

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMEN
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département Biologie



MÉMOIRE

Présenté par

M^{lle} Mosteghanemi Hassiba & M^{lle} Sayah Manel

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Microbiologie et Contrôle de Qualité

Thème

**Les microbes des environnements thermaux
Algériens**

Soutenu le 29/06/2022, devant le jury composé de :

Président :	Mme Khelil Nihel	Pr	Université Tlemcen
Encadrant :	Mme Arab Mounia	MCB	USTHB, Alger
Examineur :	Mme Mesli Asma	MCB	Université Tlemcen

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

Avant tout nous remercions ALLAH, le tout puissant qui nous a donné, la patience et la santé durant toutes les années de nos études et surtout en accomplissant ce modeste travail.

Nos chaleureux remerciements sont adressés à notre encadreuse Madame Mounia Arab qui a bien dirigé ce travail, avec ses conseils, sa compétence et sa gentillesse qui nous a permis de bien améliorer ce travail.

Nos sincères remerciements à tous les membres du jury madame Khelil Nihel et madame Mesli Asma d'avoir accepté la présidence et l'examen de ce travail.

Dédicaces



Au nom d'ALLAH le tout puissant, le clément et miséricordieux. Louange à ALLAH, l'unique et que la bénédiction et le salut soient sur l'ultime prophète.

Avec l'aide et la grâce de DIEU s'est achevé ce modeste travail « le fruit de mes longues années d'études » que je dédie en témoignage de reconnaissance tout d'abord :

A deux personnes qui m'ont donné la vie, qui ont supporté mes dérives et qui n'ont jamais cessé de me venir en aide à chaque instant de ma vie, à ces deux personnes à qui je dois tellement de choses, à mes parents, vous êtes les beaux visages que j'ai vu dans ma vie et les deux meilleurs mots que j'ai prononcé, vous êtes une source d'amour, de tendresse, de courage et d'espoir, j'espère vous rendre fière.

À ma chère mère Zineb, la personne la plus gentille, la plus douce et la plus adorables au monde.

À l'homme qui a souffert sans me laisser souffrir, mon cher papa Ahmed, mon soutien dans la vie.

À ma tendre sœur Zohra et son mari Abd el karim et la petite Kawther.

À ma famille paternelle « Mosteghanemi » et ma famille maternelle « Ben Ammar ».

À mes cousines Nouria, Mériem, Amina et Soumia et mon petit cousin Soufiane.

À mon cousin Zohir, merci beaucoup pour ton aide et ton énergie positive qui me renforce à chaque fois.

À mon oncle Ahmed , que nous avons perdu récemment, paix à son âme. Nous aurions voulu te voir là assis en ce jour merveilleux mais DIEU en a décidé autrement.

À mes amies Mériem, Amira, Riheb, Imene , Ahlem et Nesrine merci pour les bons moments inoubliables.

À mon binôme et chère copine Sayah Manel, et qui est devenue la sœur, la compagne et la meilleure amie, avec qui j'ai partagé les plus beaux moments, nous avons pleuré ensemble, ri ensemble, nous nous sommes toujours soutenus et nous le serons toujours, si Dieu le veut, merci et je t'aime.

Aux bonnes et mauvaises circonstances qui m'ont rendu meilleure.

À ceux que j'aime, et ceux qui m'aiment... Je dédie ce travail.

Dédicaces



À celle qui m'a soutenu et qui n'a jamais cessé de me venir en aide à chaque instant de ma vie, personne la plus adorable au monde, à ma chère maman, les mots me manquent pour te signifier mon amour et ma gratitude, j'espère que tu es fière de ce que j'ai accompli et consciente de tous les sacrifices que j'ai fait pour toi.

Mon grand-père et ma grand-mère sont une bénédiction pour la famille, je vous souhaite longue vie à tous les deux, vous êtes les plus beaux visages que j'ai vu dans ma vie et les deux meilleurs mots que j'ai prononcé, vous êtes une source d'amour, de tendresse, de courage et d'espoir,

Mes tantes : Leila, Fatima et Wided. Je n'arriverai jamais à leur exprimer mon amour sincère, elles m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

Mes oncles Amine et Oussama les épaules sur les quelle je m'appuie, mes frères Ilyes, Nadir et Anwar. J'espère que Dieu les guidera et les protégera de tout mal.

À mes chères cousines qui ont une place spéciale dans mon cœur je les aime tellement.

À mon binôme Hassiba qui m'a accompagné dans mon parcours scolaire et professionnel bientôt j'espère que nous aurons du succès.

Merci à mes proches et mes meilleures amies : Samah, Ahlem, Amira , Nesrine, Rihab, Imen et Mariem pour m'avoir soutenu par leur présence dans les bons comme dans les mauvais moments.

Résumé

L 'Algérie est un pays riche par sa diversité écologique et géologique. D'ailleurs, elle 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.

Ce travail est une synthèse bibliographique des différents travaux sur les environnements chauds et sur les microorganismes thermophiles isolés notamment des sources thermales en Algérie.

On a constaté l'intérêt grandissant des équipes de recherches Algériennes pour la diversité microbiennes des thermophiles, et ce depuis 2015. Un nombre important de chercheurs s'est focalisé sur la source Hammam Debagh, la plus chaude en Afrique, où on avait rapporté la dominance de certains genres microbiens, tels que *Bacillus*, *Anoxybacillus*, *Geobacillus*, ... qui sont typiques à ce genre d'endroits thermophiles.

Notre recherche bibliographique a mis en relief différentes activités enzymatiques des souches bactériennes thermophiles Algérienne. Ces dernières possèdent des activités intéressantes pour la bioindustrie où elles sont utilisées dans divers procédés se déroulant à haute température.

Mots-clés :

Thermophiles, diversité, sources thermales, biotechnologie, enzymes, Algérie.

Abstract

Algeria is a country rich in ecological and geological diversity. In fact, it has more than 240 hot springs, which increase in number as we get closer to the Algerian Northeast, with temperatures measured at their emergence, ranging from 19 to 98°C.

This work is a bibliographical synthesis of the various works on hot environments and on thermophilic microorganisms isolated especially from thermal springs in Algeria.

We have seen the growing interest of Algerian research teams in the microbial diversity of thermophiles, since 2015. A large number of researchers focused on the Hammam Debagh spring, the hottest in Africa, where the dominance of certain microbial genera, such as *Bacillus*, *Anoxybacillus*, *Geobacillus*, etc., had been reported. Which are typical for this kind of thermophilic places.

Our bibliographic research has highlighted different enzymatic activities of Algerian thermophilic bacterial strains. The latter have interesting activities for the bioindustry where they are used in various processes taking place at high temperatures.

Keywords :

Thermophilic, diversity , hot springs, biotechnology, enzymes, Algeria.

ملخص

الجزائر بلد غني بالتنوع الإيكولوجي والجيولوجي. في الواقع، يحتوي على أكثر من 240 ينبوعًا ساخنًا، والتي يزداد عددها مع اقترابنا من الشمال الشرقي الجزائري، مع درجات حرارة تقاس عند ظهورها، تتراوح من 19 إلى 98 درجة مئوية

هذا العمل هو تخليق بيبليوغرافي لمختلف الأعمال حول البيئات الساخنة والكائنات الحية الدقيقة المحبة للحرارة المعزولة خاصة من الينابيع الحرارية في الجزائر

لقد رأينا الاهتمام المتزايد لفرق البحث الجزائرية بالتنوع الميكروبي لمحبي الحرارة، منذ عام 2015 ركز عدد كبير من الباحثين على نبع حمام ديباغ، الأكثر سخونة في إفريقيا، حيث تم الإبلاغ عن هيمنة بعض الأجناس الميكروبية، مثل العصوية، والأنوكسي باسيلوس، والجيوباسيلوس، وما إلى ذلك. التي هي نموذجية لهذا النوع من الأماكن المحبة للحرارة

سلط بحثنا الببليوغرافي الضوء على الأنشطة الإنزيمية المختلفة للسلاطات البكتيرية المحبة للحرارة الجزائرية هذه الأخيرة لديها أنشطة مثيرة للاهتمام للصناعة الحيوية حيث يتم استخدامها في عمليات مختلفة تحدث في درجات حرارة عالية.

الكلمات الرئيسية

محبة للحرارة، التنوع، الينابيع الساخنة، التكنولوجيا الحيوية، الإنزيمات، الجزائر

Sommaire

Remerciements.....	
Dédicace.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
Introduction.....	1

Chapitre I :La vie thermophile sur Terre

1 Les biotopes thermophiles sur Terre.....	3
1.1 Les zones géothermiques et volcaniques.....	3
1.1.1 Fumerolles terrestres et Solfatares.....	4
1.1.2 Sources thermales terrestres.....	5
1.2 Autres habitats : les puits de pétrole et les habitats liés à l'activité humaine.....	8
2 La vie dans les conditions thermophiles.....	10
3 L'adaptation microbienne à la température.....	14
3.1 Stabilité des protéines.....	14
3.2 Stabilité de l'ADN.....	15
3.3 Les lipides membranaires.....	17

Chapitre II : Diversité de la microflore thermophile en Algérie

1. Les niches écologiques thermophiles en Algérie.....	18
1.1. Les stations thermales en Algérie	18
1.1.1. Hammam Boughrara	19
1.1.2. Hammam Bouhadjar.....	20.
1.1.3. Hammam Bouhanifia.....	21
1.1.4 . Hammam Rabbi	22
1.1.5 . Hammam Righa.....	22
1.1.6 .Hammam Debagh	23
1.1.7 Hammam salhine.....	24
1.1.8. Hammam Guerguour.....	24
1.1.9. .Autres sources thermales d'Algérie.....	25
2. La diversité des microorganismes thermophiles Algériens.....	26
2.1. Diversité des sources thermales.....	26
2.1.1. Hammam Debagh (Guelma)	26

2.1.2. Les autres sources thermales.....	28
2.2. La diversité microbienne dans le désert Algérien.....	42

Chapitre III : Le potentiel enzymatique de la microflore thermophile en Algérie.....43

Conclusion.....,	52
------------------	----

Références bibliographiques.....	54
----------------------------------	----

Liste des tableaux

Tableau I : Classification de quelques genres microbiens thermophiles et hyperthermophiles selon leurs températures optimales de croissance.....	11
Tableau II : Localisation géographique des sites des eaux thermales en Algérie.....	25
Tableau III : Listedes microorganismes thermophiles isolés des sources thermales	31
Tableau IV : Le potentiel enzymatique des espèces microbiennes thermophiles isolées en Algérie.	47

Liste des figures

Figure 1 : Fumerolle sur le Halema 'uma'ucrater (Hawaii)	4
Figure 2 : La Solfatare Puzzuoli (Italie)	5
Figure 3 : Grand Prismatic hot spring, (USA).....	7
Figure 4 : Le Geysir (Islande).....	7
Figure 5 : Réacteur à eau pressurisée d'une centrale nucléaire.....	9
Figure 6 : Chauffe- eau solaire.....	9
Figure 7 : Classification des micro-organismes en fonction de leur température de croissance.....	10
Figure 08 : Bactérie thermophile tubulaire.....	13
Figure 9 : Carte géographique montrant la répartition des stations thermales en Algérie.....	19
Figure10 : Hammam boughrara (Tlemcen).....	20
Figure 11 : Localisation de « hammam boughrara »	20
Figure 12 : Hammam bouhadjar (AïnTémouchent).....	20
Figure 13 : Localisation de « hammam bouhadjar	20
Figure 14 : Hammam bouhanifia (Mascara).....	21
Figure 15 : localisation de « hammam bouhanifia ».....	21
Figure 16 : Hammam rabbi (Saïda).....	22
Figure 17 : Localisation de « hammam rabbi ».....	22
Figure 18 : Hammam Righa (Ain defla).....	22
Figure 19 : Localisation de « hammam Righa ».....	22
Figure 20 : Hammam Debagh (Guelma).....	23
Figure 21 : Localisation de « hammam Debagh »	23
Figure 22 : Hammam salihine (Khenchela).....	24
Figure 23 : Localisation de « hammam salihine Khenchela ».....	24
Figure 24 : Hammam Guerguour (Sétif).....	25
Figure 25 : Localisation de « hammam Guerguour ».....	25
Figure 26 : Exemples de quelques activités enzymatiques obtenues sur milieux solides (A. Amylase , B. Caséinase , C. Cellulase , D. Xylanase E. Estérase T80 , F. Estérase T20).....	44
Figure 27 : Activité xylanolytique des isolats d'actinobactéries H , J , K et N4.....	45
Figure 28 . Activité cellulolytique des isolats d'actinobactéries H , J , K et N4	46
Figure 29 : Activité lipolytique des isolats d'actinobactéries H , J , K et N4.....	46

Introduction

Les environnements chauds sont des biotopes extrêmes dans lesquels la vie n'est pas sensée exister. Néanmoins, certains êtres vivants ont réussi à pousser ces limites de la vie et y prospérer, ce sont les microorganismes thermophiles.

Les thermophiles se développant à de hautes températures, regroupent deux groupes majeurs, les thermophiles (>60°C) et les hyperthermophiles (>80°C) (**Madigan et Martinko, 2007**). Ces derniers sont présents dans les environnements volcaniques, les sources thermales, les fumerolles, les geysers et même les événements hydrothermaux. On les trouve également dans les environnements chauds artificiels. L'étude de ces microorganismes est devenue un domaine de recherche majeure et fascinant pour les microbiologistes et les biochimistes.

L'Algérie est un pays riche par sa diversité écologique et géologique. D'ailleurs, elle 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**). Ces sources chaudes sont largement 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 depuis une dizaine d'année qu'on a commencé à s'intéresser aux microorganismes habitants ces environnements (**Arab et al., 2018**).

L'utilisation des microorganismes thermophile et des enzymes qu'ils sécrètent ont un large éventail d'exploitation dans de nombreuses applications industrielles, agricoles et médicinales (**Aanniz et al., 2015; Urbietta et al., 2015**).

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**).

L'intérêt pour l'isolement et la caractérisation de souches bactériennes Algériennes 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.

Le présent travail constitue une contribution à la synthèse de l'état des connaissances actuelles sur la diversité microbiennes des écosystèmes thermaux en Algérie, et sur le potentiel enzymatique des microorganismes thermophiles qui y sont isolés.

Ainsi ce travail a été subdivisé en 3 grands chapitres. Le premier décrit les différents écosystèmes thermophiles sur Terre et la microflore qu'ils y abritent, en plus des différents mécanismes adoptés par cette microflore pour survivre aux températures mortelles.

Le deuxième chapitre met la lumière sur les différents travaux réalisés en Algérie et qui traitent la diversité microbienne, notamment dans les sources thermales, qui restent les plus étudiées.

Enfin, le troisième chapitre, met l'accent sur l'importance du pouvoir enzymatique des souches thermophiles isolées en Algérie, suivi d'une conclusion et des perspectives.

Chapitre I : La vie thermophile sur Terre

Un environnement est qualifié d'extrême lorsque les paramètres physico-chimiques qu'il renferme sont le plus souvent hostiles à la vie conduisant en une spécialisation et/ou une diminution de la biodiversité existante : pH inférieur à 5 ou supérieur à 9, pression supérieure à 20 MPa, des concentrations en sels supérieures à 3-4 % en NaCl jusqu'à saturation (35 % en NaCl) et température supérieure à 50°C ou inférieure à 10°C (Gregoire *et al*, 2009).

1. Les biotopes thermophiles sur Terre

Les habitats naturels des micro-organismes thermophiles sont distribués à travers le monde entier. Il s'agit d'habitats relativement chauds, comparés à ceux qui sont anthropiques ou fabriqués par l'homme. Ceux-là peuvent être d'origine terrestre ou marine. Les plus remarquables, qui abritent une grande variété de micro-organismes thermophiles, sont les zones géothermiques et volcaniques terrestres et les événements hydrothermaux (événements hydrothermaux sous-marins).

La plupart des thermophiles extrêmes et hyperthermophiles actuellement connus ont été découverts dans ces régions par des approches culture-dépendantes et indépendantes. Les zones géothermiques et volcaniques comprennent les fumerolles terrestres, les sources hydrothermales terrestres et les geysers. D'autres biotopes naturels existent et comprennent le pétrole chauffé géothermiquement, les réservoirs de pétrole et les sols/sédiments chauffés par le soleil.

1.1. Les zones géothermiques et volcaniques

L'un des biotopes naturels les plus importants des thermophiles est les zones géothermiques et volcaniques. Elles existent dans le monde entier et sont associées principalement à des zones tectoniquement actives où se produisent de grands mouvements de la croûte terrestre. C'est ici, dans ces régions, que les plaques tectoniques sont très convergentes ou divergentes (Stetter, 2011).

Dans les zones terrestres, les matières magmatiques profondes sont poussées près de la surface de la terre et servent de sources de chaleur. En conséquence, l'eau souterraine qui s'infiltre dans la terre devient intensément chauffée mais ne bout pas à cause de la pression lithostatique. Lorsque le fluide de percolation atteint une température suffisamment élevée, la pression générée force le fluide à travers les pores et les fissures vers la surface de la terre.

