

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة محمد بوضياف/المسيلة
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA



FACULTEDES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE ET BIOCHIMIE

MEMOIRE : MASTER ACADEMIQUE

FILIERE: BIOLOGIE

OPTION: MICROBIOLOGIE APPLIQUÉE

Présenté par

ABOUFARES Nadine & HAMD AOUI Ibtissam

Thème :

Etude bibliographique de la diversité bactérienne des écosystèmes thermaux

DEVANT LE JURY :

BENSEMANE Latifa	MCB	Université de M'sila	Encadreur
KHENICHE Abdelhakim	MCB	Université de M'sila	Examineur
BENSLAMA Abderrahim	MAA	Université de M'sila	Examineur

Promotion : 2019-2020

Remerciements

Louange à Dieu le Tout-Puissant pour tout ce qui nous a donné pour que nous puissions terminer ce travail.

*Que ce soit d'un point de vue scientifique ou humain, la réalisation de ce projet de fin d'études fut pour nous une expérience d'une valeur immense. Notre première pensée va tout naturellement aux encadreurs Madame **BENSEMANE Latifa** pour leurs encadrements ainsi que la confiance qui nous ont témoignée en nous confiant ce travail attrayant. Nous avons apprécié leur grande chaleur humaine et leur disponibilité. Merci pour leurs encouragements, et disponibilités.*

Nos remerciements vont également à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Nous n'oublions pas de remercier toute notre promotion du Master 2019, avec qui on a passé des moments difficiles et d'autre agréable grâce à leur sympathie et esprit d'équipe.

Nous voudrions également remercier vivement les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

- ✓ *A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation et de ses dévouements : ma chère mère ;*
- ✓ *A celui qui s'est changé la nuit en jour pour m'assurer les bonnes conditions : mon cher père ;*
- ✓ *A ma famille qui m'a toujours soutenue **Djalila, Soussene, Selma et Anas** ;*
- ✓ *A ma puce **Abir** pour sa fidélité, sa tendresse et se spensées 'géniales' quotidiennes !*
- ✓ *A mon ami **Merwane** qui m'a toujours aidé et soutenu ;*
- ✓ *A tous mes amis et à tous les étudiants de microbiologie de la promotion 2019/2020.*

Nadine

Dédicace

Louange à Dieu qui a réussi cette œuvre

Pour l'instant, c'est une question de fierté et de fierté que je dédie ce travail à l'abondance d'amour et à l'abondance de donner sans attendre ni en retour pour ceux qui m'ont soutenu tout au long de ma vie à ceux qui m'ont submergé de sa tendresse et de son amour à qui je dis, je ne réaliserai pas son droit.

***Ma mère** Je lui souhaite une santé et un bien-être continus.*

À ceux qui ont quitté le monde sans adieu ni retour à celui dont le corps était couvert de poussière et m'a privé des tons de sa voix.

*Esprit pur de **mon père**, que Dieu ait pitié de lui, et je demeurerai dans ses vastes jardins*

*A mon soutien, ma consolation, mon amour dans la vie, et la source de mon bonheur, mes frères, **Yakoub, Ayman, Salah El-Din**, et mes sœurs **khouloud et sadjida***

*A ceux avec qui j'ai vécu les plus beaux moments de mes années à l'université à mes compagnes et amis **Nada, Ahlam**, et **warda**, surtout à celle qui a partagé la peine de préparer ce mémo, ma chère amie **Nadine***

*Bien sûr, je n'oublie pas mon oncle **Hammak Aissa** pour son souci constant et ses encouragements pour moi*

*A tous mes amis de spécialités Microbiologie Appliquée de la promotion **2019-2020***

Ibtissam

Liste des abréviations

ADN : Acide **d**ésoxyribonucléique

ARN : Acides **r**ibonucléiques

PCR : PolymeraseChain **R**eaction

PH : Potentiel **h**ydrogène

Liste des Figures

Figure 1. Terminologie des extrémophiles en fonction de la température.....	3
Figure 2. Quelques phylums majeurs de bactéries basés sur des comparaisons de séquences de gènes d'ARN ribosomique 16S.....	4
Figure 3. Exemples d'écosystèmes naturels des thermophiles. A. Cheminée d'un passage hydrothermique sous-marin du Pacifique ; B. Octopus Spring, parc national de Yellowstone, Etats-Unis ; C. sources chaudes terrestres à Viterbe, Italie ; D. Événements hydrothermaux en eau profonde à Okinawa Au Japon	6
Figure 4. Centrale électrique en Islande (Canganella 2012)	7
Figure 5. Limites supérieures de température pour le métabolisme énergétique. Phototrophie, <i>Synechococcus lividus</i> (bactéries, cyanobacteria) ; chimioorganotrophie, <i>Pyrodictium occultum</i> (Archée) chimiolithotrophie avec le soufre élémentaire comme donneur d'électrons, <i>Acidianus infernus</i> (Archée) chimiolithotrophie avec le fer ferrique comme donneur d'électrons, <i>Ferroglobus placidus</i> (Archée) ; chimiolithotrophie avec l'hydrogène gazeux comme donneur d'électrons, <i>Methanopyrus kandleri</i> (archée, 122°C) (Madigan et al., 2010).....	9
Figure 6 . localisation de Hammam Guergour (Sétif – Algérie)	16
Figure 7. Localisation des Sources hydrothermales. A. Righa, B. Debagh, C. Bouhnifia, D. Bouhdjar, E. Rabi.....	17
Figure 8. A : location géographique des sites de B : hammam Melouane et C : Hammam Righa	18
Figure 9. localisation géographique de hammam Debagh	19

Liste des Tableaux

Tableau 1: Tableau récapitulatif les études traitées.....	20
Tableau 2: Les principales bactéries isolées de neuf (09) sources chaudes algérienne.....	26

تتمتع الكائنات الحية الدقيقة المحبة للحرارة الأصلية في البيئات الحارة ، مثل الينابيع الأرضية الحارة ، بقدرات تكيفية جزئية مثيرة للاهتمام ، وبالتالي تشكل مصدرًا مهمًا للجزيئات النشطة بيولوجيًا غير التقليدية الناتجة عن آليات كيميائية حيوية وجزئية فريدة.

في الجزائر، تم إجراء القليل من الدراسات حول الينابيع الحرارية ومحبيات الحرارة. في هذا العمل الجيولوجي ، تم الإبلاغ عن نتائج الدراسات المختلفة التي أجريت في السنوات الأخيرة حول عزل وتحديد البكتيريا المحبة للحرارة في الينابيع الحرارية المختلفة في الجزائر ونشاطها الأنزيمي والمضاد للميكروبات.

من تحليل النتائج ، من الدراسات المختلفة المستخدمة ، يظهر تنوع كبير في البكتيريا المحبة للحرارة وإبراز هيمنة جنس العصيات جميع الينابيع الحرارية المدروسة. هذا يجعل من الممكن استنتاج أن *Bacillus sp* يمكن أن يكون ، في الواقع ، مصدرًا لإنتاج العديد من الإنزيمات المقاومة للحرارة والمركبات المضادة للميكروبات.

الكلمات المفتاحية: الينابيع الحرارية، الحرارة، العصوية، الإنزيمات المقاومة للحرارة، مركبات مضادات الميكروبات.

Abstract

Thermophilic microorganisms native to hot environments, such as terrestrial hot springs, have interesting molecular adaptive capacities and thus constitute an important source of unconventional bioactive molecules resulting from unique biochemical and molecular mechanisms.

In Algeria, few studies on thermal springs and thermophiles have been carried out. In this bibliographic work, the results of various studies carried out in recent years on the isolation and identification of thermophilic bacteria in various thermal springs in Algeria and their enzymatic and antimicrobial activity are synthetically reported.

From the analysis of the results, from the various studies used, it emerges a considerable diversity of thermophilic bacteria and the highlighting of the dominance of the genus *Bacillus* in all the thermal springs studied. This makes it possible to deduce that *Bacillus* sp. could be, in fact, a source of production of various thermostable enzymes and antimicrobial compounds.

Keywords: thermal springs, thermophiles, *Bacillus*, thermostable enzymes antimicrobial compounds.

Résumé

Les microorganismes thermophiles autochtones des environnements chauds, tels que les sources thermales terrestres, possèdent des capacités d'adaptations moléculaires intéressantes et constituent ainsi une importante source de molécules bioactives peu conventionnelles issues de mécanismes biochimiques et moléculaires uniques.

En Algérie, peu d'études sur les sources thermales et des thermophiles ont été réalisées. Dans ce travail bibliographique, il est rapporté synthétiquement les résultats de différentes études conduites durant ces dernières années sur l'isolement et l'identification des bactéries thermophiles dans différentes sources thermales en Algérie et leur activité enzymatique et antimicrobienne.

De l'analyse des résultats, des différentes études exploitées, il ressort une diversité considérable de bactéries thermophiles et la mise en relief de la dominance du genre *Bacillus* dans toutes les sources thermales étudiées. Ceci permet de déduire que *Bacillus sp*, pourrait être, en effet, une source de production de divers enzymes thermostables et des composés antimicrobiens.

Les mots clés : sources thermales, thermophiles, *Bacillus*, enzymes thermostables composés antimicrobiens.

Table de matières

LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES ABREVIATIONS	
RESUME	
INTRODUCTION	1
Chapitre I : Revue bibliographique	3
I.1. La thermophile.....	3
I.2. Phylogénie des bactéries thermophiles.....	4
I.3. Niches écologiques des thermophiles.....	4
I.3.1. Ecosystèmes naturels.....	5
I.3.1.1. Ecosystème terrestres.....	5
I.3.1.2.Ecosystème marines.....	5
I.3.2.Ecosystèmes artificiels.....	6
I.4. Diversité taxonomique et métabolique des micro-organismes thermophiles.....	7
I.4.1. Bactéries thermophiles hétérotrophes.....	7
I.4.2.Bactéries thermophiles phototrophes.....	8
I.5. Bases moléculaires du thermophile	9
I.5.1.Protéines	9
I.5.2. Les lipides.....	10
I.5.3. Les acide nucléiques	10
I.6. Biotechnologies des thermophiles	10
I.6.1. Applications des thermophiles sur les biomolécules.....	11
I.6.1.1. Enzymes.....	11
I.6.1.1.1. Enzyme de l'ADN	11
I.6.1.1.2. Protéase.....	12
I.6.1.1.3.Lipase.....	12
I.6.1.2. Solutés compatibles	13
I.6.1.3. Lipides et peptides	13
I.6.2. Applications basées sur cellules entières	12
I.7. Les avantages des thermophiles.....	14
Chapitre II. Etude comparative	16

Chapitre III : Synthèse	21
III.1. Analyse physico-chimique des sources thermales étudiées	21
III.2. La diversité des bactéries thermophiles :	23
CONCLUSION GENERALE &PERSPECTIVE	26
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

Introduction

INTRODUCTION

La température est un paramètre vital pour la croissance microbienne. Les microorganismes peuvent préférer différentes plages de température pour survivre par conséquent, les bactéries sont des procaryotes omniprésents et très diversifiés qui peuvent survivre dans des habitats défavorables. La plupart des bactéries présentes dans l'environnement sont encore inexplorées et restent donc obscures pour leurs fonctions écologiques. Les bactéries thermophiles sont des microbes qui habitent principalement les sources chaudes, vivent et survivent à des températures comprises entre 45 et 122 °C (source ?). Ces organismes thermophiles ont reçu l'attention des microbiologistes et des biochimistes depuis le premier isolement bactérien thermophile par **Miquel (1888)**. La principale raison en est leur structure protéique stable et leur résistance à divers réactifs chimiques.

