces et saumâtres. Société nouvelle des éditions Boubée Paris 66-68p

Ghozzi K, Zemzem M, Ben Dhiab R, Challouf R, YahiaA, Omrane H, Ben Ouada H (2013). Screening of thermophilic microalgae and cyanobacteria from Tunisian geothermal sources. Journal Of Arid Environments. **97 ;14e17**

Gomez, N., Hualde, P.R., Licursis, M., Bauer, D.E., (2004). Spring phytoplankton of Rio de la Plata: a temperature 100-115p

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

H

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

Hindák, F., Kviderová, J., & Lukavský, J. (2013). Growth characteristics of selected thermophilic strains of cyanobacteria using crossed gradients of temperature and light. *Biologia*, 68, 830–837.

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

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

Huntley, M.E., Nonomura, A.M., De La Noüe, J. (1989). Algal culture systems. In: M.E.

HUNTLEY (ed), Biotreatment of agricultural wastewater. CRC Press, Boca Raton, Florida: 111-130p

I

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

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

Ionescu D, Hindiyyeh M, Malkawi H, Oren A (2010) Biogeography of thermophilic algae : insights from the Zerka Ma'in hot springs (Jordan). *FEMS Microbiol Ecol* 72(1):103–113p. doi:10. 1111/j.1574-6941.2010.00835.x

J

John, D.M. (1994). Alternation of generations in algae: its complexity, maintenance and evolution. *Biology Review*. 69: 275-291p. and Classification. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris. 300p

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

K

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

Kullberg, R.G., 1971. Algal distribution in six thermal spring effluents. *Transactions of the American Microscopical Society* 90, 412e434.

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

Kugrens, P. et Clay, B.L. (2003). Cryptomonads. Dans : *Freshwater Algae of North America Ecology and Classification*. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.50-55p

L

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

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

M

Macelroy, R.D. (1974). Some comments on evolution of extremophiles. *Biosystems*6:74-75p.

Michel, C. (2000). les algues les micro-algues.20p

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

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

Murata, N. (1989). Low-temperature effects on cyanobacterial membranes. J.49-66p

N

Nikulina, T. V., & Kociolek, J. P. (2011). Diatoms from hot springs from Kuriland Sakhalin Islands (Far East, Russia). In J. Seckbach, & J. P. Kociolek(Eds.), *The diatom world* (pp. 333–363). Amsterdam: Springer.

Noël, G. (2012). Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac Taabo (côte d’Ivoire)60p

Nozaki, H. (2003). Flagellated Green Algae. *Dans: Freshwater Algae of North America: Ecology* 200-250p

O

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

Ott, D.W. et Oldham-Ott, C.K. (2003). Eustigmatophyte, Raphidophyte and Tribophyte Algae. *Dans : Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification.* Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.330-345p

P

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

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

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

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

Q

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

Quintela, A., Almeida, S., Terroso, D., Ferreira da Silva, E., Forjaz, V., & Rocha, F. (2013). Diatom assemblages of thermal and mineral waters from volcanic environments in São Miguel Island, Azores. *Diatom Research*, 28, 407–417p.

R

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

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

Rosowski, J.R. (2003). Photosynthetic Euglenoids. *Dans : Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification*. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris. 400-450p

S

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

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

Sialve, B., Bernet, N., Bernard, O. (2013). Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel sustainable. *Biotechnology advances* 27:409–416p.

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

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

Starmach, K. (1974). Cryptophyceae, Dinophyceae, Raphidophyceae. *Flora Slodkowodna Polski*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.55-60p

Stavreva-Veselinovska, S., & Todorovska, A. (2010). Ecology of the diatomicflora in thermo-mineral springs of Katlanovska Banja in the Republic ofMacedonia. *Ecologia Balkanica*, 2, 1–6p

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

Stockner, J. G. (1967). Observations of thermophilic algal communities in MountRainier and Yellowstone National Parks. *Limnology and Oceanography*, 12,13–17p.

T

Thurman, H. V. (1997). *Introductory Oceanography*. New Jersey, USA: Prentice Hall college. 180-195p

V

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

W

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

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

Wetzel, R.G. (2001). Limnology : Lake and River Ecosystems. 3rd Edition. Academic Press, London. 19p

Z

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

Les sites web

source:<http://www.sante-environnement-travail.fr/IMG/arton1681.jpg>

source:<http://www.tetes-chercheuses.fr/images/img48316c5aac323.jpg>

source:<http://www.cavehill.uwi.edu/FPAS/bcs/b114apl/Scenedesmus.jpg>

source:<http://www.thecamreport.com/images/Spirulina.jpg>

Algaebase.org

Annexes

Annexe I

Matériel et produits:

Appareillages :

Multi paramètre

Four Pasteur.

Un microscope optique équipé d'un appareil photo numérique,

Réfrigérateur

Glacière.

