



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère De l'Enseignement Supérieur
Et
De la Recherche Scientifique



Université Abbès Laghrour Khenchela
Institut des Sciences de la Nature Et de la Vie
Département de biologie

N° d'ordre :.....
N° de Série :.....

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magistère
Option: Microbiologie des écosystèmes aquatiques

Présenté par

BOUDJAR Soumia

Thème

**Étude comparative des microorganismes thermophiles et
hyperthermophiles de différentes stations thermales**

Soutenu le: 29 /09 /2014

Devant le jury:

M. HOUHA Belgacem	(MCA)	Université de Khenchela	(Président)
M. DARBOUCHE Abdelhak	(Prof.)	Université de Khenchela	(Encadreur)
M. HOUHAMDI Moussa	(Prof.)	Université de Guelma	(Examineur)
M. BENOUNIS Messaoud	(MCA)	Université de Khenchela	(Examineur)

2013 / 2014

Remerciements

*Je rends grâce à **Dieu**, le miséricordieux, le tout puissant, pour ce miracle appelé vie, et pour l'effort qui m'a octroyé durant la réalisation de ce mémoire, que sa lumière nous guide vers lui. Et que la prière et le salut de mon Seigneur soient sur son Serviteur **Mohamed**. (Que le salut soit sur Lui).*

Merci à toutes les personnes qui ont participé de près comme de loin aux résultats présentés dans cette thèse.

*Je tiens à exprimer ma gratitude à Monsieur **HOUHA Belgacem**, maître de conférences à l'université de Khenchela d'avoir accepté de présider le jury de ce travail. Je suis particulièrement honorée de bénéficier de ses critiques.*

*Merci également aux deux rapporteurs du jury, Monsieur **HOUHAMDI Moussa**, Professeur à l'université de Guelma et Monsieur **BENOUNIS Messaoud**, Maître de conférences à l'université de Khenchela pour leurs lectures attentives du manuscrit et leurs remarques constructives.*

*A Monsieur le Professeur **DARBOUCHE Abdelhak**, qu'il trouve ici l'expression de toute ma gratitude, pour avoir accepté d'être mon promoteur de thèse et pour avoir toujours été présent dans le suivi de ce travail malgré la distance.*

*Je tiens à remercier très vivement mon marie l'ingénieur **RIHANI Nacer** pour son aide et son soutien durant la réalisation de ce mémoire et particulièrement dans la création de la base de données.*

*Un grand merci à ma meilleure amie **MERRADI Manel** pour son aide. Mes sincères remerciements vont à toute ma promotion de post-graduation surtout, **Keltoum** et **Soumia**.*

*Merci à toute **ma famille** qui m'a toujours soutenue.*

Dédicaces

A la mémoire de mon chère père puisse Dieu t'accueillir en son vaste paradis

A ma très chère mère

A mes beaux parents

À mes chères Sœurs, ainsi qu'à leurs maris,

À mes chers frères, ainsi qu'à leurs épouses,

À ma belle Sœur, ainsi qu'à son mari,

À mes beaux frères, ainsi qu'à leurs épouses,

A mon cher époux merci pour ton aide et ton soutien

A mes chers et adorables enfants Anfel et Mohamed Abd elbari que dieu vous garde

A toute la famille Boudjar et Rihani

A tout ceux et celles qui m'aiment et que je porte dans mon cœur

SOMMAIRE

Liste des figures.....	i
Liste des tableaux.....	iii
Liste des abréviations.....	iv
Liste des annexes.....	vi
Introduction.....	1

Chapitre I: Généralités sur les thermophiles, hyperthermophiles et bioinformatique

I. Les microorganismes thermophiles et hyperthermophiles :	3
I.1. Définitions	3
I.1.1 La thermophilie	3
I.1.2 Microorganismes thermophiles	3
I.1.3 Microorganismes hyperthermophiles	3
II. Adaptations physiologiques à la thermophilie	4
II. 1. Adaptation thermophile au niveau de la membrane	5
II.2. Adaptation thermophile au niveau des protéines	6
II.3. Adaptation thermophile au niveau génétique	8
III. Biotopes	9
III.1. Biotopes océaniques	9
III.2. Biotopes terrestres	12
III.3. Biotopes artificiels.	13
IV. Intérêts biotechnologiques	14
IV.1. Avantages liés à l'utilisation des micro-organismes thermophiles	14
IV.1.2. Enzymes compétitives	15
IV.2. Applications	15
A. Utilisation directe	16
A.1. Utilisation de cellules entières	16
B. Utilisation des biomolécules	16
B.1. Le cas des enzymes	16
B.1.1. La PCR	16
B.1.2. La LCR	17
B.1.3. Dérivés d'amidon	17
B.1.4. Alimentation animale	18

B.1.5. Alimentation humaine	18
B.1.6. Industrie papetière	18
B.2. Le cas de membrane lipidique	19
B.3. Le cas des polysaccharides	19
B.4. Solutés compatibles	20
C. Autre enzymes thermophiles et hyperthermophiles et leurs applications industrielles potentielles.....	21
V. Bioinformatique	23
V.1.Définition de la bioinformatique.....	24
V. 1.1.Le but de la bioinformatique	25
V.2.Les bases de données	25
 Chapitre II : Matériel et méthodes	
Objectif du travail.....	26
I. Collecte et analyse des informations.....	26
I.1.Collection des informations	26
I.2.Analyse des informations	27
I.2.1. Critères liées au micro-organisme.....	27
I.2.1.1.Classification	27
I.2.1.2.Critère génétique.....	28
I.2.1.3.Morphologie.....	28
I.2.1.4.Condition de vie.....	29
I.2.1.4.1.Type respiratoire.....	29
I.2.1.4.2.Type trophique	29
I.2.1.4.3.pH	29
I.2.1.4.4.Température	30
I.2.1.4.5.Pression	30
I.2.1.4.6.NaCl.....	30
I.2.2. Biotopes	31
II. Analyse bioinformatique	31
II.1.Définitions	31
II.1.1. les deux approches de la bioinformatique.....	31
II.1.2. Quelques concepts relatifs aux base de données	32
II.1.3.Delphi.....	32

II.2. Création de la base de données	34
II.2.1. Conception et exploitation d'une base de données.....	34
II.2.2. Exploitation de la base de données	35
II.2.3. Les étapes de création de la base de données "Micro-Org-Thermophile" avec Delphi.....	36
 Chapitre III : Résultats et discussion	
I .Collecte et analyse des informations.....	38
I.1.Collection des informations	38
I.2.Analyse des informations.....	38
I.2.1. Critères liés au micro-organisme.....	38
I.2.1.1.Classification	38
A. les espèces thermophiles.....	38
B. les espèces hyperthermophiles.....	38
I.2.1.2. Critère génétique (pourcentage en GC ou coefficient de Chargaff).....	39
A. les espèces thermophiles.....	39
B. les espèces hyperthermophiles.....	39
I.2.1.3.Morphologie.....	40
I.2.1.4.1.Type respiratoire.....	41
I.2.1.4.2.Type trophique	41
I.2.1.4.3.pH	41
A. Classement des espèces thermophiles selon leurs pH optimums de croissance.....	42
Les acidophiles.....	42
Les neutrophiles.....	42
Les alcalophiles	43
B. Classement des espèces thermophiles selon leurs pH optimums de croissance.....	44
Les acidophiles.....	44
Les neutrophiles.....	44
Les alcalophiles	45
I.2.1.4.4. la température	47
A. Comparaison des valeurs limites et moyennes des températures cardinales (minimales et maximales) des thermophiles et hyperthermophiles.....	47
B. Températures optimales des espèces thermopiles.....	49

C. Températures optimales des espèces hyperthermophiles.....	49
I.2.1.4.5.Pression	50
I.2.1.4.6.Na Cl.....	53
A. Les espèces thermophiles.....	53
Les espèces thermophiles non-halophiles	53
Les espèces thermophiles halophiles faibles.....	54
Les espèces thermophiles halophiles modérées.....	55
B. Les espèces hyperthermophiles	55
Les espèces hyperthermophiles non-halophiles	55
Les espèces hyperthermophiles halophiles faibles.....	55
I.2.2. Biotopes.....	57
A. Biotopes des espèces thermophiles.....	57
1. Biotopes océaniques.....	57
2. Biotopes terrestres.....	58
3. Biotopes artificiels.....	58
B. Biotopes des espèces hyperthermophiles.....	58
1. Biotopes océaniques.....	58
2. Biotopes terrestre.....	58
3. Biotopes artificiels.....	58
II. Analyse bioinformatique	58
Conclusion.....	62
Références bibliographiques.....	64
Annexes	
Résumé	
Abstract	
Résumé Arabe	

Liste des figures

N° de figure	Titre de figure	N° de page
01	Les gammes de température pour la croissance microbienne.	04
02	Les interactions majeures qui contribuent à la stabilité d'une protéine repliée.	06
03	Processus de repliement des protéines.	07
04	Fonction de la gyrase inverse.	08
05	Mécanisme de stabilisation de l'ADN.	09
06	Représentation schématique des sources hydrothermales océaniques.	10
07	Fumeur noir du site hydrothermal de logatchev (3020 m).	11
08	Fumeur blanc	12
09	Exemples de biotopes naturels (océaniques et terrestres) des thermophiles. A. Cheminée d'un passage hydrothermique sous marin du Pacifique ; B. Octopus Spring, parc national de Yellowstone, Etats-Unis ; C. Sources chaudes, Beppu, Kyushu, Chine ; D. Sources chaudes, Krafla, N'amaskard, Islande ; E. Source chaude, Meskhoutine, Guelma, Algérie.	13
10	L'interaction des disciplines qui ont contribué à la formation de la bioinformatique.	24
11	Les trois grandes formes de procaryotes.	28
12	L'effet de la température sur la vitesse de croissance.	30
13	Les composants d'une interface Delphi	33
14	Composants d'une application BDE.	34
15	Comparaison des différentes valeurs (minimale, maximale et moyenne) de contenus en bases azotées GC mol% de l'ensemble des espèces thermophiles et hyperthermophiles	39
16	(A)Transmission electron micrograph of a single flagellated cell of <i>Thermocrinis ruber</i> that was air dried and platinum shadowed (from two directions). Bar, 1 µm. (B) Scanning electron micrograph of <i>Thermocrinis ruber</i> rod-shaped cells grown on a silicon-coated cover glass. The flakes in the background are silicon. Bar, 2 µm. (C) Scanning electron micrograph of long filaments of <i>Thermocrinis ruber</i> from the pink streamer network formed at the overflow of the glass chamber. Bar, 2 µm.	40
17	Les valeurs de pH optimal des espèces thermophiles.	41
18	Les valeurs de pH optimal des espèces hyperthermophiles.	42
19	Distribution des trois groupes, selon le pH optimal de croissance (les thermophiles et les hyperthermophiles).	46