L'une des régions thermophiles est la ressource en eau chaude ou la région géothermique. Les ressources en eau chaude, qui se composent principalement d'océans et d'écosystèmes marins, sont situées dans différentes parties du monde. La caractéristique attractive, des ressources en eau chaude, est l'intégrité de l'écosystème, c'est-à-dire la diversité des organismes et la stabilité moléculaire des composants biochimiques (**El-Gayar et al., 2017 ; Baltaci et al., 2017**).

L'Algérie est un pays riche par sa diversité écologique et géologique. Il existe des écosystèmes extrêmes tels que les sebkhas, les sols désertiques et surtout les sources chaudes, exploitées pour leurs bienfaits, notamment thérapeutiques. Cependant, ces sources n'ont été que très peu étudiées d'un point de vue biodiversité et ce n'est que récemment qu'on s'est intéressé aux microorganismes habitants ces environnements (**Bouanane-Darenfed et al., 2011**).

L'Algérie compte plus de 240 sources chaudes qui augmentent en nombre au fur et à mesure qu'on se rapproche du Nord-Est Algérien avec des températures mesurées à leur émergence, allant de 19 à 98°C (**Saibi 2009**).

L'intérêt pour l'isolement et la caractérisation de souches bactériennes indigènes à ces milieux et de leurs enzymes thermostables est de plus en plus accentué dans la perspective d'augmenter leurs applications industrielles, biotechnologiques et écologiques.

L'objectif du thème initialement retenu (Activité antibactérienne chez des bactéries thermophiles aérobies isolées de source chaude terrestre : hammam Soukhna-Sétif), ne pouvant être

réalisé compte tenu de la situation sanitaire liée à la pandémie COVID19, s'est vue réorientée vers une étude bibliographique des travaux effectués sur les sources thermales.

Notre travail est structuré en trois parties, dont, la première est une revue bibliographique traitant les thermophiles, leur phylogénie, leur écologie, leur diversité taxonomique et métabolique, leur adaptation physiologique qui suscitent l'intérêt biotechnologique, s'ensuivra alors d'un exposé des différentes applications des thermophiles et de leurs molécules en la biotechnologie. La seconde partie relate les études antérieures sur la diversité bactériennes de différentes sources thermales en Algérie. Enfin, la troisième partie expose une synthèse des résultats passés en revue, suivie par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I

Revue bibliographique

I.1. La thermophile

La température est une variable importante dans notre environnement. Pour cette raison, on classe les organismes en fonction de leur comportement vis à vis de la température. Les organismes sont repartis en trois catégories : les psychrophiles, les mésophiles et les thermophiles (figure1) (Cayol et al., 2011). Il y a quelques décennies, les organismes thermophiles (du grec *thermê*, chaleur et *philein*, aimer) sont définis comme des organismes ayant besoin d'une température élevée pour se développer. Plusieurs définitions ont été proposées pour définir la thermophilie. La plus reconnue est celle qui a été proposée par **Thomas Brock**, le microbiologiste à l'origine de la découverte des micro-organismes thermophiles. Selon cette définition, un thermophile est un être vivant dont la température optimale de croissance se situe au-dessus de 60°C.

D'une manière générale, les microorganismes thermophiles peuvent être définis sur la base de la nomenclature suivante :

- ✓ **Les thermophiles modérés**, dont les conditions optimales de croissance se situent entre 55 et 65°C.
- ✓ **Les thermophiles extrêmes**, dont la température optimale de croissance est comprise entre 65 et 80°C.
- ✓ **Les hyperthermophiles**, dont la température optimale de croissance est supérieure à 80°C (Alain et al., 2010).

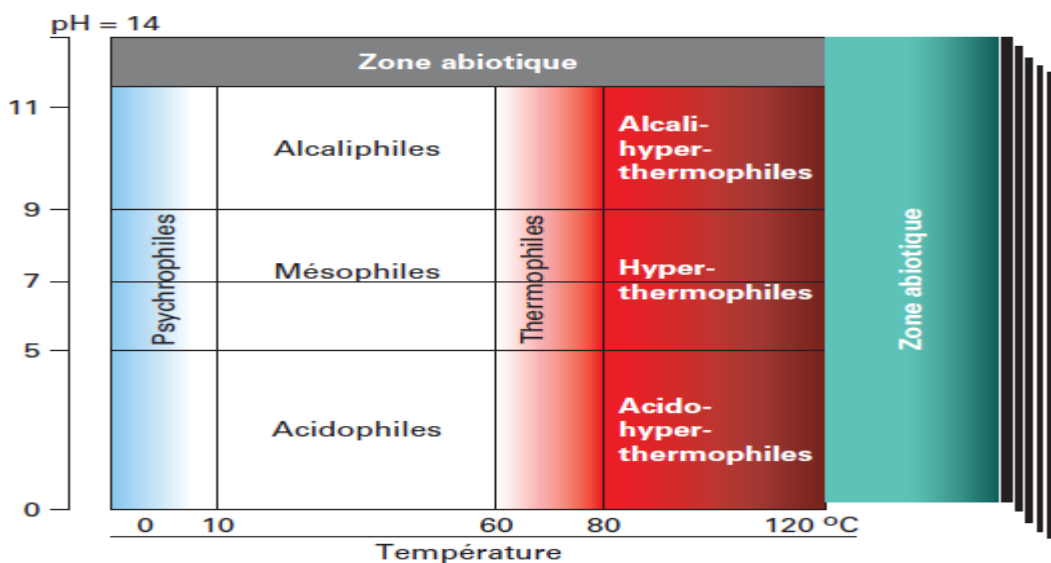


Figure 1. Terminologie des extrêmophiles en fonction de la température (Querellou et Guzenec, 2010).

I.2. Phylogénie des bactéries thermophiles

De nombreuses lignées majeures, appelées phyla, de bactéries ont été identifiées de par des études de cultures en laboratoires, mais bien d'autres ont été identifiées à partir de la récupération et du séquençage des gènes de l'ARN ribosomal (ARNr) des communautés microbiennes dans les habitats naturels.

La **figure 2** donne un aperçu de la phylogénie des principaux phylums de bactéries. Sur la base de cette phylogénie, seuls trois phylums contiennent des hyperthermophiles (*Aquificae*, *Thermotogamaritima* et *Thermotogae*), alors que les thermophiles sont présents dans plusieurs phylums, y compris les *cyanobacteria*, *Firmicute* et *Actinobacteria* (Madigan *et al.* 2010).

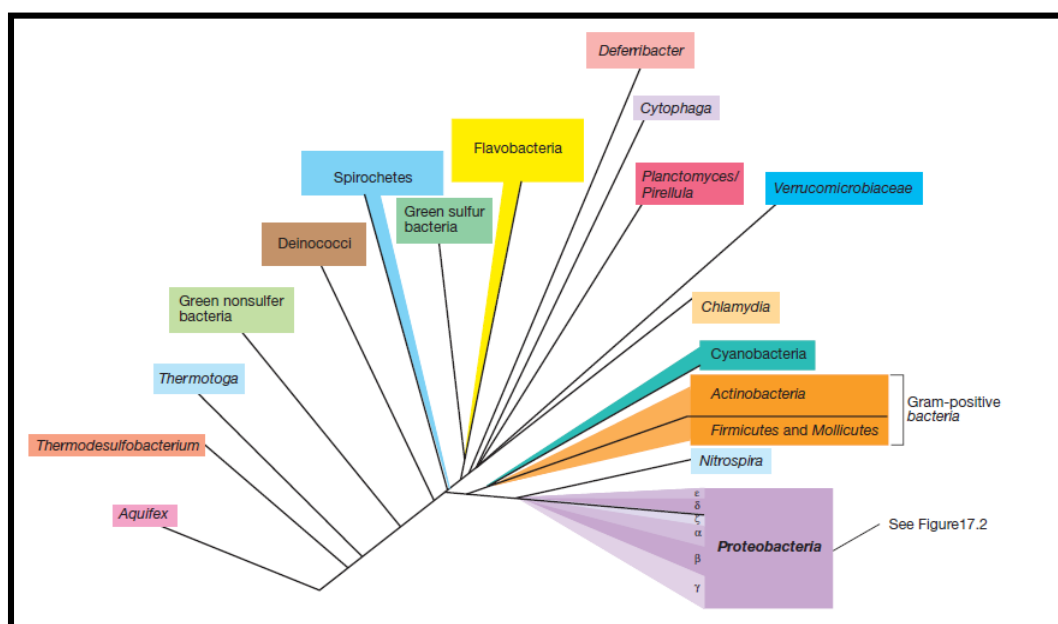


Figure 2. Quelques phylums majeurs de bactéries basés sur des comparaisons de séquences de gènes d'ARN ribosomique 16S (Madigan *et al.*, 2010).

I.3. Niches écologiques des thermophiles

Dans la nature, les microorganismes thermophiles et les hyperthermophiles sont généralement trouvés associés aux habitats géothermiques naturels, mais aussi aux environnements artificiels qui présentent des températures élevées.

I.3.1. Ecosystèmes naturels

I.3.1.1. Ecosystème terrestres

Les habitats géothermiques naturels sont largement répandus dans le monde. Les zones géothermiques terrestres peuvent généralement être divisées en deux classes selon la source de chaleur.

- ✓ Un type concerne le champ à haute température situé dans des zones volcaniques actives et ayant une chambre magmatique à une profondeur de 2 à 5 km comme source de chaleur. Il se caractérise généralement par des émissions de vapeur et de gaz volcaniques à la surface avec de l'hydrogène sulfuré abondant, qui est ensuite oxydé, d'abord en soufre, puis en acide sulfurique.
- ✓ L'autre type concerne le champ à basse température situé à l'extérieur de la zone volcanique active et chauffé par des coulées de lave profondes ou par des chambres de magma mortes

Dans ces zones géothermiques terrestres la nature de l'eau va dépendre des roches traversées et elle est généralement associée à une activité volcanique. La température de l'eau *in situ* sera fonction de la profondeur d'origine pour atteindre des températures inférieures à 100°C et des pH acides ou basiques à la surface de la terre. C'est le cas des sources chaudes localisées en Islande, dans le Parc de Yellowstone aux Etats-Unis, en Nouvelle-Zélande, en Algérie, etc. (figure3) (Canganella ,2012).