Cela peut conduire à la formation de fumerolles, sources chaudes (ou sources hydrothermales), et geysers. Ces habitats thermiques sont concentrés dans de petites zones appelées bassins thermaux (**Rittman, 1963**).

1.1.1. Fumerolles terrestres et Solfatares

Une fumerolle (également appelée évent à vapeur) est une ouverture dans la croûte terrestre, souvent dans les zones volcaniques, qui émet de la vapeur et des gaz tels que le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre, l'acide chlorhydrique et l'hydrogène sulfuré. Elle a si peu d'eau que tout cela se crache en vapeur avant d'atteindre la surface (**figure 1**).

Les fumerolles peuvent exister le long de minuscules fissures ou longues fissures et sur les surfaces des coulées de laves (**Urios, 2003**).



Figure 1 : Fumerolle sur le Halema 'uma'ucrater (Hawaii)
(<http://fracademia.com/dic.nfs/frwiki/668993>)

Les Solfatares ressemblent aux fumerolles et qui émettent du gaz sulfureux. Elles se trouvent dans les champs solfatriques, constitués de sols, de pots de boue et d'eaux de surface (sources riches en soufre), chauffés par exhalations volcaniques des chambres magmatiques situées en dessous d'elles. Leurs températures peuvent atteindre les 100 °C (**figure 2**).



Figure 2 : La Solfatare Pozzuoli (Italie)

(<https://www.vvox.it/2017/09/14/pozzuoli-famiglia-morta-alla-solfatara-si-indaga-per-omicidio-colposo/>)

La composition chimique des champs solfartriques est très variable et dépend de la géologie environnante. Les Solfatares peuvent être légèrement acides à légèrement alcalines (pH 5-8) ou extrêmement acides, avec des valeurs de pH inférieures à 1,0. La condition acide est due à la production d'acide sulfurique (H_2SO_4) à partir de l'oxydation biologique de H_2S et S° .

Ces environnements chauds et riches en soufre se trouvent dans le monde entier, y compris l'Italie, l'Islande, la Nouvelle-Zélande et le Parc National de Yellowstone au Wyoming (USA). Beaucoup d'entre eux sont riches en minéraux de fer comme les hydroxydes ferriques et la pyrite. La vapeur à l'intérieur des exhalations solfatariques est principalement responsable du transfert de chaleur.

En outre, elles peuvent contenir du CO_2 ; des quantités variables de H_2 , CH_4 , N_2 et CO ; et des traces de nitrates et d'ammoniac. Des composés moins fréquents comme la magnétite et les minéraux d'arsenic peuvent être présents dans certains sites, par exemple à Uzon Caldera, Kamchatka, en Russie (Urios, 2003).

1.1.2. Sources thermales terrestres

Une source chaude est une source qui est produite par l'émergence de l'eau souterraine chauffée par la chaleur géothermique sur la croûte terrestre. Les systèmes géothermiques sont présents dans de nombreux contextes géologiques et pas nécessairement liés au volcanisme.

L'eau provenant d'une source chaude est chauffée soit par la chaleur géothermique, c'est-à-dire la chaleur de l'intérieur de la Terre, dans une zone non volcanique, ou en entrant en contact avec du magma (roche fondue).

Dans une zone non volcanique, les eaux souterraines qui s'infiltrent profondément dans la croûte terrestre rentrent en contact avec les roches chauffées à la suite du gradient géothermique. Alors que dans les zones volcaniques, qui sont les zones tectoniquement actives, le gradient de haute température près du magma fait que l'eau peut être suffisamment chauffée pour devenir surchauffée. La pression est générée poussant l'eau vers la surface de la Terre à travers des pores et des fissures dans la croûte terrestre, où elle peut être émise sous forme de sources chaudes (sources thermales) ou de geysers.

À mesure que le fluide chaud passe à travers la surface de la Terre, les minéraux se dissolvent des zones adjacentes, ce qui explique la minéralisation importante.

Les eaux des sources thermales présentent habituellement de fortes concentrations en nombreux éléments et peuvent être hautement sursaturées avec une variété de minéraux. Ceux-ci comprennent habituellement de l' H_2S , du CO_2 , des composés organiques de faible poids moléculaires, du CH_4 , de l' H_2 , du NH_3 et des oligo-éléments (**Brock, 1978**).

L'interaction chimique avec les roches réservoirs et les roches formant des minéraux le long de la trajectoire d'ascension affecte la composition de l'eau chaude, qui peut être très acide ou alcaline (**Amarouche-Yala et al., 2014**)

Les sources chaudes sont présentes dans de nombreux pays à travers le monde. Les pays qui sont réputés pour leurs sources chaudes sont L'Islande, la Nouvelle-Zélande, le Chili et le Japon, mais il y a des ressorts à beaucoup d'autres endroits.

Le Parc National de Yellowstone (Wyoming, USA) possède l'un des nombres les plus élevés de sources d'eau chaude au monde. La **figure 3** suivante illustre le plus grand bassin se trouvant au Park National de Yellowstone, qui est le Grand Prismatic Spring où l'eau est chauffée à plus de 70°C .



Figure 3: Grand Prismatic hot spring, (USA).(<https://www.yellowstonepark.com/page/about-us>)

Un type particulier de sources chaudes est le geyser (**figure 4**), où l'eau et la vapeur sont éjectées épisodiquement à travers un évent. Si l'eau est mélangée avec de la boue et de l'argile, on l'appelle pot de boue. Les geysers n'existent que dans quelques endroits sur Terre, ils sont donc un phénomène assez rare.



Figure 4 : Le Geysir (Islande). C'est le geyser qui a donné son nom à tous les autres, et dont le terme vient du verbe islandais gjósa signifiant « jaillir ». (<http://geothermie-tpe2012.e-monsite.com/pages/page.html>)

En général, tous les sites de geyser sont situés à proximité de zones volcaniques actives. Généralement, l'eau de surface descend jusqu'à une profondeur moyenne d'environ 2000m.

Environ 1 000 geysers connus existent dans le monde, dont près de la moitié au Parc National de Yellowstone.

D'autres exemples majeurs de geysers comprennent la Vallée des Geysers située dans la péninsule du Kamtchatka (Russie), El Tatio (Chili), la zone volcanique de Taupo (Nouvelle-Zélande) et Haukadalur (Islande) (Urios, 2003).

1.2. Autres habitats : les puits de pétrole et les habitats liés à l'activité humaine

Les réservoirs pétroliers sous marins et continentaux constituent également des habitats qui sont occupés par les procaryotes thermophiles ou hyperthermophiles. Selon le site géographique où ils sont situés, les réservoirs de pétrole se trouvent entre 1,5 et 4 km de profondeur sous la surface avec des pressions élevées et des températures comprises entre 60 et 130°C. Le pH des eaux de gisements pétroliers est généralement proche de la neutralité. Un grand nombre de réservoirs pétroliers contiennent de l'eau de formation (produite au cours de la formation du pétrole) plus ou moins riche en composés soufrés (soufre, sulfates), métaux, gaz dissous comme H₂, H₂S, CO, CO₂, CH₄ ainsi qu'en molécules organiques (composé de C₂ à C₇) comme l'acétate qui peut s'accumuler jusqu'à 20 mM dans les réservoirs pétroliers. La salinité varie d'un réservoir à l'autre et très probablement au sein d'un même réservoir. La combinaison de grandes salinités (>15 %) et de hautes températures (> 60°C) est en général non propice à une vie procaryotique (Core, 2000).

Il existe également des écosystèmes chauds résultant des activités humaines. Les rejets des mines de charbon sont stockés sous forme de terril, qui contiennent des fragments de charbon, de la pyrite (FeS) et d'autres composés organiques extraits du charbon. Ces déchets miniers s'échauffent par combustion spontanée générant ainsi un environnement chaud favorable aux procaryotes thermophiles. Certaines activités industrielles sont des sources artificielles de chaleur, on peut citer les raffineries de sucre, les usines de papiers, les centrales électriques, nucléaires (figure 5) et les usines de compostages. Les conduites d'eaux chaudes et les chaudières domestiques (figure 6) ou industrielles sont également un habitat pour les micro-organismes thermophiles (Core, 2000).

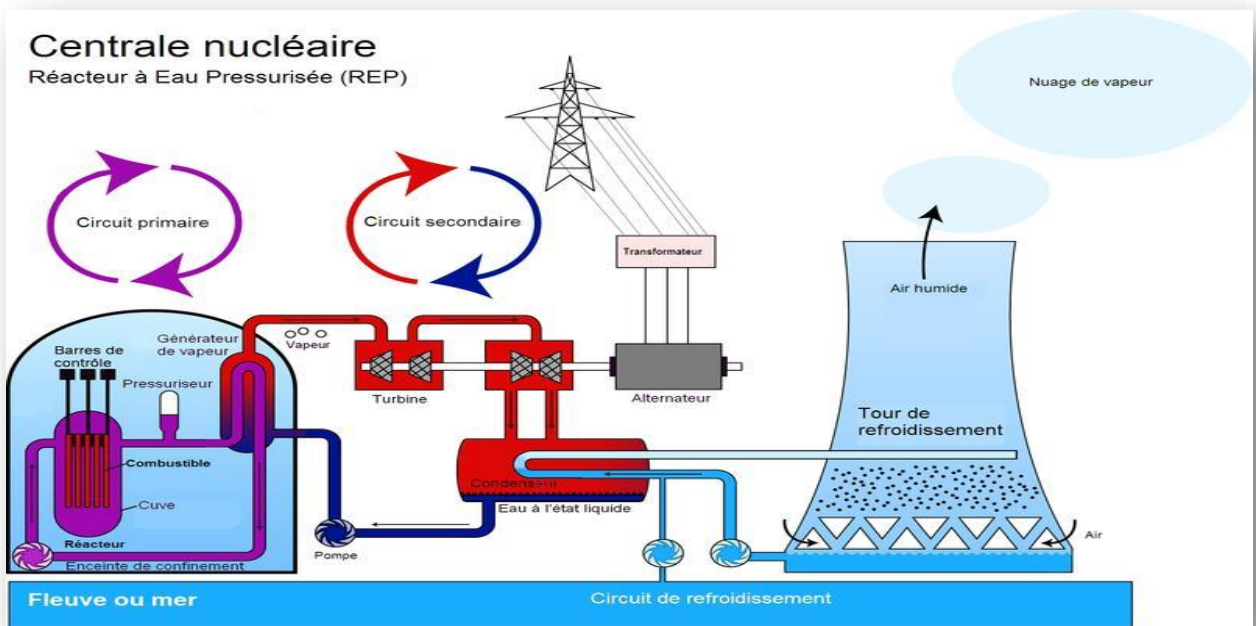


Figure 5 : Réacteur à eau pressurisée d'une centrale nucléaire (<https://images.app.goo.gl/qKfyiDMx6KutK11W8>)

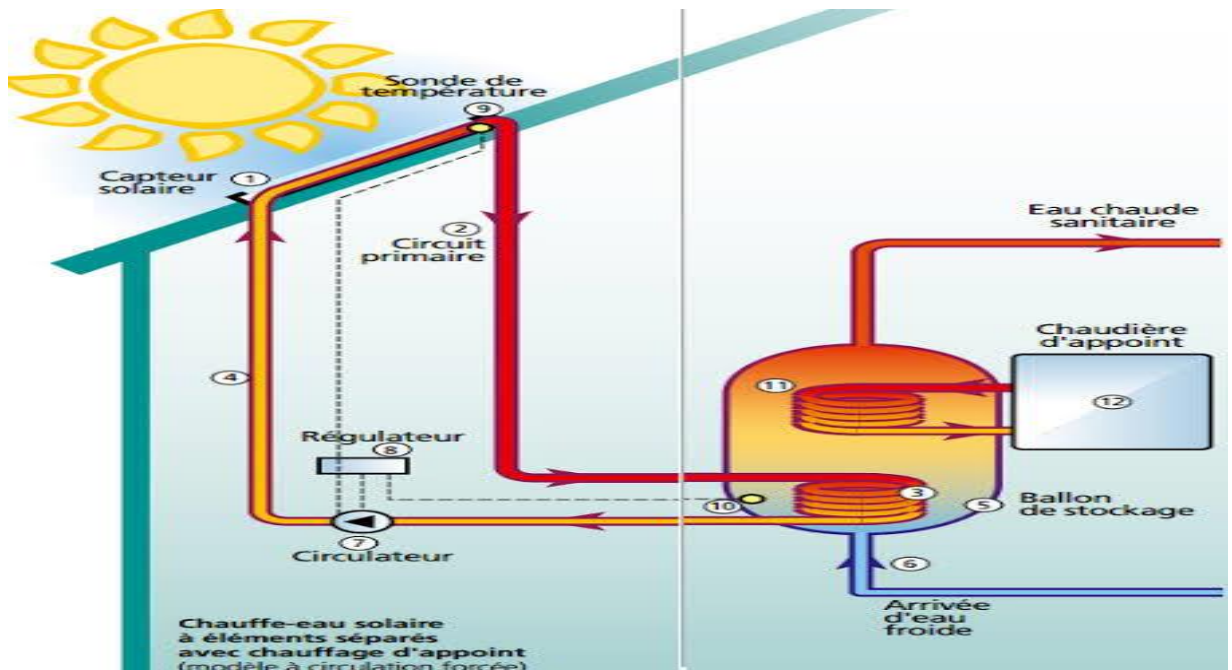


Figure 6 : Chauffe-eau solaire (<http://www.energie-online.fr/schemas/eauchaud/cesi.jpg>)

2. La vie dans les conditions thermophiles

La température crée une série de challenges, de la dévastation structurelle due à la formation de cristaux de glace à un extrême, à la dénaturation des biomolécules et des composants cellulaires à l'autre. Une grande variété de micro-organismes ont, cependant, été découverts et qui peuvent surmonter ces défis. Un tel groupe de micro-organismes comprend les thermophiles.

Le mot "thermophile" a été dérivé de deux mots grecs "thermotita" (signifiant chaleur) et "philia" (signifiant amour).

Les thermophiles sont des organismes aimant la chaleur, qui non seulement tolèrent des températures élevées, mais aussi nécessitent généralement ces dernières pour leur croissance et leur survie. Un thermophile tel que l'a défini **Brocken (1978)** est « un organisme capable de croître aux températures maximales ou presque, pour le groupe taxonomique dont il fait partie ». Les températures pour leur croissance varient de 50°C à 121°C, la température utilisée pour la stérilisation dans les autoclaves. Ces micro-organismes ont été classés en thermophiles modérés dont l'optimum de croissance se situe entre 40°C et 60°C, les thermophiles extrêmes (entre 60°C à 85°C) et les hyperthermophiles (>85°C)(**figure 7**)(Mehta et Satyanarayana, 2013).

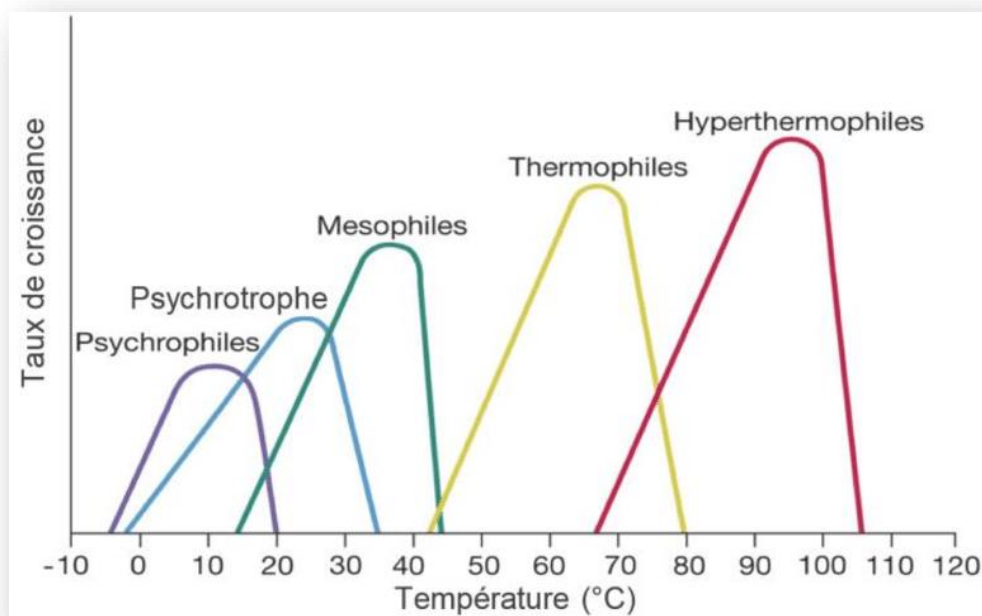


Figure 7: Classification des micro-organismes en fonction de leur température de croissance (Pillot, 2018).

La limite supérieure de température actuellement connue pour la vie est de 121°C (Kashefi et Lovley, 2003), qui correspond à la limite de température maximale pour la croissance et la survie de procaryotes non photosynthétiques. Les procaryotes photosynthétiques ne peuvent pas croître à des températures aussi élevées, leur limite supérieure se situe entre 70 et 73°C.