Nº de figure	Titre de figure	Nº de page
20	Les valeurs minimales, maximales, et moyennes des températures cardinales des espèces thermophiles et hyperthermophiles.	47
21	Les valeurs de la température optimale des espèces thermophiles	49
22	Les valeurs de la température optimale des espèces hyperthermophiles	49
23	Présentation comparative des valeurs de pression et d'altitude des thermophiles barophiles et barotolérantes.	51
24	Présentation comparative des valeurs de pression et d'altitude des hyperthermophiles barophiles et barotolérantes.	52
25	Distribution selon le NaCl optimal de croissance, chez les espèces thermophiles et hyperthermophiles.	57
26	La fenêtre principale de la base de données.	59
27	Interrogation de la base de données.	59
28	Résultat de l'interrogation de la base de données.	60
29	Etablir des états à imprimer.	60
30	Une fenêtre qui affiche la page à imprimer.	61

Liste des tableaux

Nº de tableau	Titre de tableau	Nº de page
01	Enzymes thermophiles et hyperthermophiles avec des applications industrielles potentielles.	21
02	Les étapes de création de la base de données “Micro-Org-Thermophile” avec Delphi.	36
03	Les thermoacidophiles.	42
04	Les thermoneutrophiles.	42
05	Les thermoalcalophiles.	43
06	Les hyperthermophiles acidophiles.	44
07	Les hyperthermophiles neutrophiles.	44
08	Les hyperthermophiles alcalophiles.	45
09	Les espèces thermophiles baortolérantes et barophiles et leur altitude d’isolement.	50
10	Les espèces hyperthermophiles barotolérantes et barophiles avec les valeurs d’altitude d’isolement.	50
11	Les espèces thermophiles non-halophiles.	53
12	Les espèces thermophiles halophiles faibles.	54
13	Les espèces thermophiles halophiles modérées.	55
14	Les espèces hyperthermophiles non-halophiles.	55
15	Les espèces hyperthermophiles halophiles faibles.	55

Liste des abréviations

°C: Degré Celsius

A: Adénine

ADO: ActiveX Data Objects

Alti: altitude

AND: Acide désoxyribonucléique

ARN: Acide ribonucléique

Asn: Asparagines

atm: atmosphere

Atp: Adenosine triphosphate

BaSO₄ : barytine

BD: base de données

BDE: Borland Database Engin

C:Cytosine

CaSO₄: anhydrite

CD: Compact disc

CO₂: dioxyde de carbon

Cys: cysteine

db: database

EAV: Entity-Attribute-Value data model

EDI: Environnement de développement intégré

g/l: gramme par liter

G: Guanine

G+C: Guanine + Cytosine

GIENSAT : Groupe Interdisciplinaire d'Etude de Nouvelles Stratégies
Anti-Tumorales

H₃O⁺: ion hydronium

Hsp: heat shock protein

kpa: kilopascal

LCR: *polymerase chain reaction*

m.s⁻¹ : mètre par seconde

m: mètre

Math: mathématique

Max: Maximal

Micro-Org-Thermophiles: Micro-organismes thermophiles

Min: minimal

mol: Mole

Moy: Moyen

Na Cl: Chlorure de sodium

Opt: optimal

PCR: Polymérase Chain Réaction

pH: Potentiel hydrogène

SDS: sodium dodécyl sulfate

SGBD : Système de Gestion de Bases de Données

sp: Espèce

T: temperature

Taq: L'enzyme ADA polymerase de *Thermus aquaticus*

Tth: L'enzyme ADN ligase de *Thermus thermophilus*

USA: United States of America.

V: Valeur

Liste des annexes

Tableau. A. Critères liées aux espèces thermophiles et leurs biotopes

Tableau. A.1. classification des espèces thermophiles

Tableau. B. Critères liées aux espèces hyperthermophiles et leurs biotopes

Tableau. B.2. Classification des espèces hyperthermophiles

Introduction

La science de la vie et de la nature est une science très vaste et diverse, car elle contient la notion de la vie qui est vraiment complexe à circonscrire en définition, et le phénomène vivant s'avère particulièrement déroutant tant ses formes sont variées, complexes, flexible et finalement adaptables. Diverses formes de résistance à des contraintes et condition de vie extrêmes comme la radioactivité, les hautes pressions, les pH extrêmes, les températures extrêmes chaudes ou froides, la dessiccation, etc. Donc, la vie ne cesse de surprendre en colonisant les milieux les plus insolites et hostiles de la planète, et à chaque fois les chercheurs scientifiques atteint un certain niveau de connaissance, ou sorte de règle, les phénomènes vivants, ou être vivants, font des preuves d'une remarquable résilience et adaptations.

La croissance et la survie des organismes sont commandées par une série de facteurs physiques et chimiques, tous les deux biotique et abiotique (**Kristjansson et Hreggvidsson, 1995**). Parmi ces facteurs, nous intéressent ceux à la température, particulièrement élevée. La vie aux températures élevées est classée en forme thermophile ou hyperthermophile. Les thermophiles, sont des organismes vivants à des températures optimales de croissance comprises entre 50 et 80°C, les hyperthermophiles ont des optima au-dessus de 80 °C (**Gomri, 2012**).

Les microorganismes thermophiles et hyperthermophiles autochtones des environnements hydrothermaux chauds possèdent des capacités d'adaptations moléculaires intéressantes et constituent ainsi une importante source de molécules bioactives peu conventionnelles issues de mécanismes biochimiques et moléculaires uniques. Pourtant l'étude des microorganismes thermophiles ou hyperthermophiles indigènes à ces milieux hostiles à la vie peut aider à mieux exploiter cette importante source de molécules bioactives à des températures nettement plus élevées que celles d'organismes conventionnels (**Gomri 2012**), donc, les thermophiles, représentent une nouvelle frontière pour la biotechnologie. Les travaux de recherche sur ces organismes sont pour une grande part motivés par les applications biotechnologiques dans plusieurs domaines comme la biochimie, génétiques, alimentation, pharmaceutique, médecine, etc.

Au cours des années, les biologistes ont collecté une grande masse d'informations, le taux phénoménal de données biologiques produites fournit des défis : des quantités massives de données doivent être stockées, analysées, et être rendues accessibles. Pour cela, l'introduction d'outils puissants et de méthodes efficaces pour l'analyse et l'interprétation des données biologiques est primordiale. Partant de ce besoin, la bioinformatique en tant que domaine scientifique a émergé (**Layeb, 2005**), et notre étude est basé sur cette idée.

Le principal objectif de ce travail est la création d'une base de données (comme un outil bioinformatique) qui nous permet le stockage des informations concernant les critères liés aux espèces thermophiles et hyperthermophiles (classification, critères génétiques, et conditions de vie) et leurs biotopes (type, nom, location, pH, température de biotope), a fin d'aider et faciliter la recherche scientifique des études de ces microorganismes très importants.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

- Nous exposerons dans un premier chapitre des généralités :

Premièrement sur les microorganismes thermophiles et hyperthermophiles: leur adaptation aux conditions extrêmes, leur écologie (biotopes), et leur intérêts biotechnologiques qui représentent les applications des thermophiles et de leurs molécules en industrie alimentaire et ailleurs.

Deuxièmes sur la bioinformatique (définition et bute) et les bases de données.

- Le deuxième chapitre sera consacré à la méthodologie suivie pour la création de la base de données, initier par la collecte et l'analyse des information lies aux microorganismes thermophiles et hyperthermophiles et leur biotope et finir par une analyse bioinformatique qu'elles nous aboutir à la création d'une base de donnés.
- Le troisième chapitre consiste à l'exposition de nos résultats et leur discussions suivie par une conclusion générale et perspectives.

Chapitre 1
Généralités sur les
thermophiles,
hyperthermophiles et
la bioinformatique

I. Les microorganismes thermophiles et hyperthermophiles :

I.1. Définitions :

I.1.1 La thermophilie :

La relation des organismes vivants à la température a longtemps été considérée en biologie comme un élément de base de classification.

Les organismes thermophiles (du grec *thermê*, chaleur et *philein*, aimer) sont des organismes ayant besoin d'une température élevée pour se développer.

Plusieurs définitions ont été proposées pour définir la thermophilie, mais il ne faut pas confondre micro-organisme thermophile et thermorésistant. La thermorésistance est l'aptitude à résister à un traitement thermique alors que la thermophilie son aptitude à se développer à haute température. (Dupin et al., 1992)

I.1.2 Microorganismes thermophiles :

Les microorganismes thermophiles peuvent se développer à des températures de 55°C ou plus. Leur minimum est situé autour de 45°C, avec des optimums entre 55°C et 65°C. Les thermophiles sont en majorité des procaryotes de même que quelque protistes photosynthétiques et champignons (*Mucor pusillus*, température optimale 45-50 °C) le soient aussi (Prescott et al., 2010).

I.1.3 Microorganismes hyperthermophiles :

Les microorganismes hyperthermophiles ont une croissance optimale entre 80°C et 113°C. (Prescott et al., 2010).