I.3.1.2. Ecosystème marines

La mer profonde est généralement froide, mais il est connu qu'il existe des zones d'eau surchauffée et une croûte océanique volcanique encore chaude répandue sous les flancs de la dorsale médio-océanique et d'autres structures rocheuses, ainsi que des eaux océaniques peu profondes chauffées par géothermie. Certains environnements chauds naturels représentatifs sont illustrés à la figure 3 (Canganella, 2012).

Le fluide hydrothermal est riche en composés réduits tels que H_2S , CH_4 , NH_4^+ ainsi qu'en éléments métalliques tels que Mn^{2+} , Fe^{2+} , Li^+ , Cd^{2+} , Cu^{2+} et Zn^{2+} . Le mélange de ce fluide avec l'eau de mer froide ($2\text{ }^\circ\text{C}$) provoque la précipitation de divers sulfures métalliques et de sulfate de calcium anhydre, origine des « fumeurs » (Figure 3A) et « diffuseurs », qui constituent progressivement les cheminées hydrothermales (Minic *et al.*, 2006).

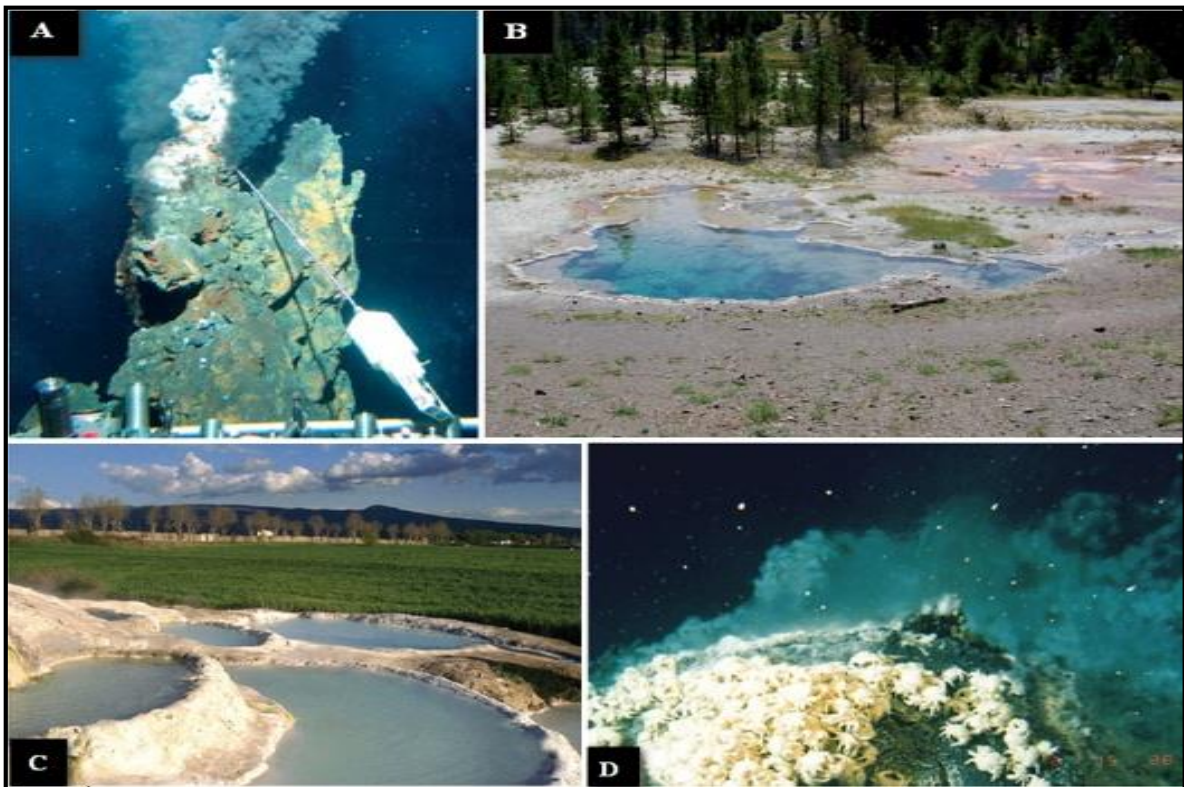


Figure 3 : Exemples d'écosystèmes naturels des thermophiles. **A.** Cheminée d'un passage hydrothermiquesous marin du Pacifique ; **B.** Octopus Spring, parc national de Yellowstone, Etats-Unis ; **C.** sources chaudes terrestres à Viterbe, Italie ; **D.**Événements hydrothermaux en eau profonde à Okinawa Au Japon[A-B (Ferrera et Reysenbach, 2007) ; C-D (Canganella ,2012).

I.3.2. Ecosystèmes 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, les bioréacteurs et les chauffe-eaux, comme montré dans la figure 4 (ferrera et Reysenbach, 2007).



Figure 4. Centrale électrique en Islande (Canganella 2012).

I.4. Diversité taxonomique et métabolique des micro-organismes thermophiles

Les micro-organismes procaryotes thermophiles et hyperthermophiles isolés des zones d'activités géothermales terrestres et marines appartiennent aux deux domaines *Bacteria* et *Archaea*. Ces procaryotes présentent des caractéristiques physiologiques et métaboliques très diverses et interviennent dans la plupart des grands cycles biogéochimiques. Parmi les deux domaines, les bactéries sont la plus répandues dans la plupart des environnements thermiques, et bien que leur limite supérieure de vie ne soit pas aussi élevée qu'*Archaea*, elles peuvent prospérer à des températures supérieures à 80° C et comprennent des phototrophes, des chimiolithotrophes, des autotrophes et des hétérotrophes (Ferrera et Reysenbach, 2007).

I.4.1. Bactéries thermophiles hétérotrophes

La majorité des microorganismes à haute température sont des hétérotrophes ou des autotrophes facultatifs se trouvent dans Les bactéries hyperthermophiles de la famille *Aquificaceae*, *Thermotogaceae* et *Thermodesulfobacteriaceae*. Sans surprise, les composés organiques les plus courants catabolisés à des températures élevées sont les glucides et les peptides. Cependant, certains thermophiles et hyperthermophiles oxydent également les acides organiques de faible poids moléculaire et de nombreux thermophiles catabolisent les hydrocarbures comme sources de carbone et d'électrons (Schaechter, 2009). Parmi ceux-ci, un seul groupe hétérotrophe peut être défini comme hyperthermophile (croissance supérieure à 80 C°) : les Thermotogales. Ces thermophiles ont une gaine, une « toge », qui entoure la cellule. Thermotoga a été isolé des événements en eau profonde, des sources terrestres et des têtes de puits de production pétrolière. Thermotoga spp. Sont fermentatifs et se développent mieux en anaérobie

lors de l'utilisation du thiosulfate comme accepteur d'électrons. Un autre groupe de thermophiles hétérotrophes obligatoires sont les Thermales, où *Thermus aquaticus*, d'abord isolé d'une source chaude alcaline dans le parc national de Yellowstone, est surtout connu pour son acide désoxyribonucléique (ADN) polymérase (**Ferrera et Reysenbach, 2007**).

I.4.2. Bactéries thermophiles phototrophes

La plupart des systèmes hydrothermaux marins sont situés dans la zone aphotique et les phototrophes thermophiles sont limités à des températures ≤ 73 ° C à pH circumneutre à alcalin et ≤ 50 ° C dans les systèmes acides en dessous de pH 5. En effet, des études de cultures pures de thermophiles et d'hyperthermophiles ont montré que divers thermophiles sont capables d'une grande variété de modes de vie métaboliques. Collectivement, les thermophiles connus peuvent utiliser comme donneurs d'électrons une variété de composés organiques simples (par exemple, méthane, formiate et acétate) et complexes ainsi que des composés inorganiques, tels que l'hydrogène (H_2), le monoxyde de carbone (CO), l'ammoniac (NH_3) ; composés soufrés réduits (H_2S , S^0 , $S_2O_3^{2-}$); et les métaux réduits (Fe^{2+} , As^{3+}). Parmi ces métabolismes, l'hydrogénotrophie, les oxydations de soufre, les respirations organiques et les fermentations sont particulièrement largement distribuées (**Hedlund et al., 2016**).

I.4.3. Bactéries thermophiles chimiolithoautotrophes

Certaines bactéries sont capables de fixer le dioxyde de carbone en utilisant de l'énergie chimique (chimiolitho-autotrophie). En conséquence, les sources d'énergie des hyperthermophiles peuvent être simples : la plupart des espèces présentent un mode de nutrition chimiolithoautotrophique. Les types de respiration anaérobie et aérobie suivent des réactions redox inorganiques (chimiolithotrophes), et le CO_2 est la seule source de carbone requise pour accumuler du matériel cellulaire organique (autotrophique). L'hydrogène moléculaire est un important donneur d'électrons. D'autres donneurs d'électrons peuvent être le sulfure, le soufre et le fer ferreux (**Stetter, 2013**).

En tant que chimiolithotrophes, ces organismes peuvent avoir obtenu la totalité de leur carbone à partir du CO_2 ou avoir assimilé les composés organiques disponibles directement pour les besoins de la biosynthèse. Quoi qu'il en soit, il est probable que l'oxydation de H_2 ait été la force motrice énergétique pour améliorer les processus de la vie. Si l'on compare les mécanismes de conservation de l'énergie microbienne en fonction de la température à partir des données de procaryotes en culture, seuls les organismes chimiolithotrophes sont connus aux températures les plus chaudes (Figure 5).

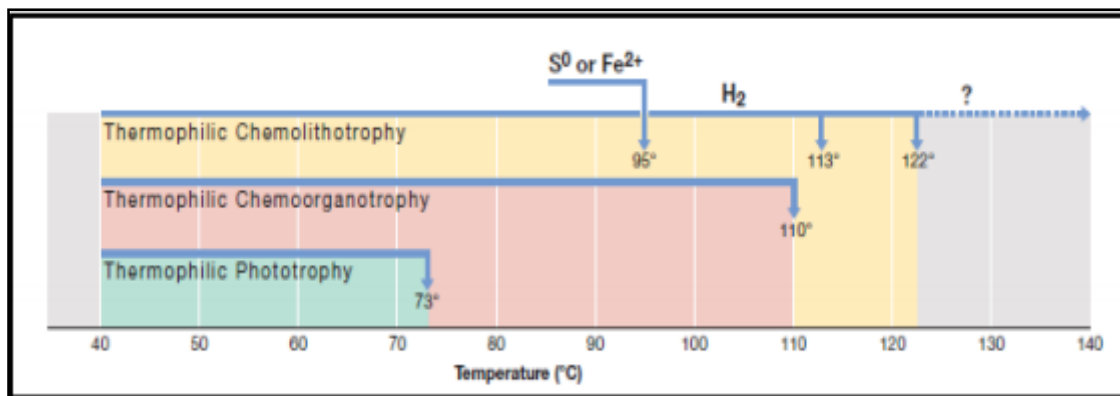


Figure 5. Limites supérieures de température pour le métabolisme énergétique. **Phototrophie**, *Synechococcus lividus* (bactéries, cyanobacteria) ; **chimoorganotrophie**, *Pyrodictium occultum* (Archée) ; **chimiolithotrophie** avec le soufre élémentaire comme donneur d'électrons, *Acidianus infernus* (Archée) ; **chimiolithotrophie** avec le fer ferrique comme donneur d'électrons, *Ferroglobus placidus* (Archée) ; **chimiolithotrophie** avec l'hydrogène gazeux comme donneur d'électrons, *Methanopyrus kandleri* (archée, 122°C) (Madigan *et al.*, 2010).