Les procaryotes thermophiles sont connus depuis plus de 90 ans, alors que les hyperthermophiles ont été reconnus il y a seulement quatre décennies (Stetter, 1982). La limite supérieure de température pour les microorganismes eucaryotes est encore plus faible, approximativement entre 60 à 62°C (Tansey et Brock, 1972), à laquelle seules quelques espèces de champignons peuvent croître. Certains genres microbiens thermophiles et hyperthermophiles sont répertoriés dans le **tableau 1**.

Les limites supérieures de température pour les algues eucaryotes et les protozoaires sont légèrement inférieures (55 – 60°C).

Au cours des dernières décennies, une grande diversité de micro-organismes a été découverte dans des environnements chauds, à la fois naturels et artificiels.

Bien que de nombreux thermophiles appartenant à des groupes phylogénétiquement distincts ont été cultivés et sont utilisés pour diverses applications biotechnologiques, une diversité imprévue d'espèces thermophiles dans des environnements à haute température est évidente par examen microscopique direct, amplification de l'ADNr 16S et autres techniques culture-indépendantes. Ceci indique qu'il y a beaucoup plus de thermophiles qui sont encore à cultiver.

Tableau I : Classification de quelques genres microbiens thermophiles et hyperthermophiles selon leurs températures optimales de croissance (Mehta et Satyanarayana, 2013).

Catégorie	Températures optimales (C°)	Exemples
Thermophile modéré	40-60 C°	<i>Tepidibacter</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Exiguobacterium</i> , <i>Caminiibacter</i> , <i>Lebetimonas</i> , <i>Hydrogenimonas</i> , <i>Nautilia</i> , <i>Desulfonauticus</i> , <i>Sulfurivirga</i> , <i>Caminiicella</i> , <i>Vulcanibacillus</i> , <i>Marinotoga</i> ,

		<i>Caldithrix, Sulfobacillus, Acidimicrobium, Hydrogenobacter, Thermoplasma, Mahella, Thermoanaerobacter, Desulfovibrio</i>
Thermophile extrême	60-85 C°	<i>Methanocaldococcus, Thermococcus, Palaeococcus, Methanotorris, Aeropyrum, Thermovibrio, Methanothermococcus, Thermosipho, Caloranaerobacter, Thermodesulfobacterium, Thermodesulfatator, Deferribacter, Thermosipho, Desulfurobacterium, Persephonella, Kosmotoga,</i>
Hyperthermophile	>85 C	<i>Geogemma, Archaeoglobus, Methanopyrus, Pyrococcus, Sulfolobus, Thermoproteus, Methanothermus, Acidianus, Ignisphaera, Ignicoccus, Geoglobus</i>

Chez les *Bacteria*, il existe un grand nombre de bactéries thermophiles anaérobies hétérotrophes à Gram positif de l'ordre des *Clostridiales* (*Thermoanaerobacterium, Carboxydibrachium, etc...*), mais également des espèces aérobies appartenant au phylum des *Deinococcus-Thermus* telles que les espèces des genres *Thermus, Rhodothermus, etc...* À des températures plus élevées (parfois au-delà de 80°C), on retrouve des membres des phylums *Aquificae, Thermotogae* et *Thermodesulfobacteria* qui sont pour la plupart anaérobies capables de réduire les composés soufrés, excepté les *Aquificae* dont les représentants sont essentiellement des micro-aérophiles pouvant croître en autotrophie en utilisant l'hydrogène comme source d'énergie (Madigan et al, 2007).

Chez les *Archaea* thermophiles et hyperthermophiles, il existe deux phylums, celui des *Euryarchaeota* regroupant des hyperthermophiles (croissance possible jusqu'à 110°C pour certains) producteurs de méthane ou *Methanoarchaea*, le plus souvent chimio-litho-autotrophes et des chimioorganotrophes. On distingue chez les *Methanoarchaea* en particulier, les *Methanococcales* isolées d'environnements hydrothermaux sous-marins ou terrestres, les *Methanopyrales* dont l'unique représentant, *Methanopyrus kandleri*, est la *Methanoarchaea* la plus thermophile.

Parmi les chimioorganotrophes, les *Thermoplasmatales* sont les thermophiles les plus acidophiles connues chez les anaérobies. Elles colonisent des habitats chauds et acides tels que les terrils et des sources chaudes terrestres.

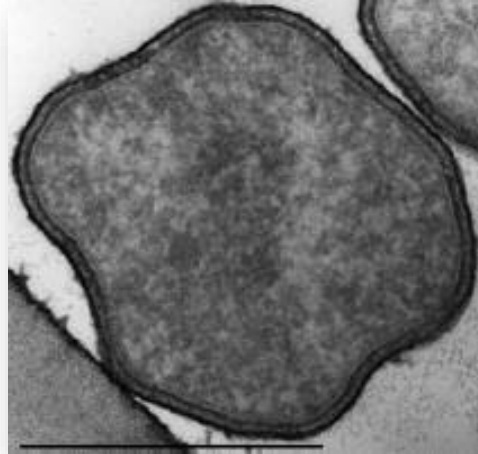
En ce qui concerne les *Thermococcales* le plus souvent isolées de sources Hydrothermales océaniques profondes et côtières, mais également des eaux de gisements pétroliers, elles sont capables de se développer sur des substrats organiques complexes (protéines, sucres) et ont la capacité de réduire le soufre élémentaire en hydrogène sulfuré (H₂S).

Enfin les *Archaeoglobales* représentées par seulement 3 genres (*Archaeoglobus*, *Geoglobus* et *Ferroglobus*) sont impliquées dans la réduction des composés soufrés ou du fer. Le phylum des *Crenarchaeota* est lui composé en majorité de micro-organismes chimio-lithoautotrophes et quelques espèces chimioorganotrophes. On citera en particulier les *Sulfolobales*, qui sont plutôt spécifiques des habitats chauds terrestres alors que les *Desulfurococcales* colonisent essentiellement les habitats volcaniques sous-marins. Ces derniers sont des hyperthermophiles chimioorganotrophes aérobies ou anaérobies qui métabolisent le soufre. Ils peuvent être également chimio-lithotrophes stricts, souvent capables de réduire le soufre élémentaire. Une des caractéristiques majeures de cet ordre est qu'il comporte les organismes les plus thermophiles connus à ce jour : les espèces des genres *Pyrodictium* et *Pyrolobus* sont en effet capables de se développer à des températures supérieures à 100°C. *Pyrolobus fumarii* isolé d'une cheminée hydrothermale de l' dorsale médio Atlantique détient le record de la température de croissance la plus élevée (113°C) chez les procaryotes.

En ce qui concerne les *Sulfolobales*, les espèces du genre *Sulfolobus* plus particulièrement sont capables d'oxyder les composés soufrés (H₂S et S⁰) en acide sulfurique et ainsi que celles du genre *Acidianus* sont capables aussi bien d'oxyder S⁰ en acide sulfurique que de le réduire en H₂S (Holden, 2009 ; Gregoire, 2009).



Figure 08 : Bactérie thermophile tubulaire
(Brock, 1969)



3. L'adaptation microbienne à la température

La structure et les activités cellulaires sont affectées par divers facteurs, dont la température.

Pour que tout microorganisme se développe à haute température, ses principaux composants, y compris les protéines, acides nucléiques et lipides, doivent pouvoir résister à la chaleur. Par conséquent, les thermophiles ont accumulé diverses adaptations qui leur permettent de prévaloir et de prospérer à un niveau élevé de température.

3.1. Stabilité des protéines

La composition en acides aminés des protéines de procaryotes thermophiles présente les mêmes caractéristiques que leurs équivalents mésophiles. Néanmoins les protéines thermostables présentent des caractéristiques spécifiques.

La thermostabilité des enzymes des thermophiles peut atteindre 140°C (**Adams et Kelly, 1995**). Les études structurales de plusieurs protéines thermostables ont montré que certaines caractéristiques sont fortement corrélées avec la thermostabilité (**Ladenstein et Antranikian, 1998**).

Un noyau hydrophobe aide à exclure le solvant des régions intérieures de la protéine, la rendant plus résistante au déploiement. Une augmentation significative dans la proportion des codons NTN qui codent pour des acides aminés non polaires et hydrophobes (isoleucine, leucine, méthionine, phénylalanine et valine) s'est révélée être en corrélation avec l'augmentation de la température optimale de croissance pour la plupart des bactéries et des archaea. Cela indique le recours à l'hydrophobicité pour stabiliser les protéines à un niveau élevé de températures (**Lieph et al., 2006**).

Un petit rapport (surface / volume) améliore probablement la stabilité de la protéine en lui conférant une forme compacte. Une réduction de la teneur en glycine des protéines thermostables confère plus de rigidité, de même que les interactions ioniques qui forment un réseau sur la surface de la molécule, aide la protéine compactée à résister au dépliement à haute température (**Ladenstein et Antranikian, 1998**). Les protéines thermophiles présentent une proportion plus élevée en acides aminés thermophiles ; par exemple, des résidus de proline avec moins de degrés de liberté. Une teneur plus élevée en arginine et une réduction du nombre total de résidus instables thermiquement tels que la Cys, Lys, Met, Asn et Gln(**Cicicopol et al., 1994**) ont été rapportées pour les protéines thermostables.

La stabilité des protéines peut également être favorisée par l'accumulation du potassium intracellulaire et des solutés tels que le 2,3-diphosphoglycérate.

Les protéines ont développé des stratégies à maintenir l'intégrité protéique et à fonctionner de manière optimale dans des températures élevées cela, en augmentant la teneur en paires d'ions, ou en passant de la structure monomérique à la structure oligomérique(**Cicicopol et al., 1994**). En créant des réseaux supplémentaires de liaisons hydrogène (**Jaenicke et Bohm, 1998**). En augmentant le nombre de liaison disulfures (**Beeby et al., 2005**). En diminuant la longueur des boucles de surface qui connectent les éléments de la structure secondaire (**Thompson et Eisenberg, 1999**). Et en échangeant des acides aminés de telle manière à augmenter la propension des résidus en hélices- α . La présence de liaisons ioniques non covalentes, appelées ponts de sel sur la surface d'une protéine, joue probablement un rôle majeur dans le maintien de la structure protéique biologiquement active (**Das et Gerstein, 2000**).

En plus de ces facteurs, certaines protéines auxiliaires, telles que les chaperonines moléculaires, facilitent également la thermostabilité des protéines.

Les chaperonines (protéines de choc thermique) ont pour fonction de replier des protéines partiellement dénaturées. Les archaea hyperthermophiles produisent des classes spéciales de chaperonines qui ne fonctionnent que dans des températures de croissance élevées.

Une chaperonine connue sous le nom de thermosome(**Andră et al., 1998**) a été caractérisée des thermophiles : *Methanopyruskandleri*, *Pyrococcusabyssi* et *Pyrodictiumoccultum*. On pense que ce complexe se lie aux protéines dénaturées par la chaleur, empêchant leur agrégation, les repliant dans leur forme active (**Andră et al., 1998**) et aidant les cellules à survivre, même à des températures supérieures à leur température de croissance maximale. Par exemple, les cellules de *Pyrococcusabyssi* peuvent rester viables même après un

traitement d'une heure dans l'autoclave (à 121°C). Ainsi, la limite supérieure de température à laquelle de nombreux hyperthermophiles peuvent survivre est plus élevée que la température supérieure à laquelle ils peuvent se développer, en raison de l'activité des chaperonines.

3.2. Stabilité de l'ADN

Plusieurs facteurs peuvent se combiner pour donner une stabilité thermique à l'ADN des thermophiles, comprenant des niveaux élevés de K⁺ (Marguet et Forterre, 1998), l'ADN gyrase reverse (Forterre et al., 1996 ; Van der Oost et al., 1998) et les histones ou d'autres protéines de liaison à l'ADN (Pereira et Reeve, 1998).

Le cytoplasme du méthanogène hyperthermophile *Methanopyrus* contient des taux molaires de potassium et de 2,3-diphosphoglycérate cyclique. Ce soluté empêche la dépurination ou la dépyrimidination de l'ADN, ce qui provoque des mutations (Marguet et Forterre, 1998) à des températures élevées.

Le surenroulement positif de l'ADN peut être un facteur important de stabilisation de l'ADN à des hautes températures. Tous les hyperthermophiles produisent une protéine unique appelée la gyrase reverse (Forterre et al., 1996 ; Van der Oost et al., 1998). C'est une topoisomérase de type I. Il a été démontré qu'elle catalyse le surenroulement positif de l'ADN circulaire fermé (ADNcc). Pour diverses raisons, en particulier, son nombre de liaisons plus élevé, l'ADN surenroulé positivement résiste mieux à la dénaturation thermique que le fait l'ADN surenroulé négativement (Forterre et al., 1996). Par ailleurs, les sels monovalents et divalents améliorent la stabilité des acides nucléiques, car ces sels filtrent les charges négatives des groupements phosphates et parce que le KCl et MgCl₂ protègent l'ADN de la dépurination et l'hydrolyse (Marguet et Forterre, 1998).

La paire d'acides nucléiques G–C est plus thermostable que les paires A–T ou A–U en raison de la liaison hydrogène supplémentaire (Galtier et al., 1999). Mais des ratios élevés de G et C ne sont pas trouvés dans les génomes de procaryotes thermophiles, bien que la thermostabilité ait été corrélée à une augmentation dans les paires G–C de leurs petites sous unités de l'ARN ribosomal et ARN de transfert (Galtier et Lobry, 1997).

De plus, chez les hyperthermophiles, d'autres protéines ont également pour fonction de maintenir l'intégrité de la forme en double brin de l'ADN. Plusieurs Euryarchaeotes contiennent des protéines histones-like, qui ressemblent aux histones de base des eucaryotes en termes de structure et de fonction (Pereira et Reeve, 1998 ; Sandman et al., 1998). Ils

enroulent et compactent l'ADN en structures nucléosome-like (**Pereira et al., 1997**) qui maintiennent l'ADN sous une forme double brin à des températures élevées (**Soares et al., 1998**). Des petites protéines de liaison à l'ADN comme Sac7d chez *Sulfolobus acidocaldarius* se lie d'une manière non spécifique au petit sillon d'ADN et augmente la température de fusion de l'ADN d'environ 40°C (**Robinson et al., 1998**). Des histones archéales de méthanogènes thermophiles comme *Methanothermus fervidus* et des halophiles comme *Halobacterium* ont été bien étudiées.

Les polyamines jouent également un rôle dans la stabilité de l'ADN et la stabilité d'autres macromolécules. Ces molécules (par exemple la putrescine et la spermidine) associées au Mg^{2+} jouent un rôle dans la stabilisation de l'ARN et l'ADN. Chez les archaea thermophiles, telles que *Sulfolobus*, les polyamines aident à stabiliser les ribosomes, facilitant ainsi la synthèse des protéines à hautes températures (**Mehta et Satyanarayana, 2013**).

3.3. Les lipides membranaires

Une température élevée augmente également la fluidité des membranes. Pour maintenir la fluidité optimale de la membrane, la cellule doit ajuster la composition de la membrane, c'est-à-dire la quantité et le type de lipides. Ainsi, les lipides membranaires des thermophiles contiennent plus d'acides gras saturés et de chaînes droites que les mésophiles. Cela permet aux thermophiles de se développer à des températures plus élevées en fournissant le bon degré de fluidité, nécessaire au bon fonctionnement de la membrane.

De nombreuses espèces d'archaea contiennent une couche de surface paracrystalline (couche S) avec une protéine ou glycoprotéine qui fonctionne comme une barrière protectrice externe.

Les lipides membranaires des archaea hyperthermophiles sont des tétraethers de dibiphytanyle. Les tétraethers de dibiphytanyle sont naturellement résistants à la température du fait de la présence d'une liaison covalente entre les unités phytanyles qui permet la formation d'une membrane monocouche contrairement à la membrane bicouche phospholipidique classique. Cette structure, étayée par des liaisons covalentes, est plus résistante à la température qui tend à séparer la bicouche lipidique classique. Des lipides de ce type ont été également identifiés chez des hyperthermophiles du domaine des bactéries (**Stetter, 1999**).

Chapitre II : Diversité de la microflore thermophile en Algérie

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

1. Les niches écologiques thermophiles en Algérie

En Algérie, les études en géothermie ont été menées principalement sur le Nord Algérien, « Carte Géothermique Préliminaire du Nord de l'Algérie », au 1/100 000 (M. Abouriche et al., 1988) ; S. Rezig, 1991, 1992). Ces études montrent que le Nord de l'Algérie compte un nombre important de sources thermales.

En effet, plus de 282 sources thermales ont été inventoriées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Elles sont réparties sur 24 wilayas, pour une plus forte concentration au Nord-Est du pays, avec une température allant de 20°C à 98°C. Ces sources thermales sont principalement exploitées en balnéothérapie (**Ouali et al., 2018**). Parmi les plus importantes, nous pouvons citer Hammam Meskhoutine (98 °C) à Guelma, Hammam Boutaleb (52 °C) à Sétif et Hammam Bouhanifia (66 °C) à Mascara. Trois zones à fort gradient géothermique sont mises en évidence ; au Nord-Ouest, au Nord-Est et au Centre Nord de l'Algérie, plus particulièrement dans les régions de l'Oranie, de la Kabylie et du Constantinois.