Verreries :

Les Flacons en verre brun

Pipettes Pasteur stériles

Boîte 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

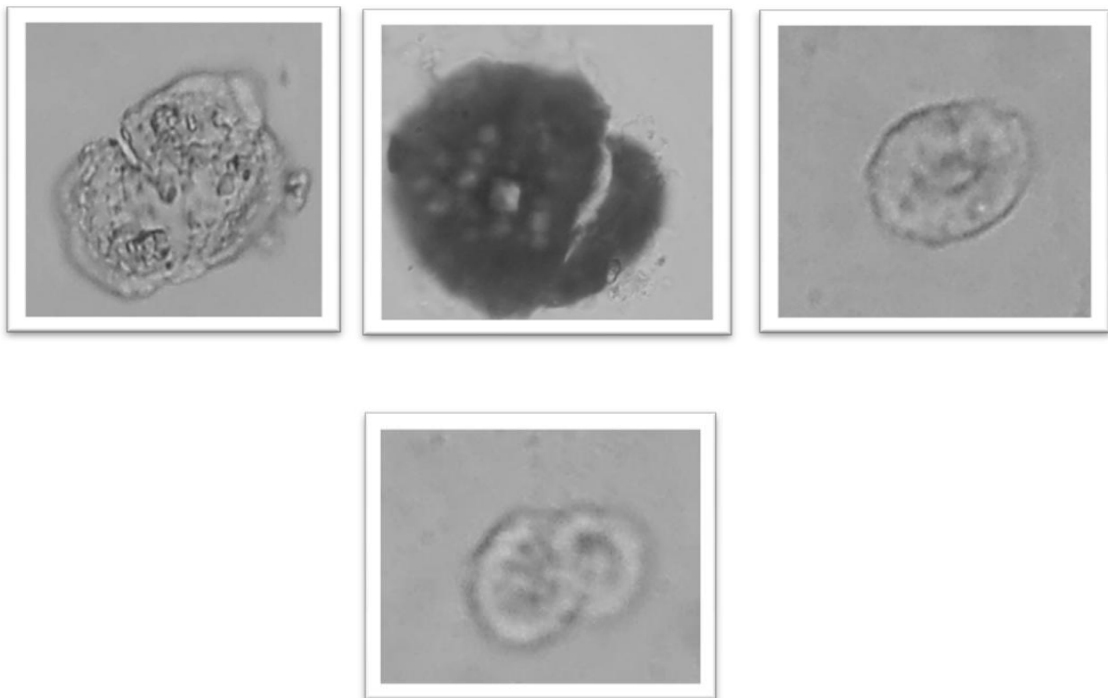
200 ml de H₂O distillée

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

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

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

Annexe II



Photographie: Espèces non identifiées (G100, G40).

Résumé

Identification des algues microscopiques des eaux des sources thermales de l'Est Algérien

Résumé

Les sources géothermiques 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 des algues microscopiques. Dans ce travail, nous avons enquêté sur la diversité des algues microscopiques 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 °C et 55 °C respectivement. Elles se caractérisent par un pH neutre.

Les stations thermales de Hammam Essalhine et Hammam knif à Khenchela n'ont fait l'objet que de quelques études portant sur l'inventaire des algues microscopiques. Le but de ce travail, et justement fait pour d'une part identifié les algues microscopique ; et d'autres part d'améliorer les connaissances sur les algues de ses écosystèmes extrêmes.

Le travail a consisté à faire une étude descriptive basée sur des caractères morphologiques suivis d'un inventaire systématiques des espèces rencontrées. L'étude descriptive a permis d'identifier 13 espèces réparties en 10 genres. Dont le plus abondant était deux espèces de genre *Chlorella*, *Navicula* et *Nitzschia* accompagné de membres des genres *Spirogyra*, *Cosmarium*, *Chlamydomonas*, *Cymbella*, *Diatoma*, *Achnanthes*, *Klebsormidium*. Les échantillons d'Essalihine Khenchela étaient plus diversifiés, avec 11 morphotypes identifiés, Suivi par Hammam knif avec 06 morphotypes identifiés.

Nos résultats permettent d'étudié la biodiversité des algues microscopique dans les sources hydrothermales dans l'Est Algérien principalement à la wilaya de Khenchela dans le but de reconnaître la qualité microbiologique des eaux des ces sources ainsi que leur intérêt en biotechnologie.

Mots clés: algue microscopique, diversité, Khenchela, sources hydrothermales, thermophiles,

Identification of microscopic algae in the thermal springs of eastern Algeria

Abstract

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 microscopic algae. In this work, we investigated the diversity of microscopic algae of two thermal springs in the wilaya of khenchela (eastern Algeria). The Hammam Essalhine hot spring and The Hammam Knif hot spring have high temperatures 65° C and 55° C respectively. They are characterized by a neutral pH.

The hot springs of Hammam Essalhine and Hammam knif in Khenchela have been the subject of only a few studies dealing with the inventory of microscopic algae. The purposes of this work, and precisely made for on the one hand identified microscopic algae; And on the other hand to improve knowledge about the algae of these extreme ecosystems.