I.5. Bases moléculaires du thermophile

De nombreuses thermophiles et hyperthermophiles vivent au contact et même à l'intérieur des cheminées des sources hydrothermales profondes à des températures pouvant excéder 100°C.

L'adaptation de ces micro-organismes implique de nombreuses modifications de leurs composants qui doivent résister et fonctionner à ces températures. Cette adaptation moléculaire a été examinée au niveau des protéines et enzymes, ainsi qu'au niveau des membranes et des acides nucléiques (Minic *et al.*, 2006).

I.5.1. Protéines

Généralement les protéines des thermophiles et hyperthermophiles sont plus thermostables que celles de leurs homologues mésophiles et fonctionnent de manière optimale à haute température. Néanmoins, il n'existe aucune règle générale permettant d'expliquer cette thermostabilité, chaque protéine adoptant sa propre stratégie de stabilisation. Cette thermostabilité intrinsèque des protéines en général et des enzymes en particulier est le plus souvent due à des modifications mineures de la séquence en acides aminés favorisant le repliement de la protéine sous une forme compacte avec un nombre réduit de cavités internes, un nombre élevé de ponts ioniques contribuant à maintenir l'ensemble et à résister à la dénaturation. La synthèse en grandes quantités de solutés osmocompatibles contribue également à protéger les protéines d'une dégradation thermique. D'autres adaptations comme, interactions accrues pour stabiliser la structure de la protéine dans sa conformation fonctionnelle (Alain *et al.*, 2010).

I.5.2. Les lipides

Les membranes cytoplasmiques des bactéries thermophiles et hyperthermophiles 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, cette richesse en acides gras saturés permet d'augmenter la température de fusion de la membrane tout en maintenant une stabilité et une fluidité optimales dans des conditions de thermophilie (**ferrera et Reysenbach, 2007**).

I.5.3. Les acides nucléiques

L'une des premières questions qui se pose pour les hyperthermophiles est celle de la stabilité de leur matériel génétique. Comment est préservée l'intégralité du message génétique stockée dans le chromosome et comment peuvent opérer la transcription et la traduction au-dessus de 100-110°C. Les acides nucléiques des hyperthermophiles sont formés à partir des mêmes nucléotides et possèdent une structure identique à celle des mésophiles. Il a été démontré que des histones archéennes ou des histones « like » augmentent la température de dénaturation de l'ADN, mais ne préviennent pas la thermo-dégradation.

Plusieurs mécanismes contribuant à la stabilité de la molécule d'ADN chez les hyperthermophiles ont été identifiés. D'autre part, tous les hyperthermophiles produisent une ADN grasse inverse qui va provoquer un surenroulement positif (au contraire des ADN gyrases des mésophiles qui produisent un surenroulement négatif) de l'ADN et ainsi assurer une meilleure stabilité vis à vis de la température. D'autres protéines de liaison à l'ADN ont été identifiées, parfois similaires aux histones des eucaryotes, ces protéines contribuent à la compaction de la molécule d'ADN et ainsi à sa stabilité. Il a également été démontré que la thermo-dégradation de l'ADN est réduite en présence de concentrations physiologiques de sels monovalents (50 à 500 mM de KCl ou NaCl) ou divalents (1 à 25 mM MgCl₂) (**Cayol et al., 2011 ; Quérellou et Guézennec ,2010**).

I.6. Biotechnologies des thermophiles

Les micro-organismes thermophiles ont suscité beaucoup d'intérêt dans le domaine de la biotechnologie. Les thermophiles produisent d'importantes enzymes industrielles. D'autres biotechnologies impliquant des thermophiles étudiées couvrent les domaines de la biomasse et de la dégradation des molécules organiques complexes, de la lixiviation des métaux, de la production de solutés compatibles et de la technologie de traitement de l'eau.

I.6.1. Applications des thermophiles sur les biomolécules

La plupart des applications impliquant des extrémophiles sont basées sur leurs biomolécules, principalement des enzymes mais également d'autres protéines, des lipides et diverses petites molécules.

I.6.1.1. Enzymes

Les micro-organismes extrémophiles représentent une ressource potentiellement précieuse dans le développement de nouveaux procédés biotechnologiques. La plupart des applications impliquant des extrémophiles sont basées sur l'utilisation de leurs biomolécules, en particulier leurs enzymes. En fait, Les enzymes thermophiles sont caractérisées par une charge de surface accrue, des interactions ioniques et des liaisons hydrogène accrues, une hydrophobie accrue, des boucles de surface plus petites et une flexibilité réduite, qui contribuent tous à leur stabilité à des températures élevées. Ces enzymes sont déjà utilisées comme biocatalyseurs dans les processus industriels. Parmi les extrémophiles, les micro-organismes thermophiles et hyperthermophiles sont probablement les organismes les plus étudiés.

Les enzymes isolées de ces micro-organismes sont extrêmement thermostables et généralement résistantes à l'action des dénaturants chimiques, des détergents, des agents chaotropes, des solvants organiques ainsi qu'à l'exposition à des valeurs extrêmes de pH. En conséquence, ils peuvent être utilisés comme modèles de biomolécules pour concevoir et construire des protéines avec de nouvelles propriétés qui présentent un intérêt pour les applications industrielles. De plus, les propriétés inhabituelles, démontrées par les enzymes thermophiles, ont incité leur utilisation comme modèles protéiques pour résoudre un certain nombre de problèmes fondamentaux dans la compréhension des déterminants de la stabilité des protéines. (Champdoré *et al.*, 2006).

I.6.1.1.1. Enzyme de l'ADN

Les technologies de l'ADN recombinant reposent sur l'utilisation d'enzymes très diverses, comme exemple les enzymes de restriction (coupant l'ADN en des sites précis), ADN polymérases, ADN ligases. Les ADN polymérases thermostables jouent un rôle fondamental dans les Techniques d'ingénierie du vivant grâce à leur aptitude à amplifier un gène donné à des millions de copies au moyen de la réaction de PCR. Cette réaction (*Polymerase Chain Reaction*) comporte un nombre variable de cycles de température (en moyenne 30) : dénaturation des doubles brins d'ADN à 94 C° ; hybridation des amorces à (40-60 C°) selon leur composition ; élongation des amorces et synthèse du brin complémentaire à 72 C°.

Les enzymes les plus utilisées en amplification de gènes sont la *Taq* polymérase isolée de *Thermus aquaticus* (origine : sources thermales du Parc de Yellowstone, USA). Toutes ces

enzymes comportent plusieurs domaines aux fonctions complémentaires. La *Taq* polymérase comporte un domaine polymérase, chargé de la synthèse du brin d'ADN complémentaire du brin matrice, ainsi qu'un domaine exonucléase 5'-3' capable de déplacer le brin d'ADN ou les amorces situés en aval de la polymérase. Cette combinaison de propriétés est à la base du procédé de PCR en temps réel ou quantitative qui permet de suivre l'évolution du nombre de copies des fragments néosynthétisés et de déterminer l'abondance relative de matrices initiales (Querellou et Guzenec, 2010).

I.6.1.1.2. Protéase

Les enzymes protéolytiques catalysent l'hydrolyse de la matière protéinique et présentent la plus grande abondance parmi les biocatalyseurs industriels pertinents. En raison de leurs sites actifs caractéristiques en combinaison avec leur mode d'action catalytique, les protéases ont été attribuées à des groupes d'aspartique, de cystéine, d'acide glutamique, de sérine, de thréonine ou de métalloprotéases. Les protéases des thermophiles présentent un intérêt accru en raison de leurs applications variées dans les industries agro-alimentaires, textiles biomédicales, pharmaceutiques, et dans la gestion des déchets en tannerie. Parmi les bactéries, *Bacillus sp* a été une source majeure de protéases thermostables. Cependant, la plus grande application est dans les détergents à lessive et sont utilisés pour briser et éliminer les taches à base de protéines. Les autres utilisations majeures des protéases sont dans les domaines de la fabrication du fromage, du brassage et de la boulangerie (Coker, 2016).

I.6.1.1.3. Lipase

Les lipases, ou les triacylglycérol hydrolases, sont un groupe important d'enzymes biotechnologiquement pertinentes et elles trouvent d'immenses applications dans les industries alimentaire, laitière, détergente et pharmaceutique. Les lipases sont produites par des microbes et en particulier les lipases bactériennes jouent un rôle vital dans les entreprises commerciales. Certains genres bactériens importants produisant des lipases comprennent *Bacillus*, *Pseudomonas* et *Burkholderia*. Les lipases bactériennes sont pour la plupart extracellulaires et sont produites par fermentation submergée et ont généralement des températures optimales comprises entre 30 et 60 C° ; Cependant, les lipases des espèces thermophiles de *Bacillus* se sont avérées plus efficaces que les enzymes actuellement utilisées (Coker, 2016).

I.6.1.2. Solutés compatibles

L'accumulation de substances osmotiquement actives, dites solutés compatibles, permet aux micro-organismes de réduire la différence entre les potentiels osmotiques du cytoplasme cellulaire et l'environnement extracellulaire. Ces composés sont des sucres ou des alcools de

sucres hautement solubles dans l'eau, d'autres alcools, des acides aminés ou leurs dérivés. Sa diversité est quelque peu limitée, reflétant les contraintes chimiques fondamentales de la biochimie cellulaire. Certains sont répandus dans tous les royaumes de l'arbre de vie tandis que d'autres sont limités à un petit nombre d'organismes.

Ils ont gagné une attention croissante en biotechnologie en raison de leur action en tant que stabilisateurs de biomolécules (enzymes, ADN, membranes, tissus) et agents de protection contre le stress. Ces solutés compatibles sont capables de stabiliser diverses enzymes et micro-organismes augmentant la durée de conservation des biocatalyseurs et des cultures de démarrage qui sont nécessaires, par exemple pour l'industrie laitière (**Antranikian, 2009**).

I.6.1.3. Lipides et peptides

Les liposomes sont des vésicules sphériques fermées artificielles constituées d'une ou plusieurs bicouches lipidiques. Les liposomes fabriqués à partir d'éther phospholipides ont été largement étudiés au cours des trente dernières années en tant que modèles de membranes artificielles avec une thermostabilité et une étanchéité remarquable contre les fuites de soluté. Un intérêt considérable a été généré pour les applications des liposomes en médecine, y compris leur utilisation en tant qu'agents diagnostiques, en tant que véhicules porteurs dans des formulations de vaccins, ou en tant que systèmes d'administration pour des médicaments, des gènes ou des agents d'imagerie du cancer.