En plus des nombreuses sources thermales dans le Nord du pays, il existe dans le Sud Algérien et plus exactement dans le Sahara septentrional, une importante réserve en eau thermale qui est la nappe du continental intercalaire (**Ouali et al., 2006**).

1.1. Les stations thermales en Algérie

Les stations thermales Algériennes remontent à l'époque romaine. Aujourd'hui comme dans le passé, les stations thermales sont très sollicitées pour divers traitements d'ordre rhumatologique, dermatologique, respiratoire, psychiatrique et bien d'autres (**Medjamadj, 2021**). Parmi les nombreuses stations thermales qui existent en Algérie, les plus connues et les plus fréquentées sont citées par région. La **figure 9** suivante illustre les différentes sources thermales réparties sur le territoire Algérien.

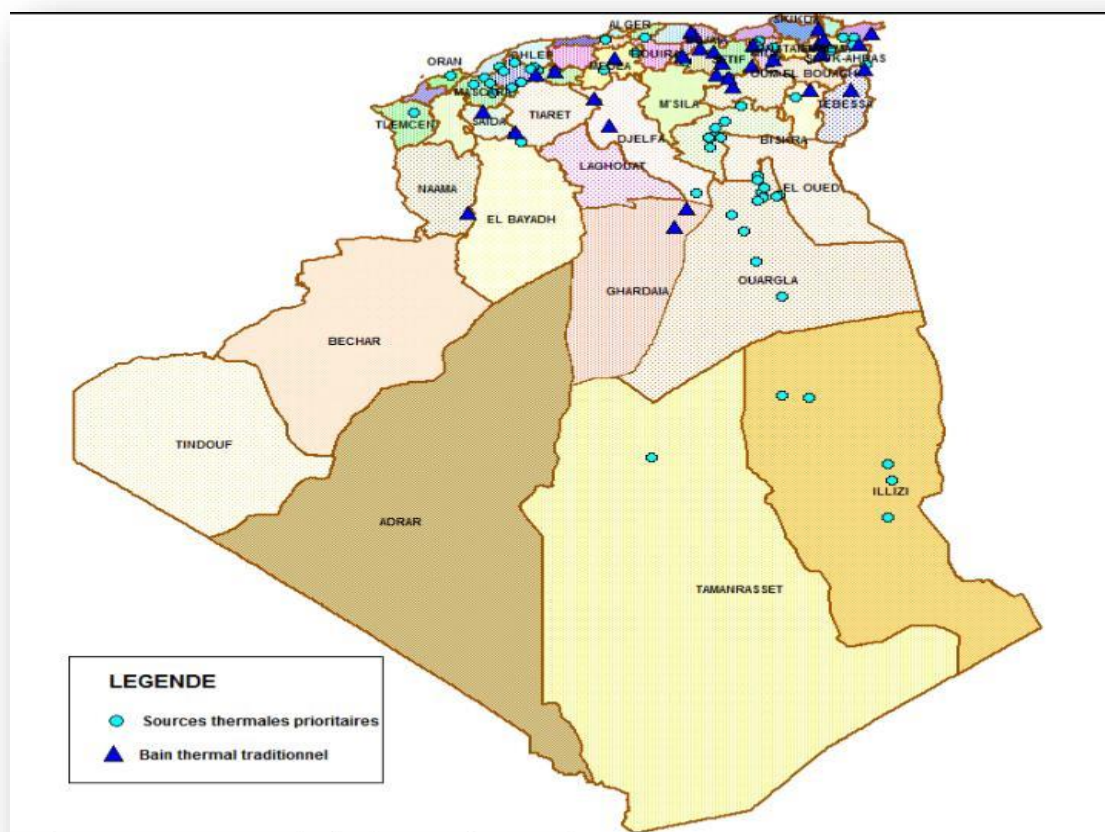


Figure 9 : Carte géographique montrant la répartition des stations thermales en Algérie. <https://images.app.goo.gl/jS4RVeUQWDEnbHMU7>

1.1.1. Hammam Bouhrara

Hammam Bouhrara 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 (**figures 10, 11**). Dans une zone essentiellement agricole avec un centre commercial et des équipements de loisir et de soins. La station thermale de hammam Bouhrara est mise en exploitation en 1974, ses eaux sulfatées et bicarbonatées sodiques, émergent à une température de 45°C (**Ouali, 2008**).



Figure 10 : Hammam Boughrara (Tlemcen) (Ouali, 2008).



Figure 11 : Localisation géographique de « hammam boughrara » (Google Maps)

1.1.2. Hammam Bouhadjar

Hammam Bouhadjar est situé 21 Km de la ville d'AïnTémouchent (figures 12, 13). Il s'élève sur une altitude de 150 mètres et s'étend au milieu des vignobles et d'oliviers sur une superficie de 603 240 m². La station thermale est mise en exploitation en 1974, on y dénombre une quarantaine de sources en majorité chaudes, entre 35 72°C. Les eaux chaudes et sulfureuses jaillissent des entrailles de la roche appelées «Dracones ». La qualité de ses eaux : eaux chlorurées sodiques (70 ° C) (Ouali, 2008).



Figure 12 : Hammam Bouhadjar (AïnTémouchent). (OUALI, 2008)

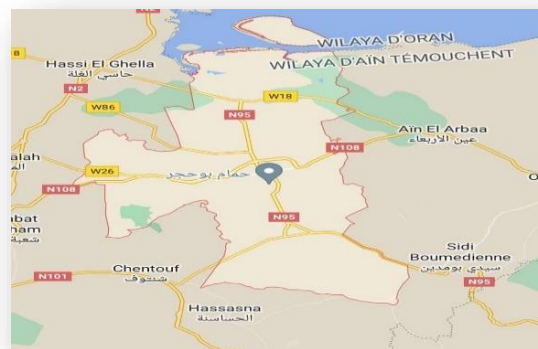


Figure 13 : Localisation de « hammam bouhadjar » sur Google Maps

1.1.3. Hammam Bouhanifia

Géographiquement, hammam Bouhanifia est situé à 25 Km au Sud-ouest de Mascara (figure 14, 15). Il s'étale dans un paysage sauvage dans le Tell oranais sur les bords de l'Oued El Hammam. La station thermale qui n'est qu'à 230 mètres d'altitude est entourée de montagnes culminant à 800 mètres. Les eaux thermales jaillissent à des températures entre 20 et 70°C. Reconnues d'utilité publique, les eaux de hammam Bouhanifia sont répertoriées par les spécialistes comme étant des eaux hyperthermales, thermales, chloro-sulfatées ayant un débit de 23 l/s. Bien que chaudes, les eaux de Bouhanifia sont agréables à déguster d'autant plus qu'elles tiennent en dissolution une grande quantité de gaz carbonique qui les rend éminemment digestibles (Choubah et Hadjab, 2015).



Figure 14 : Hammam Bouhanifia (Mascara).
(LAKHDARI et BOUAICHA, 2016)



Figure 15 : localisation de « hammam bouhanifia » sur Google Maps

1.1.4. Hammam Rabbi

La station thermale de Hammam Rabbi (figures 16, 17) a été mise en exploitation en 1970. Son eau a des origines profondes et arrive en surface sous pression à une température moyenne de 40°C et un débit moyen de 8 l/s (Lakhdari et Bouaicha, 2016).



Figure 16 : Hammam Rabbi (Saïda)(Lakhdari et Bouaicha, 2016)



Figure 17 : Localisation de « hammam rabbi » sur Google Maps

1.1.5. Hammam Righa

Se situe à 100 kilomètres d'Alger, dans la Wilaya d'Ain Defla (figures 18, 19). Ses conditions climatiques propices, ses richesses minérales, ses équipements modernes font de cette station une destination très prisée. Les eaux thermales de Righa qui sourdent à une température de 68° et 44°, sont favorables pour le traitement de plusieurs affections (Ouqli, 2008).



Figure 18 : Hammam Righa (Ain defla). (Office National du Tourisme)

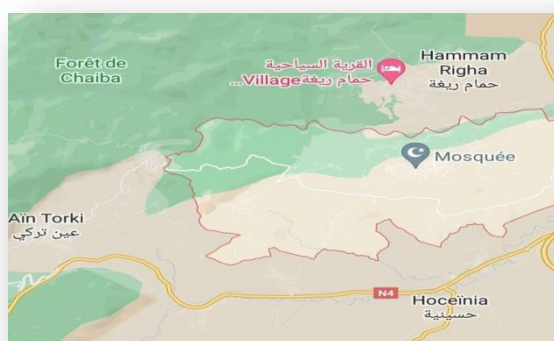


Figure 19 : Localisation de « hammam Righa » sur Google Maps

1.1.5. Hammam Debagh :

Hammam Debagh (Meskhoutine) est situé à 20 km au Sud du Chef-lieu de la Wilaya de Guelma (36°27'N, 7°16'E) et à 320m d'altitude(figures 20, 21). Le site comprend neuf sources d'eaux hyperthermales, les plus chaudes d'Algérie, atteignant jusqu'à 98°C au point d'émergence de l'eau. Elles sont de nature saline, bicarbonatée calcique et chlorurée sodique, avec dégagement d'hydrogène sulfuré. Ces eaux sont exploitées par les stations thermales environnantes (Boughlali, 2003).



Figure 20 : Hammam Debagh (Guelma). (LAKHDARI et BOUAICHA, 2016)



Figure 21 : Localisation de « hammam Debagh » sur Google Maps

1.1.6. Hammam Salihine

Site touristique et thérapeutique par excellence, situé dans la commune d'El Hamma (**figures 22, 23**). A 7 Km du chef lieu de la wilaya de Khenchela. La date de son exploitation remonte à l'époque Romaine. La température de ces eaux est à 70°C (**Office National du Tourisme**).



Figure 22 : Hammam Salihine (Khenchela).
(Office National du Tourisme)



Figure 23 : Localisation de « hammam salihine Khenchela » sur Google Maps

1.1.7. Hammam Guerguour

La station thermale de hammam Guerguour est située à 60 Km au Nord-Ouest de Setif (**figures 24, 25**), à la sortie des gorges traversées par l'Oued Boussellem. Elle est dominée notamment par le Djebel Kraim el-Rar et le Djebel Tafat culminant à plus de 700 mètres d'altitude. Les études physico-chimiques faites à diverses reprises ont toutes conclu à la radioactivité des eaux thermales et minérales . Elles sont classées au 1^{er} rang en Algérie et au 3^{ème} rang mondial après les bains de Brembach (Allemagne) et les bains de Jachimov (Tchécoslovaquie). Son taux de radioactivité est de 122 milli microcuries/l. Elles se placent de par leur composition chimique dans le groupe des eaux sulfatées-calciques et chlorurée sodiques dont les eaux sont hyperthermales à une température avoisinant les quarante quatre degrés (**Choubah et Hadjab, 2015**).



Figure 24 : Hammam Guerguour (Sétif).
(OUALI, 2008)



Figure 25 : Localisation de « hammam Guerguour » sur Google Maps

1.1.8. Autres sources thermales en Algérie

Le tableau suivant résume les localisations sources thermales en Algérie.

Tableau II : Localisation géographique des sites des eaux thermales en Algérie. (d'après l'agence du bassin Cheliff-Zahrez, 1983, tiré du travail de **Lakhdari et Bouchaïcha, 2016**)

Noms des sources Thermales	localité
Ain Ourka	Naama
Les Abdellys	Tlemcen
Nazareg	Tlemcen
H.benchiguer	Relizane
Le blanc	Blida
Takitount	Béjaia
Ain n'sour	Ain defla
O.ghalia	boumerdes
H.melouane	Blida
H.berrouaghia	Médéa
H.ksenna	Bouira
H.elbiban	Bordj bou arreridj
Ben-Haroun	Mila
Sidi-m'cid	Constantine
Le hamma	Constantine
Ain tinn	Mila
O.hamimime	Souk Ahras

H.bradaa	Guelma
H.n'bails	Guelma
Youks-Les bains	Tébessa
H.bouakkaz	Mila
h.grouz	Constantine
H.bou-sellam	Sétif
H.zaid	El Tarf
H.tassa	Souk Ahras
H.beni-guécha	Mila
H.salihine	Biskra

2. La diversité des microorganismes thermophiles Algériens

Depuis ces dix dernières années, l'attention des chercheurs Algériens s'est enfin retournée vers la caractérisation de la microflore des écosystèmes extrêmes, notamment thermophiles. Les endroits les plus explorés restent sans doute, les sources thermales. Néanmoins, pas mal de travaux ont été menés dans le sol du désert Algérien où de nombreux genres d'Actinomycètes, voire nouveaux, y ont été identifiés.

2.1. Diversité des sources thermales

2.1.1. Hammam Debagh (Guelma)

Etant la source thermale la plus chaude en Afrique(Naimi et Cherif, 2021), "Hammam debagh" a souvent suscité la curiosité des équipes Algériennes.

En 2007, **Kecha et al. (2007)** y avaient isolé une nouvelle archabactérie (la souche HT3) appartenant au genre *Pyrococcus*. Cette archea avait un optimum de croissance entre 80 et 85°C pour la température et 1, 5% pour la salinité.

Gomri, en 2012, dans son travail de magistère, avait isolé 83 souches bactériennes thermophiles aérobies à partir d'échantillons d'eau et de sédiments prélevés au niveau de plusieurs sites géothermaux répartis entre les régions de Guelma Debagh et Ouled Ali et d'Ouargla Sidi Mahdi situés respectivement au Nord-est et au Sud-est de l'Algérie. Ces souches *Anoxybacillusvoinovskiensis* , *Anoxybacillusrupiensis*, *Anoxybacillusflavithermus* , *Anoxybacillusayderensis* , *Aeribacilluspallidus*, *Thermobacillusxylanilyticus* et *Caldimonas hydrothermale*, se développent sur un intervalle de température de 30°C à 70°C, entre pH 6,5 et 8. Les souches *Thermaerobacterlitoralis* , *Geobacilluscaldoxylosilyticus* , *Ureibacillusterrenus* , *Saccharococcus thermophiles* , *Geobacillusthermoglucosidans*,

Geobacillus thermantarcticus , *Geobacillus jurassicus* , *Geobacillus thermodenitrificans* , *Anoxybacillus caldiproteolyticus* , *Anoxybacillus tepidamans* , *Geobacillus stearothermophilus* , *Geobacillus toebii* et *Caldibacillus debilis* majoritairement à Gram positif, se développent entre 45°C et 70°C et le pH optimum est compris entre 7 et 7,5.

Yakhlef et al, (2012) avaient à nouveau isolé de la source hammam Debagh une souche appartenant au genre *Geobacillus*.

En 2015, **Larbi Daouadji, (2015)** avait récupéré 8 bacilles à Gram positif de la source Hammam Debagh. Un isolat était affilié au genre *Geobacillus* (35-70°C et pH 6-10) précédemment décrit. Les autres étaient identifiés comme *Aeromonas hydrophila* (40-65°C et pH 6-7), *Bacillus coagulans* (60-70°C et pH 7-10), *Bacillus pumilus* (45-60°C et pH 7-9) , , *Brevibacillus* (45-75°C et pH 6-8), *Pasteurella pneumotropica* (60-70°C pH 5-8), et *Bacillus carotarum* (50-70°C et pH 6-7).

En suite, **Benkahoul et al., (2017)** avaient rapporté pour la première fois la dominance du genre *Bacillus* dans une collection de 13 souches isolées de la source hammam Debagh où les isolats étaient identifiés : *Bacillus coagulans*, *B. licheniformis*, *Geobacillus thermoleovorans* , *B. stearothermophilus* , et *B. thermoamylolyticus*.

Mais ce n'est qu'en 2018, qu'ont apparus les premiers travaux traitant de la diversité microbienne proprement dite de la source Hammam Debagh. **Arab et al. (2018)** avaient isolé, par approche culture dépendante, 41 souches bactériennes à partir des neuf griffons existant dans le site « Echallala » de Hammam Debagh . Ces souches appartenaient à 4 genres bactériens dominés par le genre *Bacillus* représenté avec les espèces *B. mojavensis* (16), *B. licheniformis* (11), *B. subtilis* (2), *B. atrophaeus* (1), *B. amylolyticus* (1) et *B. pumilus* (1). Le genre *Aeribacillus* représenté par l'espèce *A. pallidus* (3), le genre *Geobacillus* représenté par l'espèce *G. toebii* (2), et le genre *Hydrogenophilus* représenté par l'espèce *H. hirschii* (4). Un mois plus tard, **Gomri et al. (2018)** avaient retrouvé par approche culturale aussi, 4 genres bactériens qui étaient : *Bacillus* et *Geobacillus*, mais encore *Anoxybacillus* et *Brevibacillus*. La métagénomique, par contre a révélé, l'existence de nombreux phyla bactériens et archéens.