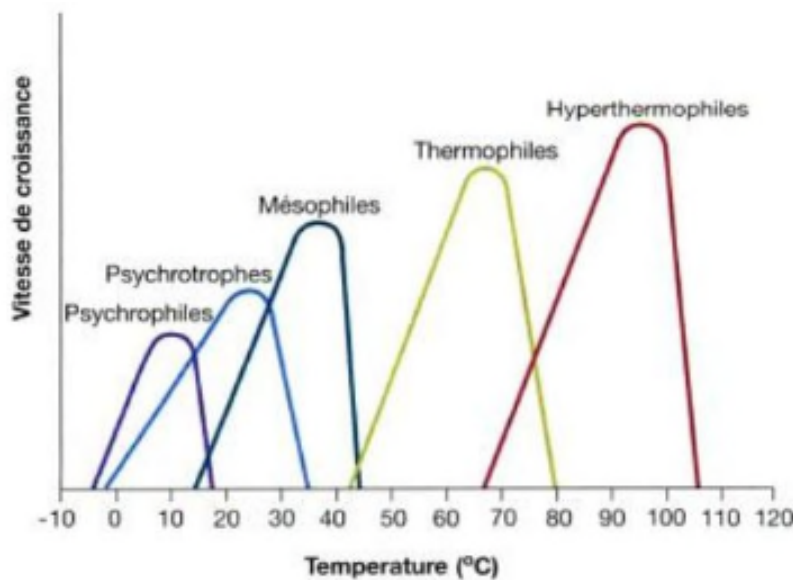


Fig.1 : Les gammes de température pour la croissance microbienne (Prescott et al., 2010).

Les microorganismes se rangent dans différentes classes selon les gammes de température de leur développement. Ils se classent par ordre croissant de température de développement en psychrophiles, psychotrophes, mésophiles, thermophiles et hyperthermophiles. Cette figure (Fig.1) illustre les limites et les optimaux représentatifs de ces cinq catégories (Prescott et al., 2010).

II. Adaptations physiologiques à la thermophilie :

La survie à températures très élevées est dure. Les humains, comme tous les mammifères, sont capables de commander leur température corporelle, mais ces commandes sont limitées et à certaines températures nos corps souffriront et mourront. Vraie, quelques espèces avaient été observées entrer dans les états de protection contre les températures très élevées, mais aucune espèce n'a été vu prospérer et se reproduire à de telles températures élevées. C'est-à-dire, jusqu'à la fin des années 1960 où le scientifique Thomas Brock a découvert une nouvelle espèce bactérienne vivant dans la source chaude du parc national de Yellowstone (USA). (Simmons, 2010).

Tout d'abord, les organismes extrêmophiles sont intéressants pour étudier les adaptations moléculaires qu'imposent les différentes contraintes (forte température, acidité), ...etc. La

question est de savoir comment les molécules peuvent résister à des stress extérieurs extraordinaires.

On peut considérer que les cellules sont formées de trois grands types de macromolécules : les lipides (constituant les membranes cellulaires), les protéines et les acides nucléiques (ARN, ADN). Des adaptations sont nécessaires à ces trois niveaux pour qu'un organisme supporte des conditions extrêmes (comme la température très élevée) (Michaud, 2003).

II. 1. Adaptation thermophile au niveau de la membrane :

Toutes les adaptations présentées consistent à **rigidifier** la membrane pour empêcher les fuites (eau, ions) que tendent à provoquer naturellement l'élévation de la température. Donc, la membrane cytoplasmique des (hyper)thermophiles se caractérise de celles des mésophiles par :

- des chaînes des acides gras qui sont composées des isoprénoides (alcane en alcène linéaire pour les mésophiles).
- Caldarchaeo (dibiphytanyl diglycerol tetraether) dans lequel deux molécules archéols sont reliées. Le caldarchaeo est un complexe qui occupe la face interne et externe de la membrane ce qui stabilise la membrane. (Imanaka, 2008)

L'une des caractéristiques les plus remarquables des archées (qui constituent la plus part des espèces hyperthermophiles) concerne la structure chimique des lipides membranaires. Ceux des bactéries et des eucaryotes possèdent des constituants de base comme les phosphoglycérides qui contiennent des liaisons esters et une tête polaire et peuvent donc former des bicouches séparant deux compartiments aqueux. Les lipides d'archées sont caractérisés notamment par la présence de liaisons éthers entre le glycérol et les chaînes d'acides gras et par les propriétés originales des lipides tétraéther bipolaires leur permettant de générer des films monocouches stables. Ces lipides bipolaires atypiques jouent un rôle important dans l'adaptation aux conditions extrêmes des milieux où prolifèrent les archées. (Querellou, 2010)

II.2. Adaptation thermophile au niveau des protéines :

Lorsque l'amélioration de la thermostabilité d'une protéine est souhaitée, il ya un certain nombre de stratégies disponibles, en tenant compte quatre interactions principales au sein d'une protéine; liaisons covalentes via les ponts disulfure, des interactions ioniques, liaisons hydrogènes, et interactions hydrophobes (fig.2). (Imanaka,2008)

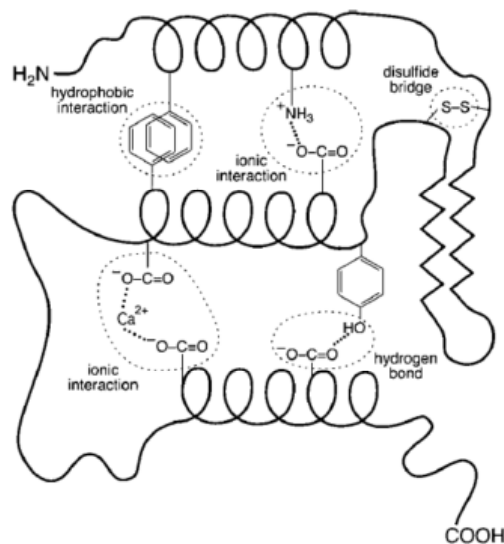


Fig.2:Les interactions majeures qui contribuent à la stabilité d'une protéine repliée.

(Imanaka, 2008)

En général, la stabilité des protéines à des températures extrêmes, supérieures à 90°C, est une question complexe qui a été attribuée à de nombreux facteurs:

(a) la composition en acides aminés (y compris une diminution dans les résidus thermolabiles tels que l'Asn et Cys),

(b) des interactions hydrophobes,

(c) les interactions aromatiques, paires d'ions et l'augmentation des réseaux des ponts salins (la clé de ce paradoxe apparent est que, dans les protéines thermostables les ponts salins forment des réseaux. Ainsi, le gain d'énergie libre entre charges lorsqu'un troisième groupement chargé s'associe à une paire d'ions est comparable à celui qui résulte de l'association des membres de cette paire d'ions, alors que l'énergie libre perdue pour

immobiliser la troisième chaîne latérale ne représente que la moitié d'énergie perdue pour unir les deux premières) (Voet et al., 2005) ;

(d) une hydrophobicité accrue ;

(e) une extension du nombre et de la taille des réseaux de liaisons hydrogène ;

(f) une densité de compaction plus élevée ;

(g) une diminution de la longueur des boucles de surface ;

(h) une oligomérisation des protéines (Holden, 2009 ; Quérellou et Guézennec, 2010)

De plus, les protéines sont stabilisées et aidées dans leur repliement par des chaperons protéiques spéciaux, ils sont connus que chez les protéines des thermophiles (fig.3).

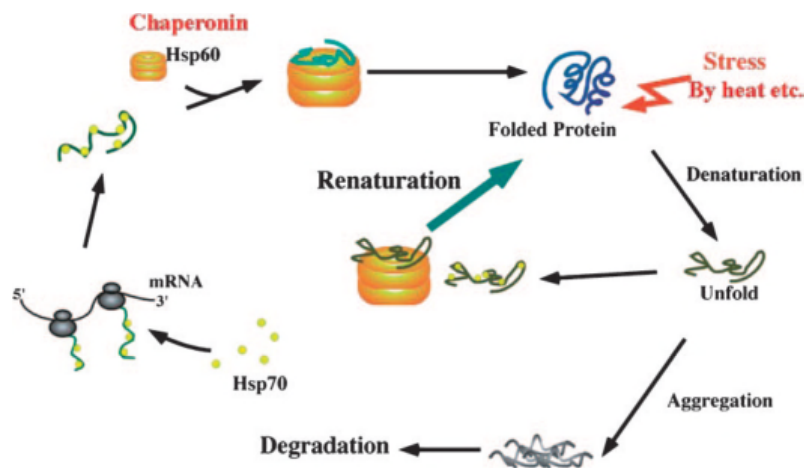


Fig. 3 : Processus de repliement des protéines. (Imanaka, 2008)

Lorsqu'un chaperon est ajouté dans une solution protéine *in vitro*, elle empêche l'inactivation et l'agrégation des protéines à haute température. D'autres protéines sont également induites par le choc thermique, dites Hsp (Heat shock protein) et d'exposer la même fonction que chaperon. Ces protéines peuvent soutenir la croissance des hyperthermophiles à des températures élevées. (Imanaka, 2008)

II.3. Adaptation thermophile au niveau génétique :

Les thermophiles également utilisent plus d'un mécanisme visant à empêcher la dénaturation de L'ADN (devenir simple brin).

Il existe une particularité jusqu'à présent exclusive des hyperthermophiles, c'est la présence de la reverse gyrase, une enzyme capable de former des superhélices positives dans les molécules d'ADN. Dans une superhélice de ce type, l'axe de la double-hélice de Watson et Crick s'enroule sur lui-même dans le sens que la double-hélice (positif par convention). Ce surenroulement positif augmente le nombre de liens topologiques entre les deux brins de la molécule d'ADN. Ce qui va rendre plus difficile l'ouverture locale de l'hélice, s'opposant ainsi au risque de dénaturation non contrôlée que pourrait entraîner des températures de 80° ou plus. Cette enzyme, formée par la fusion de deux protéines «classiques» une hélicase et une topoisomérase, transforme un ADN relâché en ADN surenroulé positivement grâce à l'énergie de l'ATP (**Gargaud et al., 2005**).