Les couches de surface des cellules cristallines (couches S) qui sont composées de sous-unités de protéines et de glycoprotéines sont l'une des structures d'enveloppe cellulaire les plus couramment observées des bactéries et des archées. Les couches S pourraient être produites en grandes quantités par culture continue de microorganismes porteurs de couche S et utilisées comme membranes d'ultrafiltration isoporeuses ou comme matrices pour l'immobilisation de macromolécules biologiquement actives telles que des enzymes, des ligands ou des anticorps monoclonaux et polyclonaux (**Antranikian, 2007**).

La production de peptides et de protéines antibiotiques est une caractéristique quasi universelle des organismes vivants, quelle que soit la classification phylogénétique. Les agents antimicrobiens des bactéries et des eucaryotes sont étudiés depuis plus de 50 ans. Cependant, les archées thermophiles et les bactéries ne sont qu'au début des recherches sur la production d'antibiotiques peptidiques (**Antranikian, 2008**).

I.6.2. Applications basées sur cellules entières

Les applications biotechnologiques des thermophiles peuvent être divisées entre des applications utilisant des cellules entières, soit en culture pure ou en consortium, et des applications utilisant leurs macromolécules ou métabolites. Parmi les nombreuses applications

biotechnologiques qui utilisent des cellules thermophiles, celles concernant les processus de lixiviation et l'élimination des métaux lourds des déchets et également dans la production de bioénergie, de biomining, de thermozyne et de biosurfactant (Urbieta *et al.*, 2015). Par exemple les biocarburants, ce procédé, également connu sous le nom de biolixiviation, consiste à éliminer les sulfures ou oxydes métalliques insolubles à l'aide de microorganismes. C'est une manière plus sûre et plus écologique d'extraire les métaux par rapport à la lixiviation en tas traditionnelle, qui implique l'utilisation de plusieurs produits chimiques, y compris le cyanure, pour lier et séparer les minéraux / métaux spécifiques des autres.

Les biocarburants peuvent également être classés en fonction des produits finaux éventuels : butanol, éthanol, hydrogène, méthane et biodiesel. La production d'hydrogène repose traditionnellement sur un procédé chimique/catalyseur ; cependant, des systèmes à plus grande échelle basés sur des micro-organismes utilisant les thermophiles *Caldicellulosiruptor*, *saccharolyticus* et *Thermotogaelfii* ont été développés récemment. Contrairement aux autres produits, le méthane a toujours été produit à l'aide d'un consortium des microorganismes, dont des méthanogènes (Coker 2016).

I.7. Les avantages des thermophiles

Les micro-organismes thermophiles ont suscité beaucoup d'intérêt dans le domaine de la biotechnologie. Les thermophiles peuvent être utilisés dans les processus de lixiviation et dans l'élimination des métaux lourds des déchets et produisent également d'importantes enzymes industrielles. De plus, les thermophiles peuvent être utilisés directement et indirectement dans la production d'énergie renouvelable. Parmi Les avantages de l'utilisation de micro-organismes thermophiles dans des applications biotechnologiques, on énumère certains come suite :

- ✓ Une activité métabolique élevée entraîne une augmentation des taux de formation de produits.
- ✓ Inactivation ou élimination des micro-organismes contaminants / pathogène mésophiles.
- ✓ Production de macromolécules et métabolites thermostables.
- ✓ Les réactions métaboliques se produisent à la même température élevée que les substrats solubilisent.
- ✓ Aucune étape de refroidissement requise après les étapes de chauffage.
- ✓ Augmentation des taux de diffusion, ionisation et solubilité des produits chimiques

- ✓ Une densité, une tension de surface et une viscosité plus faible des solutions améliorent les vitesses de réaction.
- ✓ Récupération directe des produits volatils.
- ✓ Une faible formation de masse bactérienne donne des ratios plus élevés de produit souhaité sur un substrat assimilé et une production de déchets inférieure.
- ✓ Enzymes thermostables express (**Urbieta et al., 2015**).

Chapitre II

Etude comparative

II.2. Etude comparative

Les sources chaudes qui existent en Algérie sont exploitées, seulement, en thérapie pour leurs bienfaits. Elles ne sont que très peu étudiées d'un point de vue biodiversité et ce n'est que ces dernières années que des chercheurs ont commencé à s'intéresser aux microorganismes de ces écosystèmes extrêmes. Les publications portant sur l'identification, dans les sources hydrothermales algériennes, des différentes familles de ces microorganismes bien qu'il est rapporté qu'ils sont de véritables gisements potentiels de productions de molécules bioactives recherchées en biotechnologies, aussi bien dans les nouvelles applications industrielles que dans les biotransformations à haute valeur ajoutée que le domaine de la biologie moléculaire, sont encore très peu disponibles (Yakhlef et al., 2012 ; Cité de la Mer, 2012).

Dans le cadre de ce travail il est rapporté, ci-après, une étude synthétique des quelques travaux réalisés au niveau de 9 sources hydrothermales algériennes exploitées, pour l'heure, plutôt pour leurs intérêts thérapeutiques.

Etude 01 : Isolement et caractérisation de bactéries de la source naturelle de Hammam Guergour (Nord de Sétif-Algérie) (Aissat et Mekki, 2019).

Les résultats ont relevé et identifié d'une part, la présence de deux genres *Bacillus* et *Brevibacillus* (*Brevibacillus brevis*, *Brevibacillus parabrevis*) avec une dominance du genre *Bacillus* (*B. tequilensis*; *B. pumillus* ; *B. licheniformis*, *B. Smithii* *B. subtilis*, *B. thuringiensis*) et d'autre part, que toutes ces bactéries ont montré une excellente activité enzymatique extracellulaire. Le résultat de cette étude met en relief l'intérêt biotechnologique que pourrait jouer *Bacillus sp* comme source de production de diverses enzymes thermostables.



Figure 6 : localisation de Hammam Guergour (Sétif – Algérie) <https://www.startimes.com/f.aspx?t=36308167>).

Etudes 02, 03, 04, 05 et 06 : L'isolement et l'identification des souches thermophiles à

Partir des sources thermales de différentes wilayas d'Algérie : **Hammam Debagh**(Galma), **Hammam Bouhnifia** (Mascar), **Hammam Bouhjar** (Temouchent), **Hammam Rabi** (Saïda), **Hammam Righa** (Ain Defla) (Larbi Daouadji, 2015).

Des travaux de toutes ces études il est relevé particulièrement l'identification de la présence de trois principaux genres de microorganismes en l'occurrence : *Pseudomonas*, *Bacillus* et *Aeromonas* ainsi que toutes les souches isolées ont montré une excellente activité lipolytique extracellulaire.

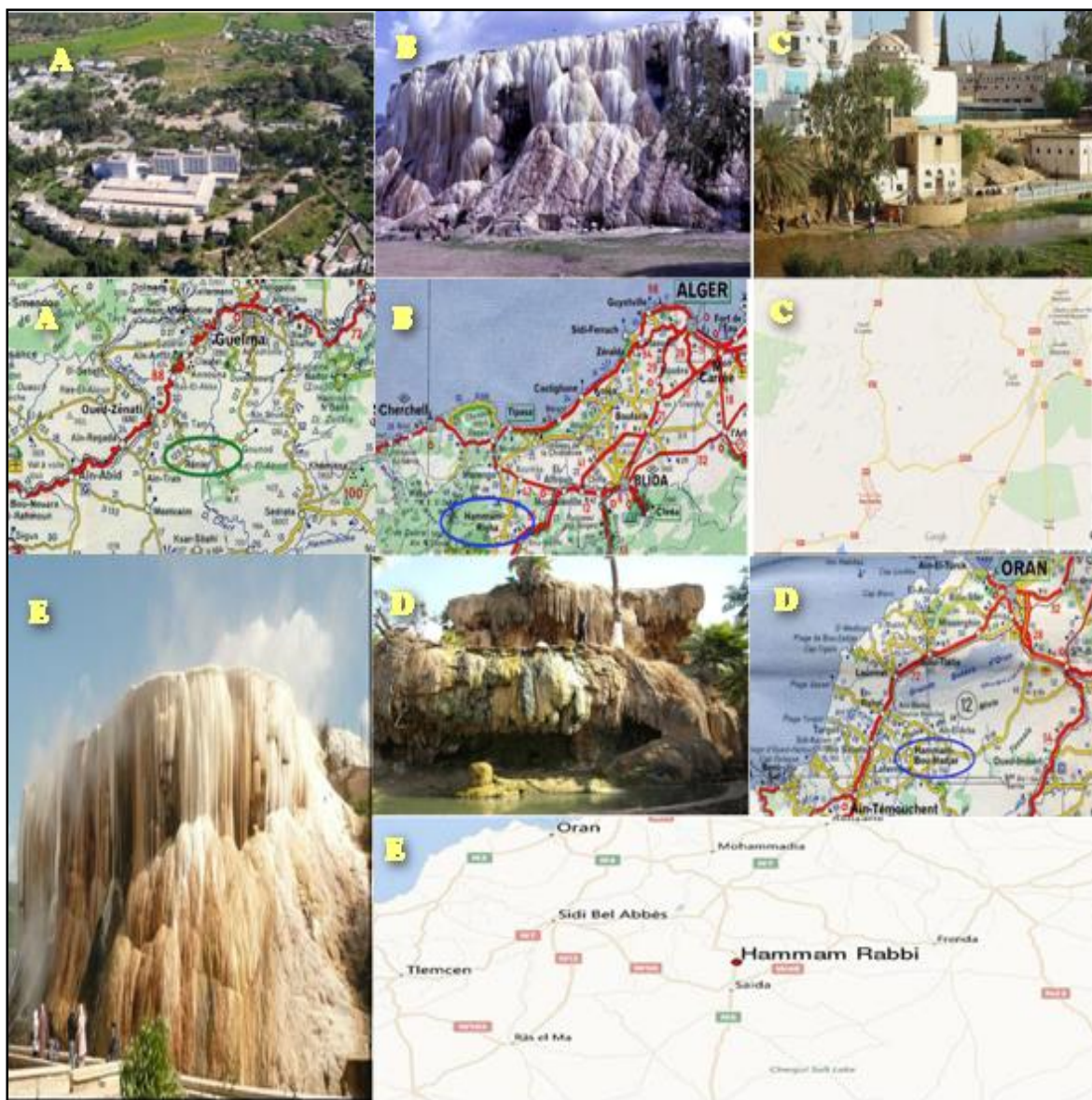


Figure7 : Localisation des Sources hydrothermales. A. Righa, B. Debagh, C. Bouhnifia, D. Bouhjar, E. Rabi (Larbi Daouadji, 2015).

Etudes 07 et 08 : l'isolement et l'identification des souches thermophiles à partir des Sources thermales (Hammam Righa et Hammam Melouane) (Bouacem ,2016).