Toujours dans la même année, **Guellati , (2018)** a mis en évidence deux cyanobactéries connues pour leurs occupations de niches écologiques différentes : *Planktothrix rubescens* et *Microcystis* sp.

En 2020, **Benammar et al, (2020)** avaient rapporté l'existence d'autres espèces microbiennes dans cette source et qui sont : *Aeribacillus composti* , *Aneurinibacillus thermoaerophilus* , *Anoxybacillus kaynarcensis* , *Bacillus haynesii*, *Bacillus hisashi*, *Bacillus kokeshiformis*, *Bacillus thermocopriae* , *Brevibacillus aydinogluensis* , *Meiothermus ruber* , *Thermobifidafusca*, et *Thermusantranikianii*.

Des champignons thermophiles ont été également isolés de la source Hammam Debagh. Ils ont été identifiés comme *Mycothermus thermophilus* (**Talhi et al, 2022**).

2.1.2. Les autres sources thermales

L'investigation de la diversité microbienne de la source Hammam Righa a commencé avec les travaux de **Larbi Daouadji, (2015)** où on a identifié des espèces de *Bacillus licheniformis*, *B. subtilis* , et *B. fusiformis* avec des optima de croissance entre 60 - 65°C pour la température et 7.2 à 7.74 pour le pH. **Bouacem et al., (2022)** avaient rapporté l'existence des genres *Meiothermus*, *Albidovulum* , *Hydrogenophilus*, *Tepidimonastaiwanensi*, *Anoxybacillus*, *Geobacillus*, *Bacillus*, et *thermoaerobacter*. **Merchri et al. (2021)**, avaient isolé l'espèce *Anoxybacillus kamchatkensis*.

A Hammam Sidi Yahia (béjaia), **Amarouche-Yala et al., (2014)** ont identifié des cyanobactéries identifiées : *Leptolyngbya amplivaginata*, *Fischerella thermalis* , *Synechococcus elongatus*, et *Geitlerinema* sp. Comme ils ont identifié *Cyanobacterium* sp. dans la source Ibainen.

A la source Ouled Ali : (Guelma), **Yakhlef et al, (2012)** avaient isolé une souche de *Pseudomonas* sp. Sa température de croissance optimale se situait entre 45 et 55 °C et. Le pH optimal pour la croissance était compris entre pH 7 et 7,5.

Dans la wilaya de Khenchela, **Amarouche-Yala et al, (2014)** avaient isolé des cyanobactéries dans la source thermale El Knif, identifiées *Leptolyngbya* sp., *Leptolyngbya foveolarum*, et *Gloeocapsa* sp. Toujours dans la même source, **Benammar et al, (2020)** avaient isolé quatre espèces qui sont *Aneurinibacillus thermoaerophilus*, *Anoxybacillus gonensis*, *Bacillus licheniformis*, et *Brevibacillus aydinoghensis*.

A Hammam Essalihine (Khenchela) **Amarouche-Yala et al, (2014)** avaient identifié les cyanobactéries *Leptolyngbyasp*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Stigonema* sp, et *Fischerella* sp. Pour les espèces bactériennes, **Benammar et al, (2020)** avaient rapporté l'existence de sept genres isolés à une température de 52,7 °C et pH de 8,03 et dont les espèces étaient : *Aeribacilluscomposti*, *Aeribacilluspallidus* , *Aneurinibacillusthermoaerophilus* , *Bacillus havesii* , *Bacillus licheniformis* , *Brevibacillusaydinoghuisensis* et *Brevibacillusthermoruber*. **Medjemdj et al., (2021)** avaient isolés des actinomycètes également : *Streptomycesambofaciens*, et *Streptomycesleeuwenhoekii* à Hammam Essalihine. Par ailleurs, la diversité microbienne de cette source a été bien abordée par approche métagénomique dans le travail de **Adjroud et al., (2020)**.

A Hammam El bibanes (Bordj bou arreridj), **Amarouche-Yala et al, (2014)** avaient isolé des cyanobactéries : *Leptolyngbyafoveolarum* , *Anabaenopsis* sp.

A Hammam Belhachani (Guelma), **Yakhlef et al, (2012)** avaient isolé une archea *Thermussp.* dont le pH optimal de croissance entre 7,5 et 8,0 et une température optimale entre 60 et 70 °C. En 2020, **Benammar et al,** ont identifié 11 genres bactériens qui se sont avérés pour la plupart Gram-positifs: *AeribacillusComposti*, *Aeribacilluspallidus*, *Anoxybacillusflavithermus*, *Anoxybacillusgonensis*, *Anoxybacillusgonensis*, *Anoxybacillusthermarum*, *Bacillushaynesii*, *Bacillus kokeshiiformis*, *Bacillus licheniformis*, *Laceyellasacchari*, *Saccharomonospora viridis*, et *Thermoactinomycesvulgaris*,

A Hammam Guerfa (Guelma), **Benammar et al, (2020)** avaient signalé la dominance du genre *Bacillus* représenté par l'espèce *Bacillus haynesti*, *Bacillus hisashi*, *Bacillus sonorensis*, et le genre *Geobacillus* par les deux espèces *Geobacillusicigianus* et *Geobacillusstearothermophilus*,

A Hammam Guergour, **Aissat et Mekkaï (2018)** avaient isolé deux genres bactériens : *Bacillus* et *Brevibacillus* avec dominance du genre *Bacillus* : *Bacillus tequilensis*, *Bacillus pumillus*, *Bacillus licheniformis* , *Brevibacillusbrevis*, *Bacillus Smithii*, *Brevibacillusparabrevis*, *BacillusSmithii*, *Bacillus subtilis*, et *Bacillus thuringiensis*.

A Hammam les frères Chaouch (Tleghma, Mila), **Medjemadj et al., (2021)** avaient isolé un ensemble d'espèces appartenant toutes au genre *Streptomyces*. (*Rathayibactertriticis*,

Streptomycesgriseoflavus, *Streptomycesolivaceu*, *Streptomycesambofaciens*,
Streptomycesambofaciens, *Streptomycespseudogriseolus* , et*Streptomycesalthioticus*).

A Batna, **Benammar et al, (2020)** avaient isolés les espèces : *Aeribacilluscomposti* ,
Aeribacilluspallidus , *Aneurinibacillusthermoaerophilus* , *Anoxybacillusgonensis* , *Bacillus*
sonorensis , *Bacillus licheniformis* , *Thermoactinomycesvulgarisave* à Hammam Gherdjima
et *Aeribacilluspallidus*, *Anoxybacillusgonensis* , *Anoxybacilluskaynarcensis*,
Anoxybacilluspushchinoensis, *Anoxybacillussalavathiensis* , *Bacillus hisashii*,
Brevibacillusaydinoghuensis, *Meiothermoxruber*, et *Thermoactinomycesvulgaris* à Hammam
Saida.

A Hammam Bouhanifia (Mascara), **Larbi Daouadji et al., (2015)** avaient récupéré 11
isolats : *B. subtilis* (40-80°C, pH 7-8), *Enterococcus* (40-50 °C, pH 7-10), 3 isolat de *B.*
coagulans (30-60°C, pH 6-8), *S. aureus* (35-50 °C, pH7-9) , *Bacillus subtilis* (40-50°C, pH
6-8), *P. aeruginosa* (35-60 °C, pH 6-8), *B. cereus*(40-60 °C, pH 7-8 forme) , *Lactobacillus*
(45-60 °C, pH 6-7) , et *Pseudomonassp.*(50-60 °C, pH 7-10).

A Hammam Bouhadjar (Témouchent), **Amarouche-Yala et al, (2014)** avaient isolé
Leptolyngbyafoveolarum, *Synechocystisthermalis* , *Synechococcuselongatus*, *Geitlerinemasp*,
Cyanodictyonsp. **Larbi Daouadji et al., (2015)** avaient isolé *Bacillus amyloliquefaciens*,
Aeromonashydrophila, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*,
Pasteurilla, *Pseudomonas aeruginosa*, *Burkholderiacepacia* et *Bacillus scarotarum*.

A Hammam rabbi (Saïda), **Larbi Daouadji et al., (2015)** avaient isolé : *Bacillus subtilis*,
Pseudomonas aeruginosa, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Morganellamorganii*,
Aeromonashydrophila, et *Bacillus amyloliquefasiens*.

A Hammam Sidi El Hadj (Biskra), sept genres microbiens ont été identifiés dominés par
le genre *Bacillus* et ont été isolés par **Benammar et al, (2020)**: *Anoxybacillusgeothermalis*,
Anoxybacillusgonensis, *Bacillus haynesii*, *Bacillus hisashi*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus*
paralicheniformis et *Brevibacillusaydinogluensis*.

Les différentes espèces microbiennes isolées des sources thermales Algériennes sont
compilées dans le **tableau III** suivant.

Tableau III : Liste des microorganismes thermophiles isolés des sources thermales

Genre/espèce	Source	Température optimale (c°)	Commentaires	Références
<i>Geobacillus</i> sp	Hammam Debagh Hammam Righa	98C° 35C°-70C° 68C° 60C° 60C°	Gram positives forme de bâtonne	(Yakhlef et al,2012) (Larbi, 2015) (Gomri et al, 2018) (Bouacem, 2016) (Bouacem et Bouanane, 2021) (Bouacem et al, 2022)
<i>Anoxybacillus</i> <i>voinovskiensis</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	de 30°C à 70°C	bâtonnets à Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Anoxybacillus</i> <i>rupiensis</i> ,	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	de 30°C à 70°C	bâtonnets à Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Anoxybacillus</i> <i>flavithermus</i> ,	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi Hammam Belhachani	de 30°C à 70°C 72,2C°	bâtonnets à Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Anoxybacillus</i> <i>aderensis</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	de 30°C à 70°C	bâtonnets à Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Aeribacillus</i> <i>pallidus</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi Hammam Essalihin	de 30°C à 70°C 52,7C°	bâtonnets à Gram positif	(Gomri,2012) (Benammar et al, 2020)
<i>Thermobacillus</i> <i>xylanilyticus</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	de 30°C à 70°C	bâtonnets à Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Thermaerobacter</i> <i>litoralis</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Geobacillus</i> <i>caldosilyticus</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Ureibacillus</i> <i>terrigenus</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)

<i>Saccharococcus thermophiles</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Geobacillusthermoglucosidans</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Geobacillusthermantarcticus</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Geobacillusjurasicus</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Geobacillusthermodenitrificans</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Anoxybacilluscauldiproteolyticus</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Anoxybacillusstepidamans</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Geobacillusstearothermophilus</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Geobacillusstoebii</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri, 2012) (Arab et al ,2018)
<i>Caldibacillusdebilibi</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	45°C et 70°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Kroppenstedtiaeburnean</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	50°C et 65°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Laceyellatengchongensis</i>	Debagh / Ouled Ali / Sidi Mahdi	50°C et 65°	Gram positif	(Gomri,2012)
<i>Leptolyngbya sp</i>	Hammam Debagh Hammam Essalihin Hammam knif Hammam Béni Guichet	45-70 C° 50C° 50C° 54C°	cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Leptolyngbyalaminosa</i>	Hammam Debagh	45-70 C°	cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)

<i>Gloeocapsagela tinosa</i>	Hammam Debagh	45-70 C°	cyanobactérie	(Amarouche et al,2014)
<i>Gloeocapsopsis crepidinum</i>	Hammam Debagh	45-70 C°	cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Aeromonashydrophilae</i>	Hammam Debagh	40C°-65C°	des bacilles à gram Positif	(Larbi, 2015)
<i>Bacillus coagulans</i>	Hammam Debagh Hammam bouhanifia Debagh	60C°-70C° 30-60C° 45C°	des bacilles à gram Positif	(Larbi, 2015) (Benkahoul et al, 2018)
<i>Bacillus pumilus</i>	Hammam Debagh Hammam guergour	45C°-60C° 45C°	des bacilles à gram Positif Gram+	(Larbi, 2015) (AISSAT et MEKKI,2018)
<i>Brevibacillus</i>	Hammam Debagh /Debagh Essalihin Sahara station hydrocarbu- resBachar	45C°-75C° 52,7C° 30-40C°	des bacilles à gram Positif	(Larbi, 2015) (Gomri et al, 2018) (Benammar et al, 2020) (Larbi, 2015)
<i>Pasteurella pneumotropica</i>	Hammam Debagh	60C°-70C°	des bacilles à gram Positif	(Larbi, 2015)
<i>Bacillus carotarum</i>	Hammam Debagh	50C°-70C°	des bacilles à gram Positif	(Larbi, 2015)
<i>Bacillus</i>	HammamD ebagh Hammam Righa / Debagh/ Righa	95C° 68C° 60C° 60C°	forme bâtonnet à Gram positif	(Belhaine et Latreche, 2016) (Bouacem, 2016) (Bouacem et al, 2022) (Bouacem et Bouanane, 2021) (Gomri et al, 2018) (Mechr et al, 2021)
<i>B. licheniformis</i>	Hammam Debagh Hammam bouhdjar Hammam Righa Hammam Essalihin Hammam	45C° 40-70C° 60-65C° 52,7C°	Gram+	(Benkahoul et al, 2017) (Arab et al, 2018) (Larbi, 2015) (Benammar et al, 2020)

	Bouhdjar	35-70C°		
<i>B. pimulus</i>	Hammam Debagh		Gram+	(Arab et al, 2018)
<i>A. pallidus</i>	Hammam Debagh Hammam Guerjima Hammam saïda	62,6C°	bâtonnets à Gram positif	(Arab et al, 2018) (Benammar et al,2020)
<i>H. hirschii</i>	Hammam Debagh		Gram-	(Arab et al, 2018)
<i>Aeribacilluscom posti</i>	Hammam Debagh	96 °C	bâtonnets à Gram positif	(Benammar et al, 2020)
<i>Anoxybacilluska ynarcensis</i>	Hammam Debagh	96 °C		(Benammar et al, 2020)
<i>Bacillus haynesii</i>	Hammam Debagh Hammam Belhachani Hammam Essalihin Hammam Sidi El hadj	96 °C 72,2C° 52,7C° 40,5C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Bacillus hisashi</i>	Hammam Debagh	96 °C	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Bacillus kokeshiformis</i>	Hammam Debagh Hammam Belhachani	96 °C 72,2C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Bacillus thermocopriae</i>	Hammam Debagh	96 °C	bâtonnets à Gram positif	(Benammar et al, 2020)
<i>Brevibacillusay dinogluensis</i>	Hammam Debagh Hammam Saïda Hammam Essalihin	96 °C 62,6C° 52,7C°	bâtonnets à Gram positif	(Benammar et al, 2020)
<i>Meiothermusru ber</i>	Hammam Debagh Hammam saïda	96 °C 62,6C°	Deinococcus	(Benammar et al, 2020)
<i>Thermobifidafus ca</i>	Hammam Debagh	96 °C	filamenteuse	(Benammar et al, 2020)

<i>Thermusantrankiani</i>	Hammam Debagh	96 °C	Deinococcus	(Benammar et al, 2020)
<i>Mycothermusthermophilus</i>	Hammam Debagh	42 °C	Champignon	(Talhi et al, 2022)
<i>Meiothermus</i>	Hammam Righa	68C° 60C° 60C°	Deinococcus	(Bouacem, 2016) (Bouacem et Bouanane, 2021) (Bouacem et al, 2022)
<i>Hydrogenophilus</i>	Hammam Righa	68C° 60C°	Bacille G-	(Bouacem, 2016) (Bouacem et al, 2022)
<i>Tepidimonastaiwanensi</i>	Hammam Righa	68C°	Gram-	(Bouacem, 2016)
<i>Thermoaerobacter</i>	Hammam Righa	68C°	Gram-	(Bouacem, 2016)
<i>Albidovulum</i>	Hammam Righa	60C° 68C°	Rhodobacteraceae.	(Bouacem et Bouanane, 2021) (Bouacem et al, 2022) (Bouacem, 2016)
<i>Hydrogenophilus II</i>	Hammam Righa	60C°	Gram-	(Bouacem et Bouanane, 2021)
<i>Tepidimonas</i>	Hammam Righa	60C°	Bacille G-	(Bouacem et Bouanane, 2021) (Bouacem et al 2022)
<i>Anoxybacillus mchatkensisstratin</i>	Hammam Righa	80 C°	Gram+	(MECHR et al, 2021)
<i>Anoxybacillus</i>	Hammam Righa Hammam Debagh	60C°	Bacille G+	(Bouacem et al, 2022) (Bouacem et Bouanane, 2021) (Bouacem, 2016) (Gomri et al, 2018)
<i>Leptolyngbyaveolarum</i>	Hammam Essalihin Hammam bouhadjar Hammam El Knif Hammam El bibanes	50 C° 70 C° 50 C° 70C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Stigonemasp</i>	Hammam Essalihin	50 C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)