Il a également été suggéré que les histones archées contribuent à la thermostabilité du génome (Fig.5). En outre, la concentration ionique élevée de potassium et les polyamines telles que la spermine et la spermidine peut stabiliser l'ADN (**Imanaka, 2008**)

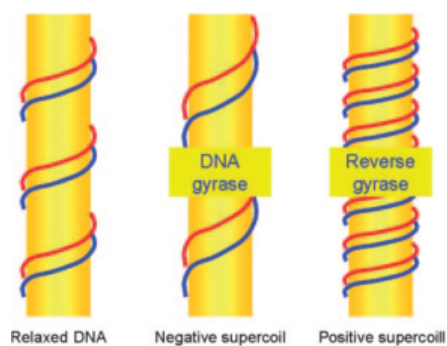


Fig.4 : Fonction de la gyrase inverse. (Imanaka, 2008)

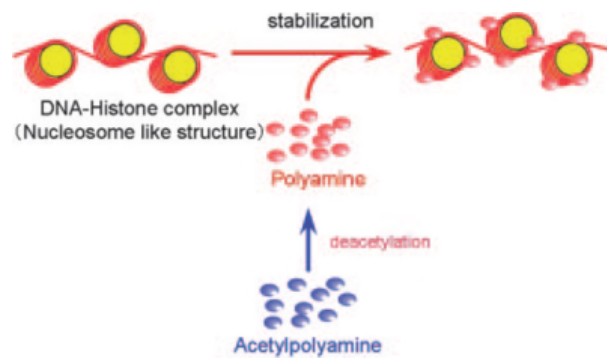


Fig.5 : Mécanisme de stabilisation de l'ADN. (Imanaka, 2008)

III. Biotopes :

Les biotopes les plus communs dans lesquels vivent les (hyper)thermophiles sont d'origine géothermique généralement associés à des zones tectoniques actives mais on les trouve également dans des biotopes chauds artificiels. (Calteau, 2005)

III.1. Biotopes océaniques :

Les biotopes marins des thermophiles sont les systèmes hydrothermaux localisés dans les zones côtières, les profondeurs abyssales, et au niveau des montagnes sous-marines actives comme Teahicya et Macdonald en Polynésie (Huber *et al.*, 2000). Ces écosystèmes sont caractérisés par de fortes concentrations en sel (environ 3%, p/v), et par des valeurs de pH variant de faiblement acides à faiblement alcalines (pH 5,0-8,5). Dans les zones volcaniques actives, de grandes quantités de vapeur contenant du dioxyde de carbone, du sulfure d'hydrogène et des quantités variables d'hydrogène, de méthane, d'azote, de monoxyde de carbone et des traces d'ammonium et de nitrate sont produites (Huber *et al.*, 2000). De plus, les composés soufrés majeurs présents dans les zones marines chaudes sont le soufre, le thiosulfate et le sulfate.

Il existe des systèmes hydrothermaux côtiers dans plusieurs régions du monde : Italie, Açores, Indonésie, Islande, etc. Les systèmes hydrothermaux océaniques quant à eux sont localisés au niveau des zones de fractures tectoniques. Au niveau des cheminées des fumeurs noirs, les émissions sont composées de fluide hydrothermal presque pur et peuvent atteindre une température de 350°C. Le long des parois des fumeurs, il existe un gradient de température dû au refroidissement par l'eau de mer à 3°C. Les thermophiles sont isolés dans la paroi poreuse des fumeurs et dans les sédiments chauds des alentours (Huber *et al.*, 2000).

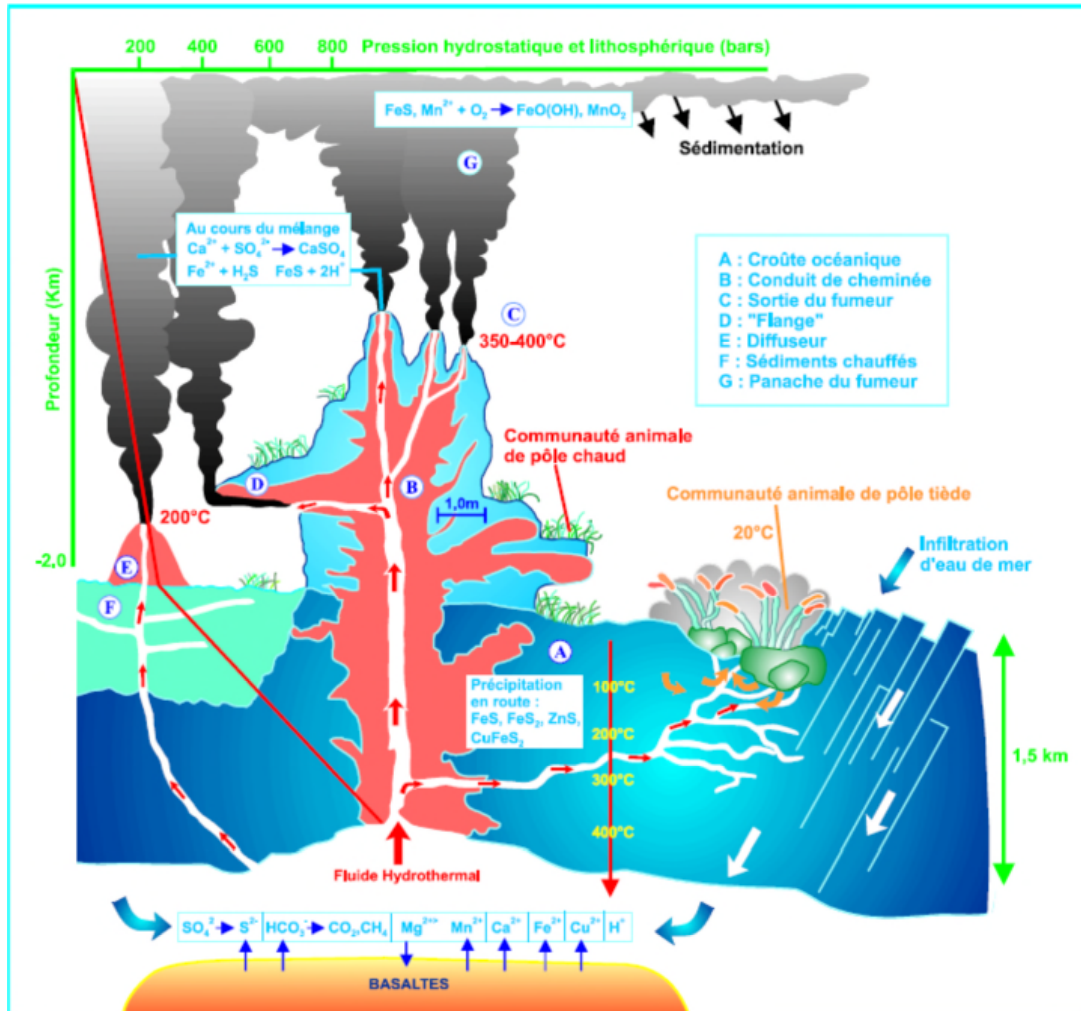


Fig.6.Représentation schématique des sources hydrothermales océaniques (Postec, 2005)

Il existe deux sortes de monts hydrothermaux :

Les fumeurs noirs : L'édification d'une cheminée hydrothermale se déroule en plusieurs étapes. Lorsque le fluide ne subit pas de dilution avec l'eau de mer, sa température au point d'émission est très élevée (350°-400°C) et son débit important (0,4-3 m.s⁻¹). Au contact de l'eau de mer se forme une matrice poreuse de sels de sulfates BaSO₄ (barytine) et CaSO₄ (anhydrite) à partir des ions sulfates de l'eau de mer dont le fluide est dépourvu.

La paroi de l'édifice s'accroît verticalement par dépôt des sulfures métalliques de cuivre, de zinc et de fer (chalcopyrite, pyrrhotite, pyrite et sphalérite) sur la surface externe. La porosité

de cette paroi diminue progressivement au cours du temps, créant une séparation physique entre le fluide hydrothermal et l'eau de mer. La température augmente au centre de la cheminée. Des sulfures de cuivre et de fer (le sulfure de fer est la cause de la couleur noire du fumeur) précipitant sur la paroi interne de l'édifice pour former le conduit central.

Les cheminées sont des édifices minéraux riches en sulfures de cuivre. La cheminée croît à la fois vers l'intérieur et vers l'extérieur. Les cheminées sont schématiquement représentées comme des structures cylindro-coniques, mais dans la réalité, ce sont des structures irrégulières présentant de nombreux canaux et cavités. Des expansions latérales ou "flanges" peuvent également se former. On estime que la durée de vie d'une cheminée peut atteindre plusieurs dizaines d'années, mais elle peut être plus courte (1 à 5 ans) sur des zones très actives telles que la dorsale du Pacifique oriental (Postec, 2005).



Fig.7.Fumeur noir du site hydrothermal de logatchev (3020 m).(Querellou, 2010)

Les fumeurs blancs : Ces édifices se forment lorsque le fluide hydrothermal a été dilué par l'eau de mer avant son émission. Dans ce cas, sa température est abaissée ($< 280^{\circ}\text{C}$). Ce fluide diffuse à faible vitesse ($0,1-0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) au travers d'un réseau de petits canaux, le diffuseur étant généralement dépourvu de conduit central. Les minéraux dominants dans la matrice sont des sulfures de zinc et de fer (sphalérite, quartzite). Il n'y a pas ou peu d'anhydrite, et peu de cuivre. Ce sont globalement des édifices minéraux riches en zinc. Ce hydrothermalisme se manifeste sous forme d'émissions diffuses fréquemment translucides ou peu chargées en particules (Postec, 2005).

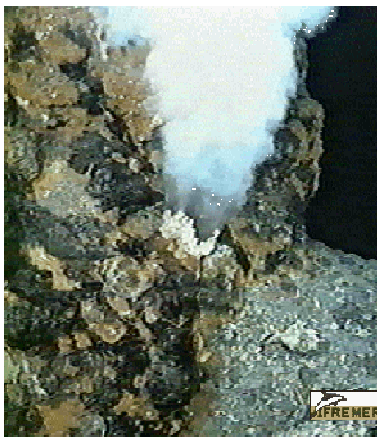


Fig8. Fumeur blanc. (Postec, 2005)

III.2. Biotopes terrestres :

Les biotopes terrestres naturels des hyperthermophiles sont les sources chaudes, les mares de boue, et les solfatares. Ils sont caractérisés par une faible salinité (0,1-0,5%) et peuvent supporter des valeurs de pH allant de 0,5 à 9. Selon l'altitude, la température maximale est comprise entre 80 et 100°C. Les milieux terrestres de haute température sont répandus sur la Terre et sont souvent situés aux alentours des zones volcaniques actives.