The work consisted of a descriptive study based on morphological characteristics followed by a systematic inventory of the species encountered. The descriptive study identified 13 species in 10 genera. Of which the most abundant were two species of genus *Chlorella*, *Navicula* and *Nitzschia* accompanied by members of the genera *Spirogyra*, *Cosmarium*, *Chlamydomonas*, *Cymbella*, *Diatoma*, *Achnanthes*, *Klebsormidium*. The samples from Essalihine hot spring were more diverse, with 11 identified morphotypes, followed by Hammam knif with 06 identified morphotypes.

Our results allow us to study the biodiversity of microscopic algae in hydrothermal sources in eastern Algeria mainly in the wilaya of Khenchela in order to recognize the microbiological quality of the waters of these sources as well as their interest in biotechnology.

Key words: diversity, hot spring, Khenchela, microscopic algae, thermophilic,

[Tapez le titre du document]

تحديد الطحالب المجهريّة في الينابيع الحراريّة في شرق الجزائر

ملخص

ينابيع المياه الساخنة في الجزائر موجودة منذ الإمبراطورية الرومانية. وهي أساسا موجودة في شرق الجزائر ويسكنها الكائنات الحية الحراريّة، بما في ذلك الطحالب المجهريّة. في هذا البحث ، قمنا بدراسة تنوع الطحالب المجهريّة 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 65 درجة مئوية و 55 درجة مئوية، على التوالي. وهي تتميز ب pH محايد.

ينابيع المياه الساخنة لحمام الصالحين و ينابيع المياه الساخنة لحمام الكنيف كانت محور القليل من الدراسات للتحديد تنوع من الطحالب المجهريّة. الغرض من هذا العمل، أولا التعرف على الطحالب المجهريّة. ومن جهة أخرى لتحسين المعارف حول الطحالب في هاته الأنظمة البيئية القاسية.

ترتكز الدراسة في هذا العمل على دراسة وصفية و الخصائص المورفولوجية للأنواع المصادفة. الدراسة الوصفية حددت وجود 13 نوعا تنتمي لـ 10 أجناس. الأجناس الأكثر تواجدا هي *Chlorella, Navicula* و *Nitzschia* بنوعين تليها *Spirogyra, Cosmarium, Chlamydomonas, Cymbella, Diatoma, Achnanthes, Klebsormidium* ينابيع حمام الصالحين كانت أكثر تنوعا بـ 11 نوع متنوعا بمنبع حمام الكنيف بـ 06 أنواع

نتائج ابحاثنا تسمح بدراسة التنوع البيولوجي للطحالب المجهريّة في منابع المياه الساخنة في شرق الجزائر و بشكل رئيسي في ولاية خنشلة وذلك من أجل التعرف على النوعية الميكروبيولوجية للمياه لهذه المصادر وكذلك اهمياتها في مجال التكنولوجيا الحيوية.

كلمات المفتاحية: التنوع، خنشلة، الطحالب المجهريّة ، الكائنات الحية الحراريّة، ينابيع المياه الساخنة

Présenté par : HEZIL Mabrouka
LALAOUNA Sara

Date de soutenance: 22 / 06 / 2017

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

Identification des algues microscopiques des eaux des sources thermales de l'Est Algérien

Résumé

Les sources géothermiques 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 des algues microscopiques. Dans ce travail, nous avons enquêté sur La diversité des algues microscopiques 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 55°C et 65 °C respectivement. Elles se caractérisent par un pH neutre.

Les stations thermales de Hammam Essalhine et Hammam knif à Khenchela n'ont fait l'objet que de quelques études portant sur l'inventaire des algues microscopiques. Le but de ce travail, et justement fait pour d'une part identifié les algues microscopique ; et d'autres part d'améliorer les connaissances sur les algues de ses écosystèmes extrêmes.

Le travail a consisté à faire une étude descriptive basée sur des caractères morphologiques suivis d'un inventaire systématiques des espèces rencontrées. L'étude descriptive a permis d'identifier 13 espèces réparties en 10 genres. Dont le plus abondant était deux espèces de genre *Chlorella*, *Navicula* et *Nitzschia* accompagné de membres des genres *Spirogyra*, *Cosmarium*, *Chlamydomonas*, *Cymbella*, *Diatoma*, *Achnanthes*, *Klebsormidium*. Les échantillons d'Essalihine Khenchela étaient plus diversifiés, avec 11 morphotypes identifiés, Suivi par Hammam knif avec 06 morphotypes identifiés.

Nos résultats permettent d'étudié la biodiversité des algues microscopique dans les sources hydrothermales dans l'Est Algérien principalement à la wilaya de Khenchela dans le but de reconnaître la qualité microbiologique des eaux des ces sources ainsi que leur intérêt en biotechnologie.

Mots clés: algue microscopique, diversité, Khenchela, sources hydrothermales, thermophiles.

Devant le jury :

Présidente :	M^r. BOUSSAA A.	(MAB)	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela
Encadreur :	M^{elle} BOUTARFA S.	(MAA)	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela
Examineur :	M^r. ABAIDIA A.	(MAB)	Univ. Abbès Laghrour - Khenchela