<i>Fischerella sp</i>	Hammam Essalihin	50 C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Aeribacillus pallidus</i>	Hammam Essalihin	52.7 C°	Gram positif	Benammar et al, 2020
<i>Aneurinibacillus thermoaerophilus</i>	Hammam Essalihin	52.7 C°	Gram positif	(Benammar et al, 2020)
	Hammam Debagh	96C°		
	Hammam knif	50,1C°		
	Hammam Guerjima	40,6C°		(Benammar et al, 2020)
<i>Streptomyces ambofaciens,</i>	Hammam Essalihin	55 C°	Gram positif	(Medjmadj, 2021)
	Les frères Chaouch	28C°		
	Hammam Béniharoun	37C°		
<i>Streptomyces leeuwenhoekii.</i>	Hammam Essalihin	55 C°	Gram positif	(Medjmadj,, 2021)
<i>Les Chlorophycée</i>	Hammam boughrara	18,5 C°	algues	(Lagha et Belkheir, 2012)
<i>Les Cyanophycée</i>	Hammam boughrara	18,5 C°	algue	(Lagha et Belkheir , 2012)
<i>Diatomophycée</i>	Hammam boughrara	18,5 C°	algue	Lagha et Belkheir , 2012
<i>Euglena</i>	Hammam boughrara	18,5 C°	algue	(Lagha et Belkheir , 2012)
<i>Phacus,</i>	Hammam boughrara	18,5 C°	algue	(Lagha et Belkheir , 2012)
<i>Trachelomonas</i>	Hammam boughrara	18,5 C°	algue	(Lagha et Belkheir , 2012)
<i>Strombomonas</i>	Hammam boughrara	18,5 C°	algue	(Lagha et Belkheir , 2012)
<i>Olea europe</i>	Hammam boughrara	Nd	-	(Benabdelmoumene et al, 2014)
<i>Pistacia atlantic</i>	Hammam boughrara	Nd	-	(Benabdelmoumene et al, 2014)
<i>Convolvulus altheoides</i>	Hammam boughrara	Nd	-	(Benabdelmoumene et al, 2014)
<i>Daucus carota</i>	Hammam boughrara	Nd	-	(Benabdelmoumene et al, 2014)

<i>Anagalisarvensis</i>	Hammam bouhrara	Nd	-	(Benabdelmoumene et al, 2014)
<i>Asphodelusmicr ocarpus</i>	Hammam bouhrara	Nd	-	(Benabdelmoumene et al, 2014)
<i>Atriplexhalimus</i>	Hammam bouhrara	Nd	-	(Benabdelmoumene et al, 2014)
<i>Synechocystisth ermalis</i>	Hammam bouhadjar	70 C°	-	(Amarouche et al, 2014)
<i>Geitlerinemasp</i>	Hammam bouhadjar	70 C°	-	(Amarouche et al, 2014)
<i>Cyanodictyon sp</i>	Hammam bouhadjar	70 C°	-	(Amarouche et al, 2014)
<i>Synechococcuse longatus</i>	Hammam bouhadjar	70 C°	-	(Amarouche et al, 2014)
<i>Aeromonashydr ophilae</i>	Hammam bouhadjar Hammam rabbi	50-65C° 35-50C°	grosses bacilles gram + bacilles gram +	(Larbi., 2015)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Hammam bouhadjar Hammam rabbi	35-70C° 30-50C°	forme bacilles fin bacille gram+	(Larbi., 2015)
<i>Pasteurilla</i>	Hammam bouhadjar	50-65C°	cocci gram -	(Larbi, 2015)
<i>Burkholderiace pacia</i>	Hammam bouhadjar	50-70C°	bacille fins gram -	(Larbi, 2015)
<i>Bacillus ccarotarum</i>	Hammam bouhadjar	30-45C°	bacille gram +	(Larbi, 2015)
<i>Thermussp</i>	Hammam Belhachani	72 ° C	bâtonnet Gram -	(Yakhlef et al, 2012)
<i>AeribacillusCo mposti</i>	Hammam Belhachani Hammam Essalihin	72,2 °C 50C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Laceyellasacch ari</i>	Hammam Belhachani	72,2 °C	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Saccharomonos poraviridis</i>	Hammam Belhachani	72,2 °C	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Thermoactinoyc esvulgaris</i>	Hammam Belhachani	72,2 °C	Gram+	(Benammar et al, 2020)

<i>Gloeocapsasp</i>	Hammam El Knif	50 C°		(Amarouche et al.,2014)
<i>Anoxybacillusg onensis</i>	Hammam El Knif	50,1 ° C	Gram+	(Benammar et al, 2020)
	Hammam Guerjima	40,6C°		
	Hammam Belhachani	72,2C° 62,6C°		
	Hammam saïda	40,5C°		
	Hammam Sidi El hadj			
<i>Enterococcus</i>	Hammam bouhanifia	40-50C°	cocci gram +	(Larbi, 2015)
<i>St. Aureus</i>	Hammam bouhanifia	35-50C°	diplocoques gram +	(Larbi, 2015)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Hammam bouhanifia	35-60C°	bacille gram –	(Larbi, 2015)
	Hammam Rabbi	30-50C°	Cocci gram+et bacille gram-	
	Hammam bouhadjar Sahara station hydrocarbu- resBachar	40-60C° 30-60C°	coccobacilles gram +	
<i>B. cereus</i>	Hammam bouhanifia	40-60C°	bacilles gram +	(Larbi, 2015)
	Hammam Rabbi	40-55C°	Baccil long	
<i>Pseudomonas</i>	Hammam bouhanifia	50-60C°	bacilles gram +	(Larbi, 2015)
	Ouled Ali	57C°		
<i>Morganellamor ganii</i>	Hammam rabbi	35-45C°	bacilles gram +	(Larbi, 2015)
<i>Aeribacilluxcom posti</i>	Hammam Guerdjima	40,6 ° C	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Bacillus sonorensis</i>	Hammam Guerdjima	40,6 ° C	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Thermoactinom ycesvulgaris</i>	Hammam Guerdjima	40,6 ° C	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Anoxybacilluska ynarcensis</i>	Hammam Saïda	62,6 C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Anoxybacillusp ushchinoensis</i>	Hammam Saïda	62,6 C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)

<i>Anoxybacillus lavathiensis</i>	Hammam Saïda	62,6 C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Bacillus hisashii</i>	Hammam Saïda Hammam Sidi El hadj Hammam Guerfa	62,6 C° 40,5C° 60C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Thermoactinomycesvulgaris</i>	Hammam Saïda	62,6 C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Anoxybacillusgeothermalis</i>	Hammam Sidi El Hadj	40,5 C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Bacillus paralicheniformis</i>	Hammam Sidi El Hadj	40,5 C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Brevibacillusaydinogluensis</i>	Hammam Sidi El Hadj Hammam Debagh Hammam knif Hammam Essalihin	40,5 C° 96C° 50,1C° 52,7C°	Gram+	(Benammar et al, 2020) (Benammar et al, 2020)
<i>Bacillus sonorensis</i>	Hammam Guerfa	60C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Geobacillus sicigianus</i>	Hammam Guerfa	60C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Geobacillusstearothermophilus</i>	HammamGuerfa	60C°	Gram+	(Benammar et al, 2020)
<i>Bacillus tequilensis</i>	Hammam guergour	45C°	Gram+	(Aissat et Mekki,2018)
<i>Brevibacillusbrevis</i>	Hammam guergour	45C°	Gram+	(Aissat et Mekki,2018)
<i>Bacillus Smithii</i>	Hammam guergour	45C°	Gram+	(Aissat et Mekki,2018)
<i>Brevibacillusparabrevis</i>	Hammam guergour	45C°	Gram+	(Aissat et Mekki,2018)
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Hammam guergour	45C°	Gram+	(Aissat et Mekki,2018)

<i>Leptolyngbya mplivaginata</i>	Hammam sidi yahya	52 C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Fischerellather malis</i>	Hammam sidi yahya	52 C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Synechococcuse longatus</i>	Hammam sidi yahya	52 C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Geitlerinemasp.</i>	Hammam sidi yahya	52 C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Cyanobacteriu msp</i>	Hammam Ibaïnen	53 C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Microcoleussp</i>	Hammam beniGuichat	54 C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Chroococcusmi nutus</i>	Hammam beniGuichat	54 C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Synechococcusn idulans</i>	Hammam Tassa	39 C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Anabaenopsis sp</i>	Hammam El bibanes	70 C°	Cyanobactérie	(Amarouche et al, 2014)
<i>Rathayibactertri tici</i>	Hammam les frères Chaouch	28 C°	Actinomycète	(Medjemadj, 2021)
<i>Streptomyces griseoflavus</i>	Hammam les frères Chaouch	28 C°	Actinomycète	(Medjemadj,, 2021)
<i>Streptomycesoli vaceu</i>	Hammam les frères Chaouch	28 C°	Actinomycète	(Medjemadj,2021)
<i>Streptomycesps eudogriseolus</i>	Hammam les frères Chaouch	28 C°	Actinomycète	(Medjemadj, 2021)
<i>Streptomycesalt hioticus.</i>	Hammam les frères Chaouch	28 C°	Actinomycète	(Medjemadj, 2021)
<i>Rhodococcusery thropolis</i>	Hammam Béniharoun	37 C°	Actinomycète	(Medjemadj, 2021)
<i>Phylum Firmicutes</i>	Hammam El Hajeb	52 - 55 C°	-	(Medjemadj, 2021)
<i>Paenibacillus glucanolyticus</i>	Sahara Station hydrocarbur	40-70 C°	bacille long Gram +	(Larbi, 2015)

es Bechar				
<i>Sporosarcinapa steurii</i>	Sahara Station hydrocarbures Bechar	30-60 C°	bacille Gram +	(Larbi, 2015)
<i>Bacillus sphaericus</i>	Sahara Station hydrocarbures Bechar :	40-65 C°	bacille Gram +	(Larbi, 2015)
<i>Bacillus carotarum</i>	Sahara Station hydrocarbures Bechar	45-60 C°	bacille gram +	(Larbi, 2015)
<i>Bacillus fusiformis</i>	Sahara Station hydrocarbures Bechar Hammam Righa	50-65 C° 60-65C°	bacille gram +	(Larbi, 2015)
<i>Melghiribacillus thermohalophilus strain sp</i>	Lac salé du Sahara, Chott Melghir	50 à 55	Gram+	(Mecher et al,2021)
<i>Virgibacillusnat echeistrainsp</i>	Les sédiments d'une sorte de saline, Taghit, Bechar	15 à 40 C°	Gram+	(Mecher et al, 2021)

2.2. La diversité microbienne dans le désert Algérien

Le sol du désert Algérien a été largement exploré pour sa diversité notamment en actinomycètes producteurs de métabolites. Les nouvelles espèces qui y ont été isolées depuis 2002 ont été toutes rapportées dans le travail de synthèse de **Djini et al. (2019)**.

Chapitre III : Le potentiel enzymatique de la microflore thermophile en Algérie

Les études sur les sources chaudes Algériennes ont conduit à l'isolement et à l'identification de bactéries thermophiles capables de produire un mélange d'enzymes hydrolytiques qui peuvent être utiles à des fins biotechnologiques (**Bouanane et al . , 2010 ; Mokrane et al . , 2017 ; Gomri et al . , 2018 ; Benammar et al . , 2020**) .

La souche MK770356 de *Mycothermus thermophilus* a été isolée de la source Hammam Debagh pour l'optimisation de la production de protéases. La production maximale de protéases de 1187,03 U/mL a été atteinte dans les conditions optimisées avec une taille d'inoculum de 5×10^5 spores/g, une température de 42 °C et une humidité de 47 %. Un rendement multiplié par 6,17 a été observé dans des conditions optimisées. Les analyses statistiques et graphiques des modèles indiquent que le champignon thermophile filamenteux nouvellement isolé, *M. Theophilus* , peut être utilisé avec succès pour la production de protéases sous SSF en utilisant le son de blé comme substrat . Ces résultats prometteurs peuvent être davantage exploités pour caractériser et évaluer la production à la plus grande échelle pour des applications industrielles et environnementales(**Larbi et al., 2015**).

Des travaux de recherches ont montré l'intérêt des souches de *Caldicoprobacter guelmensis* D2C22T et *Caldicoprobacter algeriensis* TH7C1T, bactéries anaérobies thermophiles isolées de la source Hammam debagh, dans la production des enzymes thermostables. Plusieurs activités enzymatiques hydrolytiques extracellulaires ont été mises en évidence à 37 et à 60°C: amylase, cellulase, protéases, xylanase, chitinase, estérase et lipase(**figure 26**). La protéase SAPCG produite par la souche *Caldicoprobacter guelmensis* D2C22T a montré que l'enzyme présente une activité maximale à pH 10 et à une température de 70°C.

- ✓ Une nouvelle kératinase (nommée KERCA) produite par la souche *Caldicoprobacter algeriensis* TH7C1T a été purifiée et caractérisée.
- ✓ L'étude de xylanases produites par la souche de *C. algeriensis* TH7C1T et la caractérisation de l'extrait xylanolytique montre que le pH optimum est de 11 et la température optimale est de 70°C. Plusieurs activités enzymatiques hydrolytiques extracellulaires ont été mises en évidence à 37 et à 60°C: amylase, cellulase, protéases, xylanase, chitinase, estérase et lipase (**Bouacem et al., 2016**).

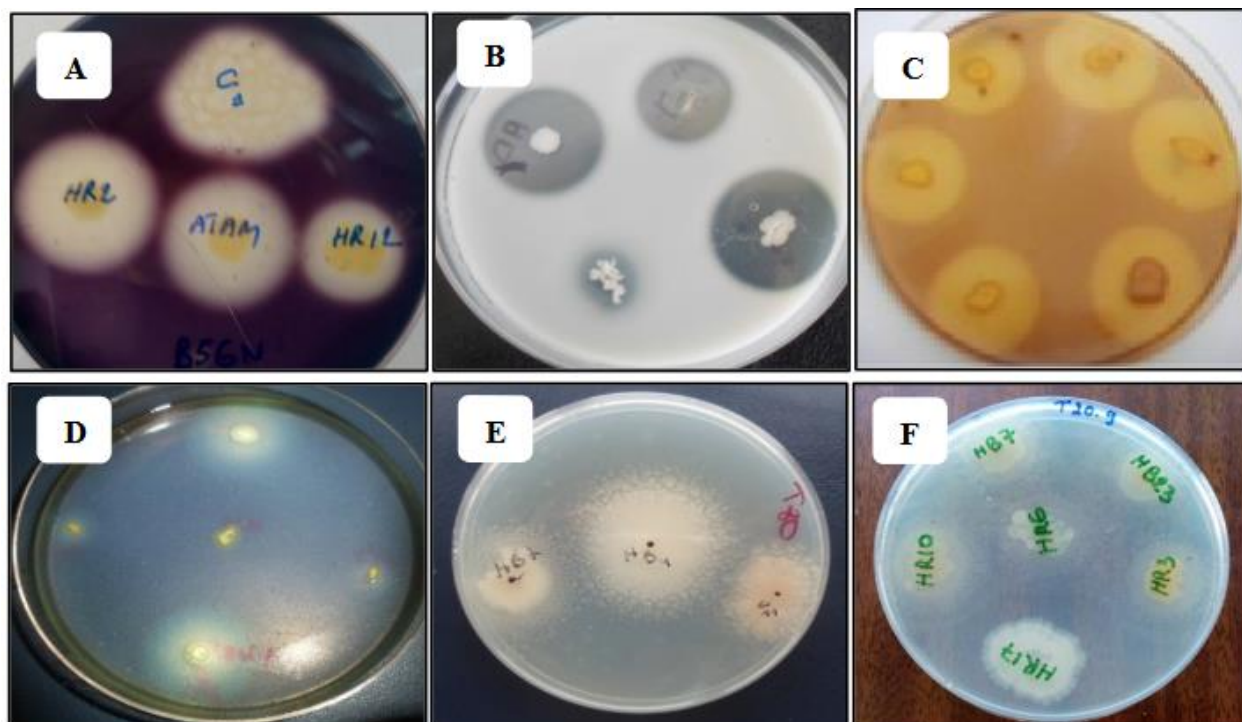


Figure 26: Exemples de quelques activités enzymatiques obtenues sur milieux solides (A. Amylase , B. Caséinase , C. Cellulase , D. Xylanase E. Estérase T80 , F. Estérase T20) (Bouacem et al., 2016).

La souche *Hydrogenophilushirschii* KB-DZ44 a produit des quantités significativement élevées de chitinase thermostable extracellulaire (appelée ChiA-Hh59). Cette dernière a été soumise à une batterie d'essais de purification et de caractérisation biochimique. Les résultats ont révélé qu'elle présentait une activité optimale à 85 ° C et pH 5,0 . La chitinase ChiA-Hh59 a également affiché des niveaux élevés d'activité et de stabilité sur une large gamme de températures et de pH, qui sont très appréciées dans la bioconversion des déchets de chitine. Par rapport à la chitodextrinase et aux chitinases ChiA-65, ChiA-Hh59 a montré une efficacité catalytique élevée. L'enzyme est unique dans la nature qui favorise ses appareils dans des conditions environnementales variées et difficiles. Ces caractéristiques suggèrent collectivement sa pertinence potentielle pour l'exploitation commerciale à l'avenir (Bouacem et al., 2018).