On trouve les solfatares en Islande, dans le Parc de Yellowstone aux Etats-Unis, en Nouvelle-Zélande, au Japon, etc. (Huber et al., 2000). Les composés soufrés majeurs présents dans les solfatares sont le soufre, le thiosulfate et le sulfate (Huber et al., 2000).

En 1993, des hyperthermophiles anaérobies ont été trouvés dans des zones souterraines profondes étendant ainsi la biosphère aux profondeurs terrestres. Des chercheurs de l'université de Regensburg (Bavière) ont isolé des organismes hyperthermophiles dans des forages pétroliers à 3500 m sous la mer du Nord et sous le pergélisol à North Slope, au Nord de l'Alaska (Stetter et al., 1993). Ce sont des biotopes non-volcaniques chauffés de façon géothermique. Les microorganismes détectés sont du même type que ceux qui vivent dans les écosystèmes des sources hydrothermales. En fait, ces deux milieux possèdent des conditions physiques (température et pression) et chimiques (présence de composés soufrés) assez analogues. La majorité des hyperthermophiles vivant dans les forages pétroliers sont des sulfidogènes, et ils doivent donc participer à l'acidification du réservoir pétrolier à des températures qui auparavant étaient considérées trop hautes pour des réactions biochimiques. (Stetter et al., 1993).

Cependant, comme les micro-organismes isolés dans ce milieu ont des caractéristiques similaires à ceux trouvés dans les champs hydrothermaux, les auteurs de cette découverte ont proposé qu'ils aient été amenés dans les gisements pétroliers au cours du forage ou par les énormes quantités d'eau de mer introduites au cours de l'extraction. Une autre possibilité serait une colonisation par des voies naturelles comme les failles et les infiltrations d'huile. (Huber et al., 2000).

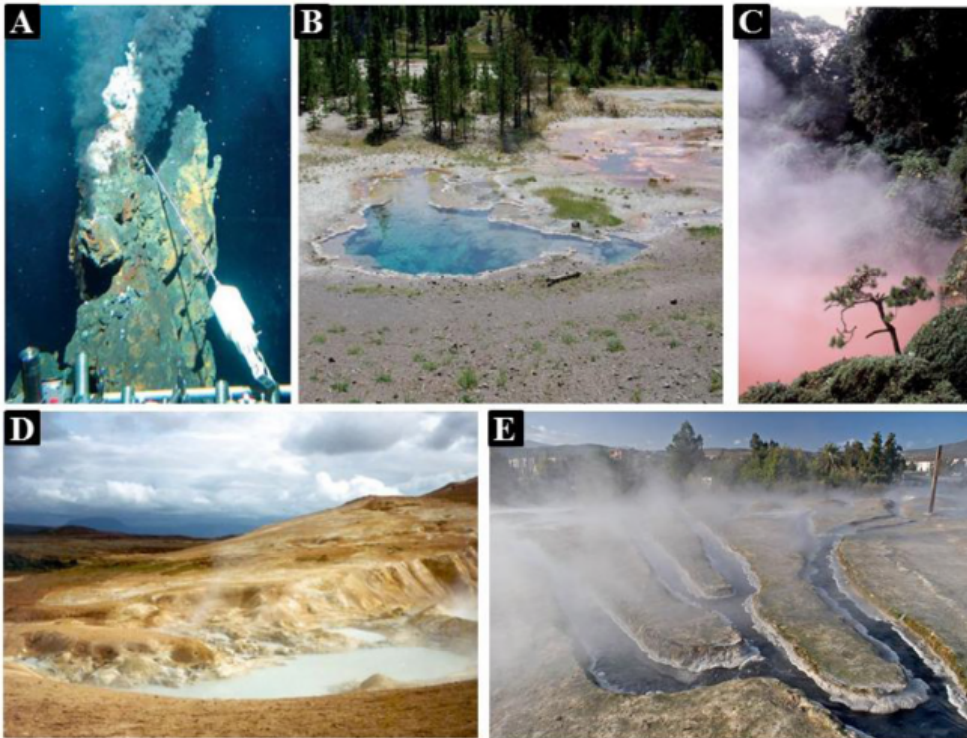


Fig.9. Exemples de biotopes naturels (océaniques et terrestres) des thermophiles. A. Cheminée d'un passage hydrothermique sous marin du Pacifique ; B. Octopus Spring, parc national de Yellowstone, Etats-Unis ; C. Sources chaudes, Beppu, Kyushu, Chine ; D. Sources chaudes, Krafla, N'amaskard, Islande ; E. Source chaude, Meskhoutine, Guelma, Algérie. (Gomri,2012)

II.3. Biotopes artificiels

Des microorganismes hyperthermophiles ont été isolés dans des biotopes artificiels à haute température comme les terrils (piles de combustion lente d'ordures de charbon) et les sorties chaudes des centrales géothermiques et nucléaires (Huber et al., 2000).

En 1995, Meier-Stauffer a isolé une bactérie thermophiles dans une usine de sucre de betterave résidus située en Autriche (Meier-Stauffer *et al.*, 1995).

IV. Intérêts biotechnologiques:

Les microorganismes extrémophiles et spécialement les thermophiles, représentent une nouvelle frontière pour la biotechnologie. Les travaux de recherche sur ces microorganismes sont pour une grande part motivés par les applications biotechnologiques (Quérellou et Guézennec, 2010).

Les extrémophiles sont des microorganismes qui possèdent des possibilités d'applications dans plusieurs domaines, incluant l'agriculture, l'industrie, la pétrochimie et la bioremédiation des sols. Les microorganismes thermophiles se développant de façon optimale à des températures supérieures à 50°C, sont parmi les extrémophiles les mieux étudiés, isolés de différents environnements, leurs enzymes extrêmement thermostables ont trouvés plusieurs applications à cause de leurs propriétés dépassant celles de leurs contreparties mésophiles.

IV.1. Avantage lies a l'utilisation des micro-organismes thermophiles :

L'utilisation de microorganismes thermophiles à des fins industrielles est très attrayante, de nombreux avantages sont lies à l'utilisation de ces microorganismes:

- L'augmentation de la température diminue la viscosité et la tension superficielle de l'eau, ce qui a des effets bénéfiques sur la fermentation microbienne. Or, avec une diminution de la viscosité du milieu, le flux est plus performant. Ainsi, l'efficacité du mélange est augmentée et la force à donner aux agitateurs est diminuée, on a donc besoin de moins d'énergie pour homogénéiser la culture dans un fermenteur ou bioréacteur.
- Les contaminations des milieux de culture par les différents phages ou bactéries parasites sont moins fréquemment observées dans les fermentations menées à hautes températures, le spectre des microorganismes supportant de telles températures étant moins vaste.
- A haute température, la récupération des produits de catalyse ou de fermentation est plus aisée en raison de la diminution de la viscosité du milieu de culture et de l'augmentation de solubilité des composés non gazeux.
- L'activité métabolique entraîne une production de chaleur qui doit être éliminée lorsqu'on utilise des microorganismes mésophiles. Or, l'équipement réfrigérant et le transfert de chaleur représentent 10% du coût global de la fermentation microbienne.

Comme les fermentations thermophiles n'ont pas besoin d'être intensément refroidies, cela constitue une économie d'énergie et diminue le coût du procédé. Lorsqu'il est conduit à haute température, le procédé devient même plus rentable puisque le processus industriel se déroule beaucoup plus rapidement s'il est engendré par des enzymes thermophiles.

- Certaines bactéries thermophiles issues des abysses supportent une très forte pression. Ces bactéries ou archéobactéries sont appelées barophiles, les enzymes produites par ces bactéries résistent, elles aussi, à des pressions extrêmes. Ces enzymes sont très intéressantes dans le cadre d'utilisations industrielles, notamment dans des bioréacteurs à haute pression. (Laubier et al., 2012).

IV.1.2. Enzymes compétitives:

- Plus résistantes aux températures élevées : Les enzymes des thermophiles catalysent de façon idéale les diverses réactions biochimiques, et ceci, à des températures nettement plus élevées que les enzymes produites par les microorganismes mésophiles. Un facteur très utile car la plupart des réactions industrielles utilisant des biocatalyseurs sont généralement menées entre 55 et 100°C.
- Ces enzymes sont résistantes : Plus résistantes aux pH acides ou basiques. Plus résistantes en tout cas que les mésophiles face aux agents dénaturants chimiques tels que le SDS (sodium dodécyl sulfate), le chlorure de guanidine, l'urée, les solvants organiques, les détergents ou encore les protéases. Elles peuvent donc travailler en présence de solvants organiques, supporter des pH acides ou basiques. Elles tolèrent des techniques de purification plus dures tout en obtenant de bons rendements.
- Plus stables: Les enzymes, comme toutes les protéines, se dénaturent au cours du stockage. Ce principe impose au fabricant d'ajouter environ 10% d'activité pour compenser l'inactivation se produisant entre la date de fabrication et la date de péremption du produit. Les thermophiles présentent ici un avantage certain : leur stabilité prolongée. La durée de conservation est donc plus longue. Les réacteurs à enzymes thermostables immobilisés sont donc opérationnels plus longtemps. Le coût de production en est donc diminué. (Laubier et al., 2012)

IV.2. Applications :

Deux types d'applications différentes peuvent être distingués. La première repose sur l'utilisation directe des microorganismes et la seconde sur leur biomolécules. Ce sont les

enzymes, mais aussi les protéines, les lipides, les osmolytes (thermolytes) et une grande diversité de métabolites secondaires. L'ensemble constitué des cellules, des ressources génétiques et des biomolécules est regroupé sous le terme général d'actifs biotechnologiques (Quérellou et Guézennec, 2010).