Les résultats de la conduite de ces deux études ont montré que les milieux et les conditions de culture, utilisées dans le protocole de l'analyse microbiologique réalisées au niveau de 2 sources, ont permis d'isoler un total de 79 souches dont 9 dans la source de Hammam Melouane et 50 souches aérobies et 20 anaérobies dans celle de Hammam Righa.

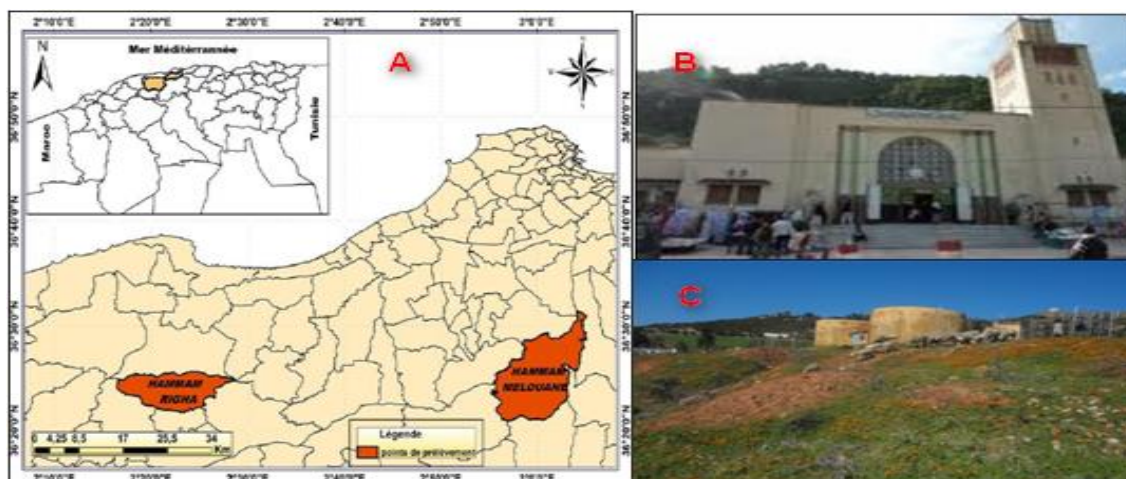


Figure 8 : A : location géographique des sites de B : hammam Melouane et C : Hammam Righa(Bouacem ,2016).

Les résultats de l'étude microbiologique menée sur les sources de Hammam Righa, en aérobiose et anaérobiose confirme bien, par recoupement et comparaison avec ceux obtenus par l'isolement des micro-organismes thermophiles rencontrés de manière assez récurrente dans les sources chaudes terrestres.

La caractérisation phylogénétique des quelques souches isolées, dans ces deux études, fait état de la présence des espèces appartenant aux genre *Tepidimons*, *Meiothermus*, *Albidovulum*, *Hydrogenophilus*, *Tepidimonas*, *Anoxybacillus*, *Geobacillus*, *Bacillus* et *thermoaerobacter*. Quant aux résultats de l'étude physiologique et biochimique ils laissent apparaître que les souches isolées présentent une biodiversité métabolique importante.

Concernant la source de Hammam Melouane (39°C), l'analyse bactérienne de son eau a mis en évidence des genres déjà retrouvés et isolés à partir d'environnement aquatiques. L'identification par séquençage des gènes de l'ARNr 16S de quelques souches a révélé la présence des genres suivants : *Gordnia*, *Sphingopyxis* et *Bacillus*.

Etude 09 : Bactéries des environnements chauds Algériens : isolement et mise en évidence de la production d'hydrolases. (Benkahoul et al., 2017).

Les résultats de cette étude indiquent la richesse des prélèvements, dans les eaux chaudes, de bactéries capables de produire des enzymes exo-cellulaires. En effet, l'eau thermale et le sol environnant des sources chaudes sont une source potentielle d'enzymes pouvant être thermorésistantes et, par voie de conséquence, donc intéressantes pour les industries. La caractérisation phénétique réalisée des souches bactériennes a permis d'avoir accès à certaines propriétés morphologiques, biochimiques et physiologiques de ces microorganismes. Les résultats obtenus ont montré la présence de deux genres connus, *Bacillus* et *Thermobacillus* avec dominance du genre *Bacillus* et d'autres genres dont les tests réalisés restent insuffisants pour une identification plus poussée.



Figure 9 : localisation géographique de hammam Debagh (Gomri et al., 2018).

Tableau 1 : Tableau récapitulatif les études traitées

Les études	Sources thermales	pH	T de source (°C)	Bactéries trouvées (genre/espèce)	Références
E1	Hamam Guergour (Sétif)	7.4	45 °C	<i>Bacillus tequilensis</i> ; <i>B. pumillus</i> ; <i>B. licheniformis</i> , <i>B. Smithii</i> <i>B. subtilis</i> , <i>B. thuringiensis</i> , <i>Brevibacillus brevis</i> , <i>Brevibacillus parabrevis</i> .	Aissat et Mekki, (2019).
E2	Hamam Debagh (Guelma)	6.45 à 7.11	90-96°C	<i>Aeromonashydrophila</i> , <i>Bacillus coagulans</i> , <i>B. pumilis</i> , <i>B. carotarum</i> , <i>Geobacillus</i> , <i>Brevibacillus</i> , <i>Pasteurillapneumotropica</i>	Larbi Daouadji, (2015).
E3	Hamam Bouhnifia (Mascara)	7 à 7.74	50 - 65°C	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. coagulans</i> , <i>B. cereus</i> , <i>Enterococcus</i> , <i>St. aureus</i> , <i>Ps. aeruginosa</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pseudomonas</i>	
E4	Hamam Bouhdjar (Temouchent)	6.45 à 7.11	76°C	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>P. asteurilla</i> .	
E5	Hamam Rabi (Saida)	7.60 à 7.74	34 - 40°C	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. cereus</i> , <i>amyloliquefaciens</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>Morganellamorganii</i> , <i>Aeromonashydrophila</i> ;	Bouacem, (2016).
E6	Hamam Righa (Ain Defla)	7.2 à 7.74	60 -65°C	<i>Bacillus licheniformis</i> , <i>B. subtilis</i> ; <i>B. fusiformis</i> ;	
E7	Hamam Meloune (Blida)	6.83	39.5°C	<i>Gordoniapolyisoprenivorans</i> , <i>G. alkanivorans</i> , <i>G. amilalis</i> , <i>Sphingopyxis macrogoltabida</i> , <i>S. alaskensis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Nitrosococcus</i> , <i>shewanella</i>	Benkahoulet al., (2017)
E8	Hamam Righa (Ain Defla)	6.98	68°C	<i>Meiothermus</i> , <i>Albidovulum</i> , <i>Hydrogenophilus</i> , <i>Tepidimonastaiwanensi</i> , <i>Anoxybacillus</i> , <i>Geobacillus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>thermoaerobacter</i> .	
E 9	Hamam Debagh (Guelma)	6,45 à 7,11	98°C	<i>Bacillus coagulans</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>Geobacillus thermoleovorans</i> , <i>B. stearothermophilus</i> , <i>B. thermoamyloliquefaciens</i>	

Chapitre III

Synthèse

Chapitre III : Synthèse

L'objectif de l'étude des différentes sources thermales en Algérie est la caractérisation de leur diversité bactérienne à l'effet d'identifier la dominance de l'activité de chacun des phylums et de déterminer, pour chacun d'eux, leurs productions de molécules actives recherchées, ou pouvant présenter un intérêt important pour les industries chimiques ou pharmacologiques.

III.1. Analyse physico-chimique des sources thermales étudiées

Les eaux thermales présentent des caractéristiques physico-chimiques dépendant de leurs parcours géologiques. Les sels, les minéraux, les bous et gaz sont à l'origine de leurs bienfaits thérapeutiques.

De l'analyse des résultats des analyses physico-chimiques de sources thermales des études (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8 et E9), il ressort que l'eau de Hammam Guergour présente, par rapport aux autres sources thermales en Algérie, des taux très élevés de sulfates et de calcium. Selon **Ouali (2008)** la composition chimique de son eau place cette source dans le groupe des eaux sulfatées-calciques et chlorurées sodiques. Néanmoins, selon **Nouayti (2015)**, en cas de contact du gypse, l'eau se chargerait en sulfates de calcium et devient dure et impropre à la consommation. Les teneurs élevées en calcium pourraient être alors attribuées à la dissolution de la calcite ainsi que d'autres minéraux calciques tels que le gypse.

Quant à la nature chimique chloruro-calcique des eaux de Hammam Debagh, Hammam Bouhnifia, Hammam Bouhdjar Hammam Rabi et Hammam Righa, il se trouve qu'elles sont accompagnées aussi d'une salinité relativement élevée due, probablement, à la composition lithologique des sites étudiés.

Une étude de caractérisation et de classification de 41 sources thermales algériennes, réparties sur 14 zones géographiques englobant les sites de la présente étude bibliographique, a révélé des valeurs de salinité relativement élevée (550 mg/l à 5500 mg/l) par rapport à celle de l'eau potable (1 et 20 mg/L) (**Bahri et al., 2010**). Ces taux sont souvent utilisés comme des indices de pollution (**N'Diaye et al., 2014**). Par contre les eaux étudiées de Hammam Melouane présentent des concentrations plus élevées en sodium et chlore et se distinguent aussi par leur teneur élevée en ions sulfates qui révèle leur origine sédimentaire.

D'une manière générale, le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles et ce, dans des proportions très variables lesquelles proviennent, essentiellement, du lessivage des

formations géologiques et niches en des minéraux silicatés tels que les plagioclases. Le potassium quant à lui est beaucoup moins abondant que le sodium.

Les bicarbonates sont présents dans toutes les analyses d'eaux. Ils résultent de la dissolution des roches calcaires ou d'émanation du magma profond, l'apport atmosphérique de cet élément est négligeable.

Le pH de l'eau renseigne sur son acidité et son alcalinité et il se situe, généralement, pour les eaux naturelles entre 6,6 à 7,8 et peut atteindre 8,5. Les analyses des sources étudiées ont révélé que les eaux thermales de Guelma (Debagh), Temouchent (Bouhdjar), et Blida (Melouane) possèdent un pH légèrement acide à neutre (pH 6,45 à 7,11), alors que celles des sources de Hamam Rabi, de Bouhnifia, de Hamam Righa et de Hamam Guergour tendent légèrement vers l'alcalinité (pH 7,60 à 7,74). La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle des variations importantes du pH.

La température est la principale caractéristique des eaux étudiées et c'est un facteur important dans l'environnement aquatique de par sa régularisation de la quasi-totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (**Nouayti, 2015**). Les températures à l'émergence des eaux étudiées étaient de 39,5 C° pour Hammam Melouane, comprises entre 34°C et 40°C pour Hammam Rabi, de 45C° pour Hammam Guergour, de 50 à 65°C pour Hammam Bouhanifia et de 60°C à 65°C pour celle de Hammam Righa.