Les résultats de Aissat et Mekkai, (2019) ont montré que les souches (*Bacillus tequilensis*, *Bacillus pumillus*, *Bacillus licheniformis*, *Brevibacillus brevis*, *Bacillus Smithii*, *Brevibacillus parabrevis*, *Bacillus subtilis*, et *Bacillus thuringiensis*) possèdent une activité protéolytique, et la plupart des souches ont une activité amylolytique et lipolytique.

Une étude similaire faite par (Gomri,2012), et qui porte sur les activités hydrolytiques extracellulaires chez des souches bactériennes aérobies thermophiles isolées à partir de sources thermales terrestres de l'Est Algérien, a permis l'isolement de 83 souches dont 77 étaient hydrolases positives.

Allala et al, (2019) ont travaillé sur la purification et la caractérisation d'une nouvelle α -amylase thermostable (TfAmy48) de la souche HB23 de *Tepidimonasfonticaldi* isolée d'une source hydrothermale algérienne. TfAmy48 a montré une stabilité à 80°C et à pH 8. Ces propriétés font de l'enzyme TfAmy48 un candidat potentiel comme bioadditif de nettoyage dans une composition détergente.

Le criblage enzymatique des isolats *Streptomyces flavoviridis*, *Streptomyces pseudogriseolus*, *Streptomyces olivaceus* et *Streptomyces griseoflavus* après une semaine d'incubation dans les milieux de culture appropriés, a révélé que ces isolats ont des capacités de biosynthèse de plusieurs enzymes intéressantes comme la lipase, la protéase, la xylanase et la cellulase. Les isolats *S. flavoviridis* et *S. griseoflavus* synthétisent la xylanase, la cellulases et la lipase. L'isolat *S. pseudogriseolus* est capable de produire la lipase et la protéase. L'isolat *S. olivaceus* produit une xylanase et une lipase (**Medjemedj,2021**).

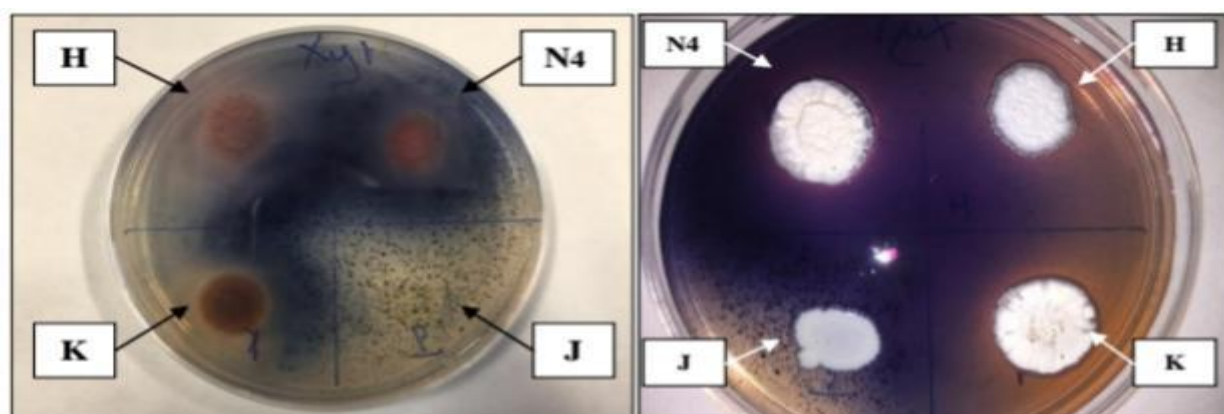


Figure 27 . Activité xylanolytique des isolats d'actinobactéries H , J , K et N4 sur milieu de culture LB additionné de substrat chromogène insolubles (AZCL – Xylane) montrant les zones d'hydrolyses bleuâtres autour des colonies (**Medjemadj,2021**).

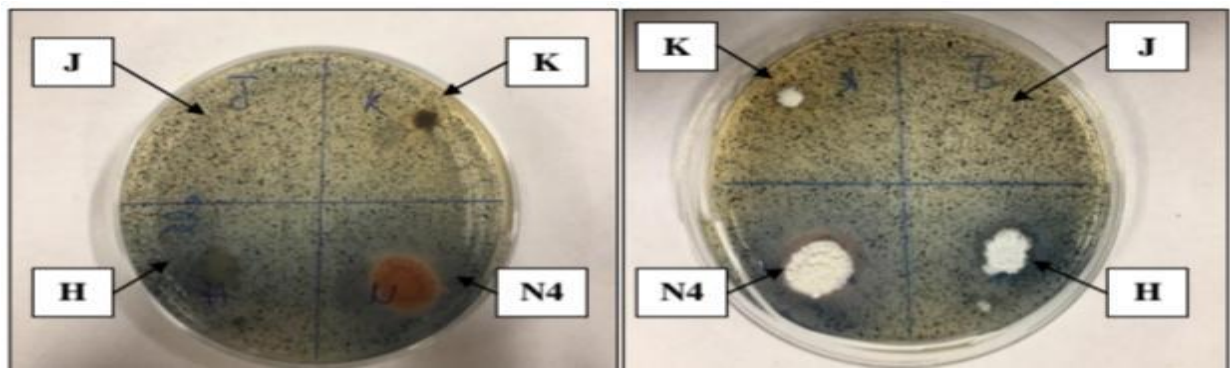


Figure 28. Activité cellulolytique des isolats d'actinobactéries H , J , K et N4 sur milieu de culture LB additionné de substrat chromogène insolubles (AZCL – Cellulose) montrant les zones d'hydrolyses bleuâtres autour des colonies (Medjemadj,2021).



Figure 29.Activité lipolytique des isolats d'actinobactéries H , J , K et N4 sur milieu de culture LB additionné de tributyrine montrant les halos clairs autour des colonies(Medjemadj,2021).

- ✓ L'isolat H assigné à l'espèce *S. flavoviridis*
- ✓ L'isolat J assigné à l'espèce *S. pseudogriseolus*
- ✓ L'isolat K identifié comme étant l'espèce *S. olivaceus*
- ✓ L'isolat N4 assigné à *S. griseoflavus*

Les principales espèces thermophiles isolées en Algérie productrices d'enzymes sont énumérées dans le **tableau 4** suivant.

Tableau IV : Le potentiel enzymatique des espèces microbiennes thermophiles isolées en Algérie.

Les microorganismes	Produit	Commentaire	Application biotechnologique	Références
<i>Mycothermus thermophilus</i>	protéases	champignon	applications industrielles et environnementales.	Larbi.,2015 et Talhi et al, 2022
<i>Hydrogenophilus hirshii</i>	Amylase, Cellulase, Xylanase, Gélatinase, Chitinase et EstéraseT 20	Gram-	applications industrielles	Bouacem, 2016
<i>Tepidimonas taiwanensis</i>	Amylase, Caséinase, Xylanase, Gélatinase, EstéraseT 20 et EstéraseT 80	Gram+	applications industrielles	Bouacem, 2016
<i>Meiothermus ruber</i>	Amylase, Caséinase, Cellulase, Xylanase, Gélatinase, EstéraseT 20 et EstéraseT 80	Gram-	applications industrielles	Bouacem, 2016
<i>Albidovulum inexpectatum</i>	Amylase, Caséinase et Gélatinase	Gram-	applications industrielles	Bouacem, 2016
<i>Gordonia polyisoprenivorans</i>	Estérase (T20), Estérase (T80) et Lipase	bacilles Gram+	la biodégradation de composés organiques tels que le Gasoil, le Biodiesel, le Pétrole brut, des HAP tel que le dibenzothiophène (DBT)	Bouacem, 2016
<i>Gordonia alkanivorans</i>	Amylase, Estérase (T20), Estérase (T80), Cellulase et Lipase	bacilles Gram+		Bouacem, 2016
<i>Gordonia amicalis</i>	Caseinase	bacilles Gram+		Bouacem, 2016
<i>Sphingopyxis macrogoltabida</i>	Estérase (T20), Estérase (T80) et Lipase	Gram-		Bouacem, 2016
<i>Sphingopyxis alaskensis</i>	Estérase (T20) Estérase (T80) Lipase	Gram-		Bouacem, 2016

<i>Bacillus licheniformis</i>	Amylase, Caseinase, Cellulase, Xylanase et Gélatinase	Gram+	applications industrielles	Bouacem, 2016
<i>Nitrosococcus</i>	Caseinase	Cocci Gram+	applications industrielles	Bouacem, 2016
<i>Caldicoprobacter guelensis D2C22T</i>	Sérine protéase SAPCG	bacilles Gram+	-Biologie moléculaire. - La déprotéinisation.	Bouacem, 2016
<i>Caldicoprobacter lgeriensis TH7C1T</i>	Kératinase KERCA	bacilles Gram+	- Industrie des détergents et du cuir.	Bouacem, 2016
<i>Caldicoprobacter lgeriensis TH7C1T</i>	Xylanase	bacilles Gram+	-Dépolymérisation de l'hémicellulose. - Production de biogaz. - Production de sucres. - Industrie alimentaire, papetière et textile.	Bouacem, 2016
<i>Hydrogenophilus rrschii KB-DZ44</i>	Chitinase ChiA-Hh59	Bacilles à G -	Bioconversion de déchets chitineux. - Industrie alimentaire et pharmaceutique. - Biomédecine et agriculture	Bouacem et al ,2018
<i>Bacillus pumillus</i>	Protéase et Estérase	Bacilles à G +	la dépollution des eaux thermales attendant une étude détaillée des isolats pour renforcer leur potentiel	AISSAT et MEKKI , 2019
<i>Bacillus licheniformis</i>	Protéase et Estérase	Bacilles à G +		AISSAT et MEKKI , 2019
<i>Brevibacillus brevis</i>	Protéase	Bacilles à G +		AISSAT et MEKKI , 2019
<i>Bacillus Smithii</i>	Amylase, Protéase et Estérase	Bacilles à G +		AISSAT et MEKKI , 2019
<i>Brevibacillus parabrevis</i>	Amylase, Protéase et Estérase	Bacilles à G +		AISSAT et MEKKI , 2019
<i>Bacillus subtilis</i>	Amylase et Protéase	Longs bacilles aux bouts carrés à G+	étude détaillée des isolats pour renforcer leur potentiel	AISSAT et MEKKI , 2019
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Amylase, Protéase et Estérase	Coccobacilles à G+		AISSAT et MEKKI , 2019
<i>Tepidimonas fontica aldi HB23</i>	Alpha-amylase	Bacille à Gram -	-Bioconversion de l'amidon. - Industrie de la boulangerie et de la brasserie. - Industrie textile et des détergents	Allala et al, 2019

<i>Thermussp</i>	Dnase, Amylase, Caseinase, Cellulase, Esculinase, Gelatinase, Lecithinase, Pectinase, Tween 20 et Tween 80	archea	diverses applications industrielles, y compris l'alimentation, la pharmacie, la chimie, le papier, la transformation textile, la production de biocarburants, la pâte à papier et le traitement des déchets	Benammar et al, 2020
<i>Thermobifidasp</i>	Dnase, Amylase, Caseinase, Cellulase, Esculinase, Gelatinase, Lecithinase, Pectinase, Tween 20 et Tween 80	actinobactérie		Benammar et al, 2020
<i>Thermoactinomycesp</i>	Dnase, Amylase, Caseinase, Cellulase, Esculinase, Gelatinase, Lecithinase, Tween 20 et Tween 80	actinomycète		Benammar et al, 2020
<i>Saccharomonosporasp</i>	Dnase, Caseinase, Cellulase, Esculinase, Gelatinase, Lecithinase, Pectinase, Tween 20 et Tween 80	Gram +	applications commerciales	Benammar et al, 2020
<i>Meiothermussp</i>	Amylase, Caseinase, Cellulase, Esculinase, Gelatinase, Lecithinase, Pectinase et Tween 20	archea	applications commerciales	Benammar et al, 2020
<i>Laceyellasp</i>	Dnase, Amylase, Caseinase, Cellulase,	Gram+	applications commerciales	Benammar et al, 2020

	Gelatinase, Lecithinase, Pectinase et Tween 20			
<i>Geobacillus</i> sp	Dnase, Amylase, Caseinase, Cellulase, Esculinase, Gelatinase, Lecithinase, Pectinase, Tween 20 et Tween 80	Bacille à Gram +	performantes en microbiologie	Benammar et al, 2020
<i>Brevibacillus</i> sp	Dnase, Amylase, Caseinase, Cellulase, Esculinase, Gelatinase, Lecithinase, Pectinase, Tween 20 et Tween 80	Bacille à Gram +	appliquée et industrielle, des applications commerciales	Benammar et al, 2020
<i>Bacillus</i> sp	Dnase, Amylase, Caseinase, Cellulase, Esculinase, Gelatinase, Lecithinase, Pectinase, Tween 20 et Tween 80	Bacille à Gram +		Benammar et al, 2020
<i>Anoxybacillus</i> sp	Dnase, Amylase, Caseinase, Cellulase, Esculinase, Gelatinase, Lecithinase, Pectinase, Tween 20 et Tween 80	Bacille à Gram +	performantes en microbiologie appliquée et industrielle, des applications commerciales	Benammar et al, 2020
<i>Aneurinibacillus</i> sp	Dnase, Amylase, Caseinase, Cellulase, Esculinase, Gelatinase,	Bacille à Gram +		Benammar et al, 2020

	Lecithinase, Pectinase, Tween 20 et Tween 80			
<i>Aeribacillus</i>	Dnase, Amylase, Caseinase, Cellulase, Esculinase, Gelatinase, Lecithinase, Pectinase, Tween 20 et Tween 80	Bacille à Gram +		Benammar et al, 2020
<i>Streptomyces flavoviridis</i>	xylanase , cellulases et la lipase	Actinomycète	Ces enzymes dominent le marché industriel des détergents, des textiles, des pâtes et papiers, de la synthèse organique, des biocarburants ainsi que le domaine des tests de diagnostic clinique	MEDJEMADJ , 2021
<i>Streptomyces pseudogriseolus</i>	lipase et la protéase	Actinomycète		MEDJEMADJ , 2021
<i>Streptomyces olivaceus</i>	xylanase et lipase	Actinomycète		MEDJEMADJ , 2021
<i>Streptomyces griseoflavus</i>	xylanase , cellulases et la lipase	Actinomycète		MEDJEMADJ , 2021
<i>Hydrogenophilus thermoluteolus</i>	Amylase, Cellulase et Xylanase	Gram-	applications industrielles	Bouacem et al, 2022
<i>Meiothermus ruber</i>	Amylase, Protease, Cellulase et Xylanase	Gram-	applications industrielles	Bouacem et al, 2022
<i>Albidovulum inexpectatum</i>	Amylase et Protease	Gram-	applications industrielles	Bouacem et al, 2022
<i>Tepidimonas taiwanensis</i>	Amylase, Protease et Xylanase	Gram+	applications industrielles	Bouacem et al, 2022
<i>Anoxybacillus kamchatkensis</i>	Amylase, Cellulase et Xylanase	Gram+	applications industrielles	Bouacem et al, 2022

Conclusion

Ce travail est une synthèse bibliographique des différents travaux sur les environnements chauds et sur les microorganismes thermophiles isolés notamment des sources thermales en Algérie.

En effet, une longue liste de genres bactériens, archéens, et fongiques isolés des sources thermales Algériennes a été dressée, avec certaines espèces décrites pour la première fois dans de tels environnements. Comme on a constaté l'intérêt grandissant des équipes de recherches Algériennes pour la diversité microbiennes des thermophiles, et ce depuis 2015. D'ailleurs la plus part des études, traitant la diversité microbienne proprement dite, n'ont apparu que depuis 2018. De plus, un nombre important de chercheurs s'est focalisé sur la source Hammam Debagh, la plus chaude en Afrique, où on avait rapporté la dominance de certains genres microbiens, tels que *Bacillus*, *Anoxybacillus*, *Geobacillus*, ... qui sont typiques à ce genre d'endroits thermophiles.

On a vu également que les biotopes chauds se présentent comme des champs d'investigations privilégiés pour la recherche de nouvelles souches productrices de biomolécules, notamment des enzymes hautement stables. Notre recherche bibliographique a mis en relief différentes activités enzymatiques des souches bactériennes thermophiles. Ces dernières possèdent des activités intéressantes pour la bioindustrie où elles sont utilisées dans divers procédés se déroulant à haute température.

Les enzymes thermostables issues des microorganismes thermophiles isolés des sources thermales Algériennes présentent un potentiel important, en raison de leur thermostabilité et leur aptitude à résister à la dénaturation. Les propriétés catalytiques efficaces de ces enzymes ont déjà favorisé leur introduction dans plusieurs produits et procédés industriels.

En vue de l'importance des microorganismes thermophiles rapportés au cours cette revue et leur capacité à résister aux conditions extrêmes, notre thématique ouvre des perspectives diverses:

- Il serait intéressant d'élargir les explorations vers d'autres sources thermales en Algérie afin de procéder à l'isolement de nouveaux taxons microbien thermophiles et les identifier.