A. Utilisation directe :

A.1. Utilisation de cellules entières :

L'une des premières applications possibles est la biolixiviation (Utilisation de microorganismes pour transformer les minéraux solides en forme soluble), utilisée essentiellement pour concentrer les métaux (cuivre, or et uranium) lorsque les concentrations initiales de minerai sont faibles et les procédés chimiques conventionnels non rentables. Cette approche, développée en Afrique du Sud, au Brésil et en Australie, fait en général appel à des cultures de bactéries mésophiles de genre : *Thiobacillus*, *Acidithiobacillus* et *Leptospirillum*. Toutefois, différents travaux ont mis en évidence l'intérêt des archées *Pyrobaculum*, *Pyrococcus*, *Sulfolobus* et *Metallosphaera*. Bien qu'inadaptées à des traitements en milieu ouvert, ces espèces hyperthermophiles et thermocacidophiles satisfont aux exigences de fonctionnement à haute température en réacteurs contrôlés pour le traitement de certains minerais comme la chalcopryrite ou la pyrite. (Quérellou, 2010)

La souche C2, appartenant au genre *Thermus*, a altéré divers pétroles bruts et a modifiée leurs propriétés physiques et chimiques. Les interactions biochimiques entre les pétroles bruts et la souche C2 empruntent des tendances définies par un ensemble de marqueurs chimiques (saturés, aromatiques, résines, asphaltènes). Ces tendances révèlent une augmentation des huiles saturées et une diminution des aromatiques, des résines et des asphaltènes. La bioconversion des pétroles bruts mène à l'enrichissement en hydrocarbures plus légers et en une redistribution généralisée de ces hydrocarbures. (Ruixia et al., 2004)

B. Utilisation des biomolécules :

B.1 Le cas des enzymes :

B.1.1. La PCR :

La PCR « *polymerase chain reaction* » est une réaction qui permet l'amplification des fragments d'ADN de manière exponentielle. C'est une réaction cyclique qui repose sur le principe de la réplication d'ADN par une ADN polymérase. Chaque cycle comporte trois étapes :

- dénaturation de l'ADN matrice à 95°C ;

- hybridation des amorces entre 55° C et 70° C ;
- extension des amorces par l'ADN polymérase à 72° C (température optimale de fonctionnement de la Taq polymérase) à partir de l'extrémité 3' des amorces. (Branger et al., 2007).

L'enzyme clé de cette application est la Taq polymérase de la bactérie thermophile *Thermus aquaticus*.

B.1.2. La LCR :

La « *lygase Chain Reaction* » (LCR) est une méthode développée par Landegren. Le principe général de cette technique est le suivant :

Deux oligonucléotides s'hybrident avec des séquences adjacentes présentes sur l'ADN cible puis une ADN ligase lie les deux oligonucléotides par une liaison covalente. L'hybride est ensuite dissocié par la chaleur et le dimère de sondes est détaché de la cible qui devient libre pour hybrider deux nouvelles sondes. (A.Eyquem-J et al., 1998)

L'ADN ligase de cette application est une Tth ligase de la bactérie thermophile *Thermus thermophilus*.

B.1.3. Dérivés d'amidon

Les archéobactéries constituent un gisement extrêmement varié d'enzymes intéressantes pour la dégradation de l'amidon: amylases, glucoamylases et α -glucosidases. Les α -amylases de plusieurs espèces d'archées hyperthermophiles appartenant aux genres *Sulfolobus*, *Thermococcus*, *Pyrococcus* et *Methanocaldococcus* sont caractérisées par leur thermostabilité extrême et leur optimum de température compris entre 80 et 100 °C. Certaines, comme celles de *Pyrococcus* et *Methanocaldococcus*, sont actives jusqu'à 130 °C. La diversité des archées hyperthermophiles permet aussi de disposer d'un registre d'enzymes fonctionnelles dans différentes gammes de pH et de températures (pH : 4,5-7,0 et température : 100°C -120 °C pour les α -glucosidases des *Thermococcales*, pH : 1,5-3,5 pour celles de *Ferroplasma acidiphilum*). Les archées possèdent également des pullulanases, qui hydrolysent les liaisons α -1,6. L'utilisation des amylases, glucoamylases, pullulanases et glucose isomérases d'archées actives à hautes températures et dans des gammes de pH adaptées devrait à terme permettre d'optimiser les procédés de dégradation de l'amidon et de la lignocellulose. (Querellou, 2010).

B.1.4. Alimentation animale :

La préparation des « plaquettes » d'aliments composés pour les animaux, porcs ou volailles, réclame des activités enzymatiques qui répondent à des conditions de production spéciales (pH, température, stabilité à la pression ou présence de solvants). La fabrication de ces aliments passe par la dégradation de polymères tels que le xylane (xylane : Polysaccharide. C'est un des constituants principaux des hémicelluloses obtenues à partir des bois) et l'amidon. Elle s'effectue à haute température, entre 70 et 110°C. Or, les enzymes issues des bactéries des sources hydrothermales supportent parfaitement ces conditions dans leur milieu naturel.

Par ailleurs, l'utilisation de ces enzymes permettrait de dégrader la paroi des végétaux (les céréales, avoine et blé sont à la base de cette nourriture) qui n'est malheureusement pas assimilée directement par l'animal. (Laubier et al., 2012)

B.1.5. Alimentation humaine :

La pectine est un hétéro polysaccharidique ramifiée abondant dans les tissus végétaux. Sa chaîne principale est une partieméthyl-estérifié (1, 4)- α -D-polygalacturonate. Il existe deux types d'enzymes pectinolytique: méthylestérases et dépolyméras (hydrolasesetlyases). Ces enzymes sont largement utilisées dans l'industrie alimentaire. En extraction de jus defruit et la fabrication du vin, les enzymes pectinolytiques augmentent le rendement en jus, réduisent la viscosité et améliorent l'extraction de la couleur à partir de la peau du fruit. Quelques enzymes thermophiles pectinolytiques isolées des bactéries anaérobies thermophiles (*Thermoanaerobacter italicus*) montrent catalytique phrase incomplète et des propriétés de stabilité compatibles avec les besoins industriels. (Vieile et Zeikus 2001)

B.1.6. Industrie papetière :

Dans le processus de la production de papier, la fabrication de la pâte est l'étape au cours de laquelle les fibres de bois sont décomposées et la lignine est enlevée. Cette fabrication correspond souvent à un traitement avec un produit alcalin chaud pour les fibres de bois. La lignine restante est enlevée par un procédé en plusieurs étapes de blanchiment. Réalisé avec du chlore et /ou du dioxyde de chlore à des températures élevées, le blanchiment de la pâte génère des volumes élevés des déchets polluants (Tolanet et al., 1996). La quantité de produit chimique utilisé et, par conséquent, la pollution résultant peut-

être réduite si la pâte à papier est prétraitée avec des hémicellulases. Et comme la fabrication de la pâte et le blanchiment sont à la fois effectués à des températures élevées, l'industrie du papier est en besoin d'une hémicellulase thermophiles, de préférence ceux qui sont actifs au dessus de pH 6,5 à pH 7,0 (Wakarchuk et al., 1994). Les hémicellulases hyperthermophiles ont seulement été caractérisées dans l'ordre de Thermotogales (*Thermotoga thermarum*). Ces enzymes sont actives à des pH autour de 7,0 (Vieile et Zeikus, 2001).

B.2. Le cas de membrane lipidique :

Les lipides bipolaires des archées ont un intérêt marqué pour leurs propriétés singulières et leurs applications biotechnologiques potentielles pour la réalisation des films lipidiques monocouches particuliers ou la production de liposomes d'archées (archaeosomes). L'utilisation de ces films lipidiques tétraéther monocouches permet la création des membranes artificielles dont les propriétés de (thermo)stabilité, d'isolation et de perméabilité sont intéressantes pour des traitements de surface et le développement de matériaux biomimétiques. Les archaeosomes peuvent être constitués à partir des lipides membranaires d'archées. La stabilité des archaeosomes aux hautes températures, aux pH alcalins, aux phospholipases, aux estérases et aux sels biliaires est très élevée : certains archaeosomes peuvent être stérilisés par autoclavage sans altération de structure. Ils présentent de plus un profil de toxicité acceptable chez la souris par voie orale et en injection intraveineuse, et ciblent naturellement les cellules phagocytiques mononucléaires avec une efficacité 50 fois supérieure à celle de liposomes à liaisons esters. (Rawlings, 2007)

Plusieurs brevets ont été déposés dans ce domaine mais leur utilisation en routine à grande échelle pour des formulations de vaccins et la vectorisation de gènes ou de molécules actives se heurte encore à de multiples obstacles (toxicité, ciblage, dégradation *in vivo*). (Jacquemet A et al., 2009). Mais l'utilisation des archaeosomes ne se limite pas à la santé humaine : des recherches sont également menées en santé animale à des fins de vaccination (Brevet WO 2008/070982 A1). (Querellou, 2010)

B.3. Le cas des polysaccharides :

A l'instar des microorganismes mésophiles, il existe chez les thermophiles issus des écosystèmes hydrothermaux profonds quelques bactéries avec des propriétés toutes aussi

captivantes. Ces microorganismes sont des sources potentielles de polymères qui présentent un intérêt biotechnologique.

Parmi ces polymères, il convient de citer les polyesters "biodégradables" et les exopolysaccharides bactériens.

Ces polysaccharides ont des caractéristiques très intéressantes telles que :

- Faciliter l'adhésion bactérienne aux surfaces,
 - Piéger les oligo-éléments nécessaires à la croissance des micro-organismes à l'intérieur d'un biofilm,
 - Se protéger contre les agressions biologiques ou chimiques.
- Certains polymères ont des structures proches de polymères déjà commercialisés. Ainsi, le polymère produit par la bactérie hydrothermale *Vibrio diabolicusa* une composition chimique proche de celle de l'héparine, polysaccharide d'origine animale qui possède des activités biologiques (activités anticoagulantes) importantes (**Laubier et al., 2012**).
- Les polysaccharides intéressent également les organismes de recherche médicale. Ainsi, le Groupement d'Intérêt Scientifique GIENSAT (Groupe Interdisciplinaire d'Etude de Nouvelles Stratégies Anti-Tumorales) a pour mission de découvrir de nouveaux traitements du cancer à partir des produits d'origine marine. Il a développé l'utilisation des polysaccharides pour limiter les inconvénients de la chimiothérapie en aidant à mieux cibler l'action des médicaments sur les seules cellules malades (**Laubier et al., 2012**).