La présence de végétation et d'algues, plus ou moins dense, observées autour et au niveau des points cités plus haut suggère, ou laisse à penser, que ce sont les températures modérément élevées qui ont permis la croissance et le développement de la flore végétale relevée. A l'inverse, les prélèvements réalisés au niveau des sites de Hammam Bouhdjer (T° pouvant aller jusqu'à 76°C) et de Hammam Debagh (T°90°C à 98°C) sont décrites respectivement comme mésothermales et hyperthermales.

La température des eaux thermominérales dépend de plusieurs facteurs qui sont les réactions chimiques exothermiques, la désintégration des minéraux radioactifs, le gradient géothermique et les mouvements de l'écorce terrestre (**Tarcan et Gemici, 2003 ; Saibi 2009**).

III.2. La diversité des bactéries thermophiles :

Selon le (tableau 1) en remarque que les sources thermales étudiées (Hammam Guergour à Sétif, Hammam Debagh à Guelma, Hammam Bouhnifia à Mascara, Hammam Bouhjar à Temouchent, Hammam Rabi à Saida, Hammam Righa à Ain Defla et Hammam Melouane à Blida) contiennent une diversité bactérienne considérable selon le niveau d'extrémophilie couplé aux sources d'énergie et des donneurs et accepteurs d'électrons disponibles (**Quérellou et Guézennec ,2010**).

L'étendue de la diversité bactérienne détectée dans ces études n'est pas surprenante, car la majorité des bactéries trouvées dans ces biotopes étudiés se trouve couramment dans l'environnement et ont été décrites dans de nombreux milieux différents analysés ailleurs. Le genre *Bacillus* a été isolé dans toutes les sources thermales étudiées et listées plus haut. Sa présence est due à la capacité de son genre à se déplacer, à sa résistance aux conditions environnementales difficiles et à son adaptation aux environnements chauds (**Aanniz et al., 2015**).

Le genre *Bacillus* a été isolé de toutes les études des eaux thermales. **Aanniz et al. (2015)** ont noté que 97,5% des souches isolées à partir des sources thermales marocaines appartiennent à ce genre. De même, il est rapporté que **Maugeri et al. (2001)** ont isolé 87 bactéries thermophiles, aérobies et sporogènes des eaux thermales des îles Eoliennes (Italie) où ils notent que les espèces dominantes observées appartenaient au genre *Bacillus*.

Les thermophiles facultatifs font partie du genre *Bacillus* et ont l'aptitude à croître à des températures mésophiles et thermophiles allant, en fonction de la souche, de 30° à 55°C.

Les espèces isolées, présentées dans le (tableau 02) se caractérisent comme suit :

- ✓ *B.licheniformis* est une bactérie sporulant omniprésente, largement répandue sous forme d'organisme saprophyte dans l'environnement (**Aanniz et al., 2015**). Elle a été isolée à partir des sources thermales en Arabie Saoudite (**Khiyami et al .,2012**).
- ✓ Des souches thermophiles de *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* et *B. subtilis* ont été isolées dans des sources chaudes, des lacs salés, des zones volcaniques en Turquie (**Cihan et al., 2012**).
- ✓ *Bacillus thermoleovorans*, cette espèce a été retrouvée dans les sources chaudes en Malaisie (**Arya et al.,2015**).

- ✓ *Bacillus coagulans* et *B.cereus* ces espèces ont été retrouvée dans les sources thermales dans la région d'Ankara en Turquie (**Yilmaz et al.,2006**).
- ✓ Les genres thermophiles *Anoxybacillus*, *Geobacillus*, *Brevibacillus* ont été isolées dans des sources chaudes en Napal, et au Hammam Pharon en Sinäï, Egypte (**Yadav et al.,2018 ; Selim et al.,2014**).

Les *Bacillus* forment un groupe de bactéries regroupant plusieurs espèces partageant des caractéristiques très semblables (**Nazina et al., 2001**). Des études ont montré que les conditions environnementales et l'état nutritionnel disponibles dans un écosystème naturel peuvent favoriser le développement d'un groupe microbien particulier (**Selim et al., 2014**).

La taxonomie et surtout l'identification des bacilles thermophiles ont suscité un intérêt considérable au cours des dernières décennies. Il a été démontré que les représentants du genre *Bacillus* et des genres apparentés (comme *Brevibacillus*, *Anoxybacillus* et *Geobacillus*) sont les aérobies thermophiles les plus fréquemment isolés des milieux aquatiques géothermiques terrestres.

D'autres genres ont été isolés les genres *Pseudomonas* et *Aeromonas* ont été isolés dans trois sites hydrothermales (Hammam Bouhnifia (Mascara), Hammam Bouhjar (Temouchent), et Hammam Rabi (Saida). Ces genres ont été isolés dans des sources chaudes en Arabie Saoudite (**El-Gayar et al., 2017**). Les genres *Gordonia* et *Sphingopyxis* ont été isolés de Hammam Melouane (Blida). Ces souches sont largement distribuées dans les milieux aquatiques et terrestres.

La source de Hammam Righa à Ain Defla a été étudiée en **2015** par **Larbi Daouadji**, lequel a mis en évidence la présence de souches appartenant aux genres *Bacillus* sp. Suite de ces travaux, **Bouacem (2016)** a trouvé, outre le genre *Bacillus*, d'autres genres *Meiothermus*, *Albidovulum*, *Hydrogenophilus*, *Tepidimonas*, *Anoxybacillus*, *Geobacillus*, *Bacillus thermoaerobacter*. **Larbi Daouadji, 2015**, a étudié la source de Hammam Debagh (Guelma) et a mis en évidence la présence de souches appartenant aux genres *Bacillus* sp, *Geobacillus* et *Aeromonas*. Ensuite **Gomri et al., 2018**, a confirmé la présence des mêmes genres *Bacillus* sp et *Geobacillus* sp.

Tableau 2 : Les principales bactéries isolées de neuf (09) sources chaudes algériennes

Etudes	Sources thermales	pH	Température °C	<i>Bacillus sp</i>	<i>Bacillus . licheniformis,</i>	<i>B. pumilus</i>	<i>B. subtilus</i>	<i>B. Smithii</i>	<i>B. coagulans</i>	<i>B. cereus</i>	<i>B.amyloliquefa</i>	<i>B.thermoleovor</i>	<i>Brevibacillus</i>	<i>Geobacillus sp</i>	<i>Anoxybacillus</i>	<i>Pseudomonas sp</i>	<i>Aeromonas sp</i>	Références
E1	HamamGuergour (Sétif)	7.4	45 °C	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	Aissat et Mekki ,(2019)
E2	Hamam Debagh (Guelma)	6.45 à 7.11	90-96° C	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+
E3																		
E4																		
E5																		
E6																		
E6																		
E7	Hamam Meloune (Blida)	6.83	39.5 °C	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Boucace m (2016)
E8	Hamam Righa (Ain Defla)	6.98	68° C	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
E9	Hamam Debagh (Guelma)	6,45 à 7,11	98° C	+	+	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	Benkaho ul et al.,(2017)

C'est pour des causes de paramètres influant différemment sur les environnements extrêmes que des études spécifiques sont nécessaires notamment, en matière de propriétés physico-chimiques et géologiques lesquelles affectent grandement la diversité microbienne dans un environnement spécifique. La plupart des études se rapportant à l'identification de la diversité microbienne des sites thermales ont révélé que la température, le pH et la nature du sol sont des facteurs importants dans la conception de la structure de la communauté microbienne (Amin et al., 2017).

Conclusion

Générale

& Perspectives

Conclusion générale et perspectives

Les extrêmophiles sont des microorganismes qui possèdent des possibilités d'applications dans plusieurs domaines, incluant l'agriculture, l'industrie, la pétrochimie, la médecine, l'alimentation et la bioremédiation des sols. Les micro-organismes thermophiles et hyperthermophiles sont des producteurs très connus des enzymes thermostables, les produits antimicrobiens et les composés bioactifs qui ont une importance dans les applications biotechnologiques.

Les principaux objectifs visés au départ de ce travail, étaient de faire un isolement et l'identification de bactéries thermophiles à partir d'une source hydrothermale située dans la willaya de Sétif (Hammam Soukhna), de procéder à l'étude de quelques activités enzymatiques hydrolytiques extracellulaires et antimicrobiennes. Malheureusement, compte tenu des conditions sanitaires imposées du Covid 19, les travaux d'expérimentation n'ont pu être réalisés au niveau du terrain dans les délais du cycle universitaire.

Donc, une réorientation des objectifs du thème d'étude initial s'étant imposée, celui-ci s'est vu reconverti en une analyse bibliographique sur le sujet élargie à une présentation synthétique des résultats rapportés dans les différents travaux d'études réalisés sur les sources thermales algériennes.

Donc l'analyse bibliographique a concerné neuf (09) études de neuf stations hydrothermales des différentes régions algériennes. Notre étude a révélé que les sources étudiées ((Hammam Guergour à Sétif, Hammam Debagh à Galma, Hammam bouhnifia à Mascar, Hammam Bouhjar à Temouchent, Hammam Rabi à Saida, Hammam Righa à Ain Defla et Hammam Melouane à Blida) contenant une diversité bactérienne considérable avec une dominance du genre *Bacillus*. Ce genre possède une activité enzymatique extracellulaire et antibactérienne très importante. Sa présence est due à sa capacité de se déplacer, à sa résistance aux conditions environnementales difficiles et à son adaptation aux environnements chauds.

Comme perspectives on propose de faire l'extraction et l'analyse qualitative et quantitative de molécules antibactériennes produites par les souches isolées de cet écosystème extrême.