- Faire plus de criblages enzymatiques des souches isolées afin de sélectionner les plus performantes pour la production d'enzymes thermostables, et essais de productions de ces enzymes sur des substrats bon marché.
- Caractériser de nouveaux gènes avec un haut rendement et les cloner pour produire des enzymes recombinantes afin d'augmenter la production industrielle.

Références bibliographiques



- Aanniz T., Ouadghiri M., Melloul M., Swings J., Elfahime E., Ibijbijen J., Ismaili M. Et Amar M .2015. Thermophilic Bacteria In Moroccan Hot Springs, Saltmarshes And Desertsoils. *Braz. J. Microbiol* 46(2):443-453.
- Abouriche. M, Fekraoui. A, Kedaïd. F.Z Et Rezig M., 'Atlas Des Ressources Géothermiques Du Nord De L'algerie', Rapport Interne Cder, 1988.
- Adams M.W.W., Et Kelly R.M. 1995. Enzymes From Microorganisms In Extreme Environments. *Chem Eng News*. 73:32-42
- Adjeroud . M, Escuder-Rodríguez.J-J, González-Siso.M-I & Kecha. M (2020): Metagenomic Investigation Of Bacterial And Archaeal Diversity Of Hammam Essalihine Hot Spring From Khenchela, Algeria, *Geomicrobiology Journal*, Doi: 10.1080/01490451.2020.1783035
- Aissat.I Etmekki. N (2018) Isolement Et Caractérisation De Bactéries De La Source Naturelle De Hammanguergour (Nord De Sétif-Algérie)
- Allala, F., Bouacem, K., Boucherba, N., Azzouz, Z., Mechri, S., Sahnoun, M., Benallaoua, S., Hacene, H., Jaouadi, B., Bouanane-Darenfed, A. (2019). Purification, Biochemical, And Molecular Characterization Of A Novel Extracellularthermostable And Alkaline A-Amylase From *Tepidimonas Fonticaldi* Strain Hb23. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 132, 558-574.
- Amarouche-Yala S., Benouadah A., Bentabet A.O., Moulla A.S., Ouarezki S.A. Et Azbouche A..2015. Physicochemical, Bacteriological, And Radiochemical Characterization Of Some Algerian Thermal Spring Waters. *Water Quality, Exposure And Health* 7(2):233-249.
- Amarouche-Yala.S, Benouadah. A, Bentabet.A, Purificació n López-García Morphological And Phylogenetic Diversity Of Thermophilic Cyanobacteria In Algerian Hot Springs. *Extremophiles* (2014) 18:1035-1047 Doi 10.1007/S00792-014-0680-7.
- Andră S., Frey G., Jaenlcke R., Et Stetter K.O. 1998. Diversity Of Hot Environments And Thermophilic Microbes. *Eur J Biochem*.255:93-99.
- Antranikian G., Vorgias G.C., Bertoldo C. (2005). Extreme Environments As A Resource For Microorganisms And Novel Biocatalysts. *Adv. Biochem. Engin. Biotechnol.*, 96: 219-262.

Arab. M, Bakour. S, Lalaoui. R, Aissaoui. N, Nas. F, Hoceini. A, Fournier. P.E & Klouche-Khelil. N (2018): Diversity Of Aerobic Bacilli Analysis Using Molecular And Culture-Based Approaches In Debagh Hot Spring, *Geomicrobiology Journal*, Doi: 10.1080/01490451.2018.1520937.

B

Beeby M., O'connor B.D., Ryttersgaard C., Boutz D.R., Perry L.J., Et Yeates T.O. 2005. The Genomics Of Disulfide Bonding And Protein Stabilization In Thermophiles. *Plosbiol* 3(9):E309

Benkahoul .M, Talhi.A, Boulefkhad.N Bactéries Des Environnements Chauds Algériens: Isolement Et Mise En Evidence De La Production D'hydrolases. *Sciences & Technologie* – N°45 Juin (2017), Pp.25-35.

Bouacem .K (2016) Caractérisation De Souches Bactériennes Isolées A Partir De Sources Thermales Du Nord-Algérien: Etude Des Propriétés Enzymatiques.

Bouacem, K., Laribi-Habchi, H., Mechri, S., Hacene, H., Jaouadi, B., Bouanane-Darenfed, A. (2018). Biochemical Characterization Of A Novel Thermostable Chitinase From *Hydrogenophilus Hirschii* Strain Kb-Dz44. *International Journal Of Biologicalmacromolecules*, 106, 338-350.

Bouacem. K ^{1*}, Amziane-Touazi. M , Ben Hania. W²,. Cayol .J-L ², Fardeau ².M.L, Benayad³. T, Hacene¹. H, Bouanane-Darenfed ¹. A (2022) Isolation And Characterization Of Moderately Thermophilic Aerobic Cultivable Bacteria From Hammam Righa Hot Spring (Algeria): Description Of Their Hydrolytic Capacities. *Algerian Journal Of Environmental Science And Technology*, 2437-1114.

Bouanane-Darenfed, A., Fardeau, L., Grégoire, P., Manon, J., Kebbouche-Gana, S., Benayad, T., Et Al., (2011). *Caldicoprobacter algeriensis* Sp. Nov. A New Thermophilic Anaerobic, Xylanolytic Bacterium Isolated From An Algerian Hot Spring, *Currentmicrobiology*. 62: 826-832.

Boughlali. M (2003). Thermalisme Et Thalassothérapie En Algérie. *Press. Therm. Climat.*, 140: 161-165.

Brock T.D. 1978. In: Brock Td (Ed) *Thermophilic Microorganisms And Life At High Temperatures*. Springer, New York, Pp 1–16.

Chouabah. Ket Hadjab.M (2015) *Tourisme De Santé station Thermale À Hammamsokhna*.

C

Cicicopol C., Peters J., Kellermann J., Et Baumeister W. 1994. Primary Structure Of A Multimeric Protein, Homologous To The Pep-Utilizing Enzyme Family And Isolated From A Hyperthermophilic Archaeobacterium. *Febs Lett* 356:345–350.

Core, J. (2000). The Directors' And Officers' Insurance Premium: An Outside Assessment Of The Quality Of Corporate Governance. The Journal Of Law, Economics, & Organization, 16 (2), 449-477. [Http://Dx.Doi.Org/10.1093/Jleo/16.2.449](http://Dx.Doi.Org/10.1093/Jleo/16.2.449)

D

Das R. Et Gerstein M .2000. The Stability Of Thermophilic Proteins: A Study Based On Comprehensive Genome Comparison. *Functintegr Genomics*.1:76–88.

Djinni. I ^{1,2,*} , Defant. A ², M. Kecha ¹ And I. Mancini ^{2,*}. Actinobacteria Derived From Algerian Ecosystems As A Prominent Source Of Antimicrobial Molecules. *Antibiotics* 2019, 8, 172; Doi:10.3390/Antibiotics8040172.

F

Forterre P., Bergerat. A,Et Lopez-Garcia P. .1996. The Unique Dna Topology And Dna Topoisomerases Of Hyperthermophilicarchaea. *Microbiolrev.* 18:237–248.

G

Galtier N., Et Lobry Jr .1997. Relationships Between Genomic G+ C Content, Rna Secondary Structures, And Optimal Growth Temperature In Prokaryotes. *J Mol Evol.* 44:632.

Galtier N., Tourasse N., Et Gouy M .1999.*Science.* 283:220–221.

Gomri .M. A. (2012) Screening D'activités Hydrolytiques Extracellulaires Chez Des Souches Bactériennes Aérobie Thermophiles Isolées A Partir De Sources Thermales Terrestres De L'est Algérien.

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. *Ann. Microbiol*, 68:915–929.

Guellati. F. Z (2018) Diversité, Dynamique Spatiotemporelle Et Toxicité Potentielle Des Cyanobactéries Dans Deux Plans D'eau (Réservoir Hammam Debagh Et Lac Oubeira).

H

Holden J. F., (2009).Extremophiles: Hot Environments In *Encyclopedia Of Microbiology*, 3rd Ed., Schaechter M. P: 127-146. Elsevier.

J

Jaenicke R., Et Bohm G .1998. The Stability Of Proteins In Extreme Environments.*Curr Opin Struct Biol.* 8:738–748.

K

Kashefi K., Et Lovley D.R. 2003. Extending The Uppertemperaturelimit For Life.Science. 301:934.

L

L.Benammar, İ. Bektaş, K., Menasria, T. Et Al. (2020).Diversity And Enzymatic Potential Of Thermophilic Bacteria Associated With Terrestrial Hot Springs In Algeria. Braz J Microbiol. 51: 1987–2007.

Ladenstein R., Et Antranikian G .1998. Proteins From Hyperthermophiles: Stability And Enzymatic Catalysis Close To The Boiling Point Of Water..Adv Biochem Eng Biotech.61:38–85

Lakhdari. Fet Bouaicha. K (2016), Diagnostic De La Qualité Des Eaux De Source Et Thermales De La Wilaya De Saida – Algérie- Effets Thérapeutiques.

Larbi Daouadji. K (2015) Isolement Et Caractérisation Des Souches Productrices De Lipase.

Lieph R., Veloso F.A, Et Holmes D.S. 2006. Thermophiles Like Hot T.Trends Microbiol. 14(10):423–426.Mehta D. Et Satyanarayana T.2013. Chapitre: Diversity Of Hot Environments And Thermophilic Microbes. In T. Satyanarayana Et Al. (Eds.), Thermophilic Microbes In Environmental And Industrial Biotechnology: Biotechnology Of Thermophiles. 3-60.

M

M.Kecha, S. Benallaoua., J.P. Touzel (2007). Biochemical And Phylogenetic Characterization Of A Novel Terrestrial Hyperthermophilic Archaeon Pertaining To The Genus Pyrococcus From An Algerian Hydrothermal Hot Spring. Extremophiles; 11:65-73.

Madigan M., Martinko J., (2007).Brock Biologie Des Micro-Organismes. Pearson Éducation, France.

Marguet E., Et Forterre P.1998. Protection Of Dna By Salts Against Thermodegradation At Temperatures Typical For Hyperthermophiles. Extremophiles. 2:115–122.Pereira S.L., Et Reeve J.N. 1998. Histones And Nucleosomes In Archaea And Eukarya: A Comparative Analysis. Extremophile .2:141–148.

Mechri.S^a, Bouacem . K^{B,C}, Allala . F^b, Khaled.M^a, Bouanane-Darenfed. A^b, Hacène. H^b, Jaouadi .B^{a,*} (2021) Preliminary Screening And Characterization Of Novel Proteolyticenzymes Produced By Extremophilic Bacteria Isolated From Tunisianand Algerian Biotopes. *Revue nature Et Technologie*, Issn : 1112-9778 – Eissn : 2437-0312 .

Medjemadj. M (2021)Etude De La Biodiversité Des Actinobactéries Dans Quelques Eauxthermales De La Région Est De L'algerie.

Mehta D. Et Satyanarayana T.2013. Chapitre : Diversity Of Hot Environments And Thermophilic Microbes. In T. Satyanarayana Et Al. (Eds.), Thermophilic Microbes In Environmental And Industrial Biotechnology : Biotechnology Of Thermophiles. 3-60.

Mokrane, S., Bouras, N., Meklat, A., Lahoum, A., Zitouni, A., Verheecke, C., Mathieu, F., Schumann, P., Spröer, C., Sabaou, N., Klenk, H.P. (2017). Thermoactinomyces Khenchelensissp. Nov., A Filamentous Bacterium Isolated From Soil Sediment Of A Terrestrial Hot Spring. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 109(2):311-7.

N

Naimi. M. N Et Cherif. A. The Hottest African Thermal Spring (Hammam Chellala, Algeria). *International Journal Of Earth Sciences* (2021) 110:651–652. Springer

O

Office National Du Tourisme, Algerie Sources Thermales.

Ouali. S (2008), Les Sources Thermales En Algérie.

Ouali. S, Hadjiaat.M.M, Ait-Ouali.A, Salhi.Ket Malek.A. Cartographie Et Caractérisation des Ressources Géothermiques De L'Algérie. *Revue Des Energies Renouvelables* Vol. 21 N°1 (2018) 54 - 61

Ouali. S¹, Khellaf. A¹ Et Baddari. K². Etude Géothermique Du Sud De L'Algérie. *Revue Des Energies Renouvelables* Vol. 9 N°4 (2006) 297 – 306.

P

Patrick Gregoire^{1,2}, Ml Fardeau², S Guasco³, A Bouanane⁴ V Michotey³, P Bonin³, K Dubourg¹, J Cambar¹ Et Bollivier. Les Micro-Organismes De L'extrême. *Presstherm Climat* 2009;146:49-61.

Pereira S.L., Grayllng R.A., Lurz R., Et Reeve J.N .1997. Archaeal Nucleosomes. *Proc Natl Acad Sci Usa*. 94:12633–L2637.

Pereira S.L., Et Reeve J.N. 1998. Histones And Nucleosomes In Archaea And Eukarya: A Comparative Analysis. *Extremophile* .2:141–148.

Pillot, G . 2018. Biodiversités Électroactives Issues De Sources Hydrothermales Profondes See Discussions, Stats, And Author Profiles For This Publication At: <https://www.researchgate.net/publication/330397068>

R

Rezig. M, 'Etude Géothermique De L'extrémité Est De L'atlas Saharien', Rapport Interne, Cder, 1992.

Rezig. M, 'Etude Géothermique Du Nord-Est De L'Algérie', Dea, Université Des Sciences Et Des Techniques Du Languedoc, Montpellier, 1991.

Ritmann A. 1963. Les Volcans Et Leur Activité. Ed.Fr .H. Tazieff, Paris, Masson. P 30.

Rittman A. 1963. Les Volcans Et Leur Activité. Edition Française A Partir De La Deuxième Edition Originale Etablie Et Introduite Par Haroun Tazieff. Masson, Paris. 461.

Robinson H., Gao Y.G., Mccrary B.S., Edmondson S.P., Shrwer J.W., Et Wang A.H.J.1998. The Hyperthermophile Chromosomal Protein Sac7d Sharply Kinks Dna. *Nature*.392:202–205.

S

Saibi H. 2009. Geothermal Resources In Algeria. *Renewsustainenergyrev* 13: 2544–2552

Sandman K., Pereira S.L., Et Reeve J.N .1998. Diversity Of Prokaryotic Chromosomal Proteins And The Origin Of The Nucleosome. *Cell Mol Life Sci* .54:1350–L364.

Soares D., Kahlke I., Li W.T., Sandman K., Hethke C., Thomm M., Et Reeve J.N. 1998. Archaeal Histone Stability, Dna Binding, And Transcription Inhibition Above 90 Degrees C. *Extremophiles*. 2:75–81.

Stetter K.O. 1982. Ultrathin Mycelia-Forming Organisms From Submarine Volcanic Areas Having An Optimum Growth Temperature Of 105° C. *Nature*.300:258–260.

Stetter K.O. 1999. *Extremophiles And Their Adaptation To Hot Environments*. Febs Press. 452:22–25.

Stetter K.O. 2011. History Of Discovery Of Hyperthermophiles. In: Horikoshi K. (Eds) *Extremophiles Handbook*. Springer, Tokyo.403-425.

T

Talhi. I ^A, Dehimat.L ^A, Jaouani. A ^B, Cherfia. R ^A,Berkani. M ^C,**, Almomani. F^d*, Vasseghian. Y^e,***, Chaouche. N. K (2022) Optimization Of Thermostable Proteases Production Under Agro-Wastessolid-State Fermentation By A New Thermophilic *Mycothermus Thermophilus* isolated From A Hydrothermal Spring Hammam Debagh, Algeria.

Tansey M.R., Et Brock T.D. 1972. The Upper Temperature Limit For Eukaryotic Organisms. *Proc Natlacadsci Usa*.69:2426–2428.

Thompson M.J., Et Eisenberg D .1999. Transproteomic Evidence Of A Loop-Deletion Mechanism For Enhancing Protein Thermostability1. *J Mol Biol*. 290:595–604.

U

Urios L. 2003. Les Sources Hydrothermales, Réservoirs De Micro-Organismes D'intérêt Biotechnologique ; *Cahiers De L'asees*. 8:1. 29-33.

V

Van Der Oost J., Ciaramella M., Moracci M., Pisani F.M., Ross M., Et De Vos W.M .1998. Molecular Biology Of Hyperthermophilic Archaea. *Adv Biochem Eng Biotech*. 61:87–L15.

Y

Yakhlef. W, Darbouche .A (2012). Metabolic Diversity Of Thermophilic Bacteria From Hot Springs In Algeria. J Acad Fond Microbiol. 257–265.

Les sites web:

<http://fracademia.com/dic.nfs/frwiki/668993https://www.vvox.it/2017/09/14/pozzuoli-famiglia-morta-alla-solfatara-si-indaga-per-omicidio-colposo/https://www.yellowstonepark.com/page/about-us>

<http://geothermie-tpe2012.e-monsite.com/pages/page.html>

<https://images.app.goo.gl/qKfyiDMx6KutK11W8>

<http://www.energie-online.fr/schemas/eauchaude/cesi.jpg>

<https://images.app.goo.gl/jS4RVeUQWDEnbHMU7>