B.4.Solutés compatibles :

L'accumulation des substances osmotiquement actives, appelées solutés compatibles, (thermolytes ou extrêmolytes) par import ou synthèse, permet aux microorganismes de réduire la différence entre les potentiels osmotiques du cytoplasme cellulaire et de l'environnement extracellulaire.

Ces composés sont des sucres fortement hydrosolubles, des sucres alcools, des alcools, des acides aminés, ou leurs dérivés. Ils ont gagné une attention croissante en biotechnologie suite à leur action comme stabilisateurs de biomolécules (enzymes, ADN, membranes, tissus) et agents protecteurs contre les facteurs de stress cellulaire. En plus, les solutés compatibles augmentent les rendements de production de protéines recombinées actives et fonctionnelles exprimées dans différents hôtes. (**Gomri, 2012**)

C. Autre enzymes thermophiles et hyperthermophiles et leurs applications industrielles potentielles :

Tab.1 Exemples des enzymes thermophiles et hyperthermophiles avec des applications industrielles potentielles. (Vieile et Zeikus 2001)

Enzyme	Origine	Applications
Endo-1,4-β-glucanase	<i>Thermotoga maritima</i> <i>Thermotoga neapolitina</i>	Dégradation de cellulose.
Cellobiohydrolase	<i>Thermotoga maritima</i>	Dégradation de cellulose.
Endoxylanase	<i>Thermotoga</i> <i>thermarum</i> (l'enzyme II) <i>Thermoanaerobacterium</i> <i>sacharolyticum</i>	Industrie papetière.
B-Xylosidase/arabinofuranisidase	<i>Thermotoga</i> sp. la souche Fjss3-B.1	Industrie papetière.
β-Mannanase	<i>Rhodothermus marinus</i>	Industrie papetière.
β-Xylosidase	<i>Thermoanaerobacterium</i> <i>saccharolyticum</i>	Production de xylose.
Trehalosesynthase	<i>Thermus caldophilus</i>	Production de α,αtrehalose, utilisée dans : la préservation d'aliments, en cosmétique, médecine et organe.
Hydantoinase	<i>Bacillus stearothermophilus</i>	Synthèse de D-acides aminés comme intermédiaires dans la production d'antibiotiques semi-synthétique, des peptides, des hormones et des pesticides.
Esterase	<i>Pyrococcus furiosus</i>	La transestérification et la synthèse d'esters
Pectate lyase	<i>Thermoanaerobacter italicus</i>	Clarification de jus de fruit,

		et macération des légumes.
β-Galactosidase	<i>Thermotoga maritima</i>	Production de lactose alimentaire des produits laitiers.
β-Fructosidase	<i>Thermotoga maritima</i>	Industrie de la confiserie et la production de sucre inverti.
β-1,4-endoglucanase	<i>Pyrococcus furiosus</i>	Alimentation animale : la digestion de B-glucan d'orge.
Phytase	<i>Bacillus sp.</i> la souche DS11	Alimentation animale : dégradation de phytate.
Keratinase	<i>Fervidobacterium pennavorans</i>	Dégradation des plumes de volailles et production d'acides aminés rares (la sérine et la proline).
Chitinase	<i>Thermotoga maritima</i>	L'utilisation de chitine comme une renouvelable ressource, la production biologique d'oligosaccharides actifs.
α-Galactosidase	<i>Thermotoga maritima</i>	L'industrie pétrolière et gazière : stimulation des puits par l'hydrolyse de galactomannane. Transformation de sucre de la betterave : suppression des raffinose à partir de sirop de saccharose. Synthèse d'oligosaccharides par réaction de transfert glycosyles.
Alkaline phosphatase	<i>Thermotoga neapolitina</i>	Diagnostic : une enzyme-étiquetage utilisée dans les

applications où la stabilité est demandée.

Au cours de notre étude, on a collecté une grande masse d'informations représentées dans un ensemble de critères liés aux microorganismes (classification, pourcentages en GC%, morphologie, type respiratoire, type trophiques, températures cardinales en °C, pH cardinales, pression en kpa, altitude en m, NaCl en g/l,) et leur biotopes (type, nom, location, température en °C et pH du site d'isolement) concernant 154 espèces thermophiles et hyperthermophiles, ce taux phénoménal de données biologiques doivent être stockées, analysées, et être rendues accessibles pour les chercheurs de ce domaine. À cette fin, nous nous dirigeons vers la bioinformatique.

V. Bioinformatique:

Où ne trouve-t-on pas maintenant l'utilisation de "l'informatique" en biologie: pilotage des appareils expérimentaux, archivage de données, traitement de données, analyse de séquences, prédictions sur celles-ci, etc.

Toutefois, les exégètes, que ce soit par une juste perspicacité ou un snobisme effréné, réservent le mot bioinformatique, qui émerge dans les années 1990, à une nouvelle discipline, fusion des disciplines de biologie, informatique et traitement de l'information.

Les analyses en bioinformatique se concentrent sur trois types d'ensembles de données : les séquences de génome, les structures macromoléculaires et la génomique fonctionnelle expérimentale (par exemple des données d'expression). Mais l'analyse bioinformatique est également appliquée à diverses autres données, par exemple les arbres phylogénétiques, les données de rapport à partir des voies métaboliques et les statistiques médicales. Une gamme étendue de techniques sont employées, y compris l'alignement primaire de séquences, l'alignement de structures tridimensionnelles de protéines, la construction d'arbres phylogénétiques, la prévision et la classification de la structure de protéines, la prévision de la structure d'ARN, la prévision de la fonction de protéines et le groupement des données d'expression. Le développement algorithmique est une partie importante en bioinformatique où des techniques et des algorithmes ont été spécifiquement développés pour l'analyse des

données biologiques par exemple, l'algorithme de programmation dynamique pour l'alignement de séquences. (Layeb, 2005)

V.1.Définition de la bioinformatique:

La bioinformatique est le traitement automatique de l'information biologique. Plus spécifiquement, elle effectue la synthèse des données disponibles à l'aide de modèles et de théories, énonce des hypothèses généralisatrices par exemple comment les protéines se replient-elles ou comment les espèces évoluent-elles, et formule des prédictions par exemple localiser ou prédire la fonction d'un gène. (Layeb, 2005)

Lors de sa création, la bioinformatique correspondait à l'utilisation de l'informatique pour stocker et analyser les données de la biologie moléculaire. Cette définition originale a maintenant été étendue et le terme bioinformatique est souvent associé à l'utilisation de l'informatique pour résoudre les problèmes scientifiques posés par la biologie dans son ensemble. Il s'agit dans tous les cas d'un champ de recherche multidisciplinaire qui associe informaticiens, mathématiciens, physiciens et biologistes (Beroud, 2011), ou on peut dire que la bioinformatique est une branche de biologie se développe rapidement et qui est fortement interdisciplinaire (Fig.9). (Layeb, 2005) (Fig.9)

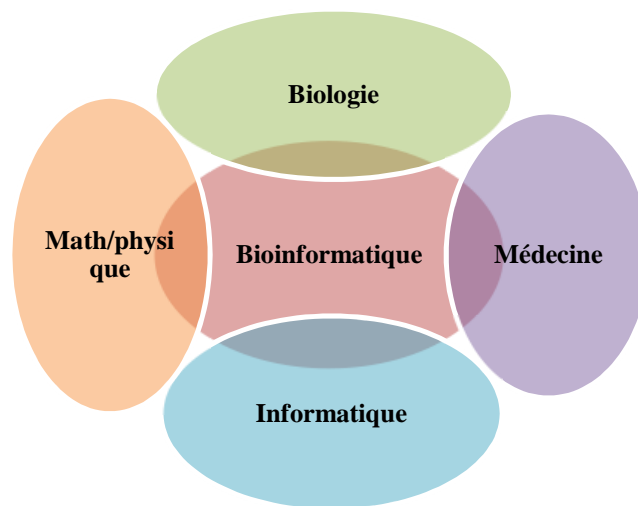


Fig.10. L'interaction des disciplines qui ont contribué à la formation de la bioinformatique. (Layeb, 2005)

V. 1.1. Le but de la bioinformatique:

Le but des projets bioinformatiques en biologie, n'est pas de corroborer ou de réfuter une hypothèse, mais de fournir des données brutes pour l'analyse postérieure. Une fois que les données brutes sont disponibles, des hypothèses peuvent être formulées et évaluées *in silico*. Et donc, le but de la bioinformatique est de faire avancer les connaissances en biologie, en génétique humaine, en théorie de l'évolution, etc. (Layeb, 2005).

V.2. Les bases de données:

Pour aboutir à la formulation de ces modèles et à ces prédictions, il est indispensable tout d'abord de collecter et organiser les données à travers la création de bases de données.

Une base de données est un ensemble structuré et organisé permettant le stockage de grandes quantités d'informations afin d'en faciliter leur utilisation (ajout, mise à jour, recherche et éventuellement analyse dans les systèmes les plus évolués que nous verrons par la suite).

Elles sont toutes organisées en fonction d'un modèle de données (*data model*) qui peut être de différents types : modèle hiérarchique (*hierarchical model*), modèle en réseau (*network model*), modèle relationnel (*relational model*), modèle orienté objet (*object oriented model*), modèle semi structuré (*semistructured model*), modèle associatif (*associative model*), modèle EAV (*Entity-Attribute-Value data model*) ou encore modèle contextuel (*context model*). (Beroud, 2011). Parmi ces modèles, le modèle orienté objet est un des outils d'un langage de programmation appelé **Delphi** (ce qu'on utilise dans notre Project) qui permet de développer rapidement des applications de base de données.

Afin de créer ces bases de données, il est nécessaire d'avoir recours à un système informatique nommé Système de Gestion de Bases de Données (SGBD) dont les plus connus sont : *Oracle, Access, SQLServer, Informix, Sybase, DBE, MySQL, 4D, Filmaker, etc.*

*Matériel et
méthodes*

Objectif du travail:

Ce chapitre décrit un ensemble des techniques et méthodes utilisées au cours de cette étude visant à créer une base de donnée scientifique spécialisée des bactéries hyperthermophiles et thermophiles ce qui facilite la recherche scientifique dans le domaine de la microbiologie des écosystèmes hydrothermaux et épargne beaucoup de temps de rassemblement des informations concernant une espèce qui abrite ce genre d'écosystème extrême.