Références
Bibliographiques

- **Aanniz, T., Ouadghiri, M., Melloul, M., Swings, J., Elfahime, E., Ibijbijen, J., ... & Amar, M. (2015).** Thermophilic bacteria in Moroccan hot springs, salt marshes and desert soils. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(2), 443-453.
- **Aissat, I., & Mekki, N. (2019).** Isolement et caractérisation de bactéries de la source naturelle de Hammam Guergour (Nord de Sétif-Algérie) (Doctoral dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila).
- **Amin, A., Ahmed, I., Salam, N., Kim, B. Y., Singh, D., Zhi, X. Y., ... & Li, W. J. (2017).** Diversity and distribution of thermophilic bacteria in hot springs of Pakistan. *Microbial ecology*, 74(1), 116-127.
- **Antranikian, G. (2007).** Industrial relevance of thermophiles and their enzymes. *Thermophiles: Biology and Technology at High Temperatures; Robb, F., Grogan, D., Eds*, 113-189.
- **Antranikian G. (2008).** Industrial relevance of thermophiles and their enzymes in: *Thermophiles, biology and technology at high temperatures*. Ed. Robb F., Antranikian G., Grogan D., Driessen A. 8:114-147. CRC Press, New York.
- **Antranikian, G. (2009).** Extremophiles and Biotechnology. *Encyclopedia of Life Sciences*.
- **Arya, M., Joshi, G. K., Gupta, A. K., Kumar, A., & Raturi, A. (2015).** Isolation and characterization of thermophilic bacterial strains from Soldhar (Tapovan) hot spring in Central Himalayan Region, India. *Annals of microbiology*, 65(3), 1457-1464.
- **Bahri, F., Saibi, H., & Cherchali, M.-E.-H. (2010).** Characterization, classification, and determination of drinkability of some Algerian thermal waters. *Arabian Journal of Geosciences*, 4(1-2), 207–219.
- **Baltaci, M. O., Genc, B., Arslan, S., Adiguzel, G., & Adiguzel, A. (2017).** Isolation and characterization of thermophilic bacteria from geothermal areas in Turkey and preliminary research on biotechnologically important enzyme production. *Geomicrobiology journal*, 34(1), 53-62.
- **Benkahoul, M., Talhi, A., & Boulefkhad, N. (2017).** Bactéries des environnements chauds Algériens : isolement et mise en évidence de la production d'hydrolases. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 25-35.
- **Bouacem, K. (2016).** Caractérisation de souches bactériennes isolées à partir de sources thermales du Nord-Algérien " étude des propriétés enzymatiques " (Doctoral dissertation).
- **Bouanane-Darenfed A., Fardeau M.L., Gregoire P., Joseph M.,Kebbouche-Gana S., Benayad T., Hacene H., Cayol J.L., OllivierB.(2011).** *Caldicoprobacter algeriensis* sp. nov. a new thermophilic anaerobic, xylanolyticbacterium isolated from an Algerian hot spring. *Curr. Microbiol.*, 62:826-832.
- **Canganella, F. (2012).** Ecology and Biotechnology of Extremophilic Microorganisms, Particularly Anaerobic Thermophiles. *Extremophiles*, 175–203.

- **Cayol, J. L., Ollivier, B., Alazard, D., Amils, R., Godfroy, A., Marty, D., ... & Prieur, D. (2011).** Les conditions de vie extrêmes sur la planète et exobiologie. *Ecologie microbienne*, 363-371.
- **Champdoré, M. de, Staiano, M., Rossi, M., & D'Auria, S. (2006).** Proteins from extremophiles as stable tools for advanced biotechnological applications of high social interest. *Journal of The Royal Society Interface*, 4(13), 183–191. doi:10.1098/rsif.2006.0174.
- **Cihan, A. C., Tekin, N., Ozcan, B., & Cokmus, C. (2012).** The genetic diversity of genus *Bacillus* and the related genera revealed by 16S rRNA gene sequences and ardra analyses isolated from geothermal regions of turkey. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43(1), 309-324.
- **Coker, J. A. (2016).** Extremophiles and biotechnology: current uses and prospects. *F1000Research*, 5.
- **El-Gayar, K. E., Al Abboud, M. A., & Essa, A. M. (2017).** Characterization of thermophilic bacteria isolated from two hot springs in Jazan, Saudi Arabia. *J Pure Appl Microbiol*, 11(2), 743-52.
- **Ferrera, I., & Reysenbach, A.-L. (2007).** Thermophiles. *Encyclopedia of Life Sciences*.
- **Gomri, M. A., Khaldi, T. E. M., & Kharroub, K. (2018).** Analysis of the diversity of aerobic, thermophilic endospore-forming bacteria in two Algerian hot springs using cultural and non-cultural methods. *Annals of Microbiology*, 68(12), 915-929.
- **Hedlund, B. P., Thomas, S. C., Dodsworth, J. A., & Zhang, C. L. (2016).** Life in High-Temperature Environments. *Manual of Environmental Microbiology*, 4-3.
- <https://www.startimes.com/f.aspx?t=36308167>[en ligne] (Consulté le 14/08/2020).
- **Khiyami, M. A., Serour, E. A., Shehata, M. M., & Bahklia, A. H. (2012).** Thermo-aerobic bacteria from geothermal springs in Saudi Arabia. *African Journal of Biotechnology*, 11(17), 4053-4062.
- **Larbi Daouadji, K. (2015).** Isolement et caractérisation des souches productrices de lipase. 165 pages. Thèse en vue de l'obtention d'un diplôme de doctorat, microbiologie moléculaire et protéomique, faculté des sciences, Université Djillali Liabes, Sidi Bel abbes, Algérie.
- **Madigan, M. T., Clark, D. P., Stahl, D., & Martinko, J. M. (2010).** Brock biology of microorganisms 13th edition. Benjamin Cummings.
- **Maugeri, T. L., Gugliandolo, C., Caccamo, D., & Stackebrandt, E. (2001).** A polyphasic taxonomic study of thermophilic bacilli from shallow, marine vents. *Systematic and Applied Microbiology*, 24(4), 572-587.

- **Minic, Z., Serre, V., & Hervé, G. (2006).** Adaptation des organismes aux conditions extrêmes des sources hydrothermales marines profondes. *Comptes Rendus Biologies*, 329(7), 527–540.
- **N’Diaye, A. D., Mint, M. S. K., Kory, M. B. E. L., Kankou, M. O., & Baudu, M. (2014).** Contribution to space and temporal study of the physicochemical quality of water from the Senegal river right bank. *J. Mater. Environ. Sci*, 5, 320-329.
- **Nazina T.N., Tourova T.P., Poltarau A.B., Novikova E.V., Grigoryan A.A., Ivanova A.E., Lysenko M., Petrunyaka V.V., Osipov G.A., Belyaev S.S., Ivanov M.V. (2011).** Taxonomic study of aerobic thermophilic bacilli. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. Vol.51, p.433-446.
- **Nouayti, N., Khattach, D., & Hilali, M. (2015).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc)[Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco)]. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(4), 1068-108.
- **Ouali, S. (2008).** Les sources Thermales en Algérie. Division Energie Solaire Thermique et géothermie. *Recherche et Développement*, 3p.
- **Quérellou J., Guézennec J. (2010).** Biotechnologie des extrémophiles. Editions Tech. Ing. BIO580; P: 1-13.Reviews; 13:2544–2552.
- **Saibi, H. (2009).** Geothermal resources in Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2544–2552.
- **Schaechter, m. (2009).** Encyclopedia of microbiology. Academic press.
- **Selim, S., Sherif, M. E., El-Alfy, S., & Hagagy, N. (2014).** Genetic diversity among thermophilic bacteria isolated from geothermal sites by using two PCR typing methods. *Geomicrobiology Journal*, 31(2), 161-170.
- **Stetter, k. O. (2013).** A brief history of the discovery of hyperthermophilic life. *Biochemical society transactions*, 41(1), 416-420.
- **Tarcan, G., & Gemici, Ü. (2003).** Water geochemistry of the Seferihisar geothermal area, Izmir, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126(3-4), 225-242.
- **Urbietta, M. S., Donati, E. R., Chan, K. G., Shahar, S., Sin, L. L., & Goh, K. M. (2015).** Thermophiles in the genomic era: biodiversity, science, and applications. *Biotechnology Advances*, 33(6), 633-647.
- **Yadav, P., Korpole, S., Prasad, G. S., Sahni, G., Maharjan, J., Sreerama, L., & Bhattarai, T. (2018).** Morphological, enzymatic screening, and phylogenetic analysis of thermophilic bacilli isolated from five hot springs of Myagdi, Nepal. *J App Biol Biotech*, 6(03), 1-8.
- **Yilmaz, M., Soran, H., & Beyatli, Y. (2006).** Antimicrobial activities of some Bacillus spp. strains isolated from the soil. *Microbiological research*, 161(2), 127-131.

ملخص :

تتمتع الكائنات الحية الدقيقة المحبة للحرارة الأصلية في البيئات الحارة ، مثل الينابيع الأرضية الحارة ، بقدرات تكيفية جزيئية مثيرة للاهتمام ، وبالتالي تشكل مصدرًا مهمًا للجزيئات النشطة بيولوجيًا غير التقليدية الناتجة عن آليات كيميائية حيوية وجزيئية فريدة. في الجزائر، تم إجراء القليل من الدراسات حول الينابيع الحرارية ومحبيات الحرارة. في هذا العمل الببليوغرافي ، تم الإبلاغ عن نتائج الدراسات المختلفة التي أجريت في السنوات الأخيرة حول عزل وتحديد البكتيريا المحبة للحرارة في الينابيع الحرارية المختلفة في الجزائر ونشاطها الأنزيمي والمضاد للميكروبات. من تحليل النتائج ، من الدراسات المختلفة المستخدمة ، يظهر تنوع كبير في البكتيريا المحبة للحرارة وإبراز هيمنة جنس العصيات جميع الينابيع الحرارية المدروسة. هذا يجعل من الممكن استنتاج أن *Bacillus sp* يمكن أن يكون ، في الواقع ، مصدرًا لإنتاج العديد من الإنزيمات المقاومة للحرارة والمركبات المضادة للميكروبات.

الكلمات المفتاحية: الينابيع الحرارية، الحرارة، العسوية، الإنزيمات المقاومة للحرارة، مركبات مضادات الميكروبات.

Abstract

Thermophilic microorganisms native to hot environments, such as terrestrial hot springs, have interesting molecular adaptive capacities and thus constitute an important source of unconventional bioactive molecules resulting from unique biochemical and molecular mechanisms. In Algeria, few studies on thermal springs and thermophiles have been carried out. In this bibliographic work, the results of various studies carried out in recent years on the isolation and identification of thermophilic bacteria in various thermal springs in Algeria and their enzymatic and antimicrobial activity are synthetically reported. From the analysis of the results, from the various studies used, it emerges a considerable diversity of thermophilic bacteria and the highlighting of the dominance of the genus *Bacillus* in all the thermal springs studied. This makes it possible to deduce that *Bacillus sp.* could be, in fact, a source of production of various thermostable enzymes and antimicrobial compounds.

Keywords: thermal springs, thermophiles, *Bacillus*, thermostable enzymes antimicrobial compounds.

Résumé

Les microorganismes thermophiles autochtones des environnements chauds, tels que les sources thermales terrestres, possèdent des capacités d'adaptations moléculaires intéressantes et constituent ainsi une importante source de molécules bioactives peu conventionnelles issues de mécanismes biochimiques et moléculaires uniques. En Algérie, peu d'études sur les sources thermales et des thermophiles ont été réalisées. Dans ce travail bibliographique, il est rapporté synthétiquement les résultats de différentes études conduites durant ces dernières années sur l'isolement et l'identification des bactéries thermophiles dans différentes sources thermales en Algérie et leur activité enzymatique et antimicrobienne. De l'analyse des résultats, des différentes études exploitées, il ressort une diversité considérable de bactéries thermophiles et la mise en relief de la dominance du genre *Bacillus* dans toutes les sources thermales étudiées. Ceci permet de déduire que *Bacillus sp.* pourrait être, en effet, une source de production de divers enzymes thermostables et des composés antimicrobiens.

Les mots clés : sources thermales, thermophiles, *Bacillus*, enzymes thermostables composés antimicrobiens.