Pour concrétiser cet objectif, nous avons divisés ce travail en deux étapes principales: commençant par la collecte et l'analyse des informations (articles scientifiques), ensuite nous procédons à une analyse bioinformatique de ces informations.

I. Collecte et analyse des informations:

Cette étape consiste à collecter un ensemble d'articles scientifiques sur les micro-organismes thermophiles et hyperthermophiles, qui comprennent les informations nécessaires pour notre étude.

I.1.Collection des informations:

On a trouvé dans les articles rassemblés, les informations suivantes: le nom scientifique de l'espèce, le nom de la souche, le coefficient de Chargaff(%), la morphologie bactérienne, le type respiratoire, le type trophique, le pH de vie (minimum, optimal et maximal), la température de vie(°C) (minimale, optimale et maximale), l'altitude de site d'isolement, la pression, la concentration de NaCl, le site d'isolement, la température et le pH de site d'isolement .

Ces articles sont trouvés et téléchargés des journaux scientifiques suivants:

- Applied and Environmental Microbiology
- Archaea
- Archives of Microbiology
- Extremophiles
- FEMS Microbiology Letters

- Journal of Bacteriology
- International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology
- International Journal of Systematic Bacteriology

I.2. Analyse des informations

Les informations obtenues sont organisées dans deux tableaux, le premier englobe les espèces archéennes et bactériennes thermophiles et le deuxième pour les espèces archéennes et bactériennes hyperthermophiles.

Chaque ligne de chaque tableau contient les informations mentionnées dans l'étape précédente, ces deux tableaux sont organisés comme suit:

I.2.1. Critères liés au micro-organisme:

I.2.1.1. Classification:

La classification des micro-organismes consiste à les placer dans des niveaux taxonomiques hiérarchisés. Les micro-organismes, dans chaque niveau ou rang, partagent en un ensemble de caractères spécifiques. Les rangs sont organisés en une hiérarchie non chevauchante, de sorte que chacun d'eux inclut non seulement les traits qui définissent le rang, mais un nouvel ensemble de traits plus restrictifs. (Prescott et al., 2010). Dans cette étude, nous avons pris trois rangs de classification, plus le nom de la souche:

Domaine: c'est le rang le plus élevé, et tous les procaryotes appartiennent soit au domaine des *Bacteria*, soit à celui des *Archaea*. (Prescott et al., 2010).

Ordre: Une collection de familles semblables. Dans la nomenclature procaryote, le nom de l'ordre se termine, par le suffixe -ales. (Trivedi et al., 2010).

Espèce: c'est le groupe de base en taxinomie microbienne. Une espèce procaryote est un ensemble de souches qui partagent de nombreuses propriétés stables et différentes de façon significative des autres groupes de souches. (Prescott et al., 2010).

Souche: est constituée des descendants d'une seule culture microbienne pure. (Prescott et al., 2010).

I.2.1.2. Critère génétique:

Pourcentage de G+C: le pourcentage de G + C dans l'AND, est un reflet de la séquence en base et varie avec les modifications de séquence:

$$G + C \text{ Mol\%} = \frac{G + C}{G + C + A + T} \cdot 100$$

Les données de contenu en GC ont une valeur pour au moins deux raisons. Premièrement, elles peuvent confirmer un schéma taxinomique construit à partir d'autres données. Si des organismes d'un même taxon présentent des contenus en GC trop dissemblables, le taxon devrait probablement être divisé. Deuxièmement, le contenu en GC semble utile pour caractériser les genres procaryotes parce que la variation à l'intérieur d'un genre est généralement inférieure à 10%. (Prescott et al., 2010).

I.2.1.3. Morphologie: bien que ce soit trop simplifié, il est utile de diviser les bactéries en fonction de caractères morphologiques faciles. La plupart des procaryotes ont l'une de ces trois formes: bâtonnet (on parle souvent de bacille), coque, de forme sphérique ou ovoïde, et spirille ou spirochète, bactérie allongée et hélicoïdale (fig.11). (Singer, 2011)

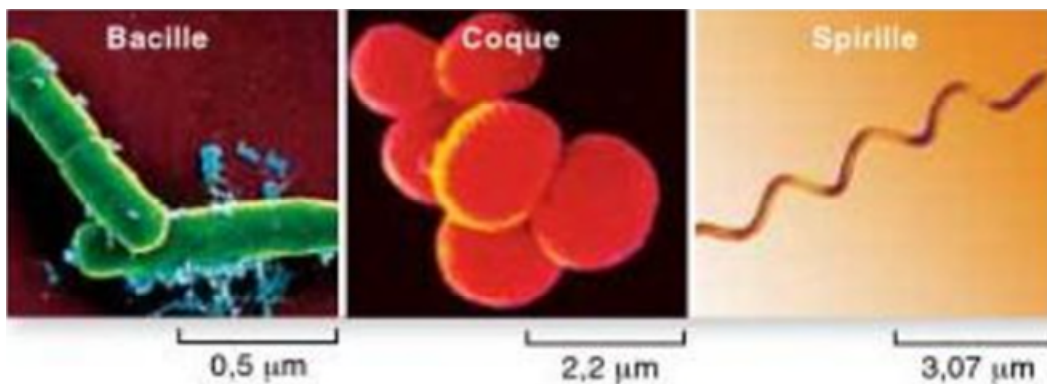


Fig.11. Les trois grandes formes de procaryotes. (Singer et al., 2011)

I.2.1.4. Condition de vie:

I.2.1.4.1. Type respiratoire: les bactéries sont classées, en fonction de leur relation avec l'oxygène, en sept types respirations dont quatre sont très réponsus.

- Le groupe des **anaérobies stricts** rassemble toutes les bactéries ne se développant qu'à l'abri de l'air.
- Les **aéro-anaérobies** peuvent croître aussi bien en présence qu'en l'absence d'oxygène. Dans ce groupe, il est possible de distinguer deux catégories:

-les **bactéries aérobies facultatives** oxydent, en aérobiose, les substrats énergétiques et pratiquent, en anaérobiose, les fermentations ou (et) les respirations minérales;

-les **bactéries anaérobies facultatives** ou anaérobies préférentielles ne pratiquent que les voies indépendantes de l'oxygène

- Les **aérobies stricts** ne se développent qu'en présence d'oxygène.
- Les **bactéries micro-aérophiles** ne se développent que sous une pression réduite d'oxygène. (Leyral et Vierling 2007).

I.2.1.4.2. Type trophique: L'utilisation de milieu chimiquement définis a permis de connaître les substances qui peuvent servir comme source de carbone. Ces exigences nutritionnelles conduisent à envisager deux grandes catégories de micro-organismes. Les uns, **autotrophes**, sont capables de se développer en milieu inorganique contenant le CO₂ comme seule source de carbone. Les autres, **hétérotrophes**, exigent au contraire des composés inorganiques et organiques comme source de carbone, selon les conditions de milieu. Cette catégorie est appelée **autotrophe/hétérotrophe facultative**.

I.2.1.4.3. pH: Il est égal au cologarithme de la concentration en H₃O⁺, il détermine l'acidité ou la basicité d'un milieu et peut varier entre zéro et 14. La majorité des bactéries se multiplient préférentiellement à des pH voisins de la neutralité (6,5 à 7,5), mais elles sont capables de croître dans une large gamme de pH. (Roustel et al .,2007). Dans cette étude on cite trois valeurs de pH: minimal, optimal et maximal, et selon les quelles on va classer les espèces en trois groupes: acidophiles, neutrophiles et alcalophiles.

I.2.1.4.4.Température: Selon la température, on peut classer les micro-organismes en trois grandes classes : mésophiles, psychrophiles et thermophiles, cette dernière classe est subdivisée en deux : thermophiles et hyperthermophiles, et pour les classer selon la température de croissance nous avons cité les valeurs de température, et faire une comparaison.

La gamme de température permettant la croissance d'un micro-organisme particulier s'étend généralement sur 30 degrés (Prescott et al., 2010). Cette gamme comprend trois valeurs de température dites cardinales (minimales, optimales et maximales), ces valeurs influence la vitesse de croissance (Fig.12).

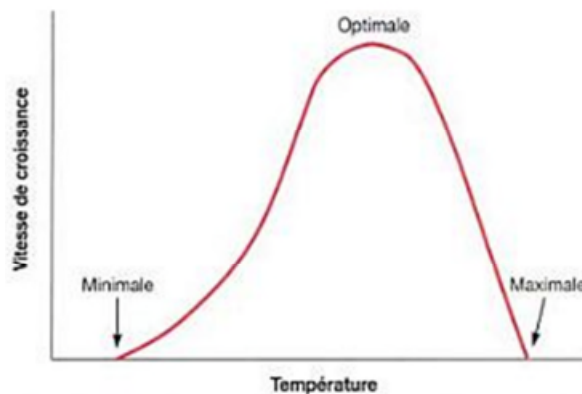


Fig.12.L'effet de la température sur la vitesse de croissance.(Prescott et al., 2010)

I.2.1.4.5.Pression: Comme la plupart des organismes vivant sur la terre ou à la surface de l'eau, ils sont toujours soumis à une pression d'une atmosphère (atm) et ne sont jamais soumis à des variations significatives de pression. Pourtant de nombreux procaryotes vivent dans les profondeurs marines (un océan d'une profondeur de 1000 m ou plus) où la pression hydrostatique peut atteindre 600 à 1100 atm. Beaucoup de ces procaryotes sont barotolérants, une pression accrue les affecte de façon défavorable, mais pas autant que les micro-organismes non tolérants. Certains procaryotes sont de vraies barophiles, ils se développent plus vite aux pressions élevées (Prescott et al., 2010).

I.2.1.4.6.NaCl: les exigences des bactéries en chlorure de sodium sont variables. Certaines requièrent une salure faible ou nulle, d'autres une salure plus élevée, et selon ces exigences, on peut classer les espèces en : non-halophiles, halotolérantes et halophiles.

I.2.2. Biotopes :

Les microorganismes thermophiles et hyperthermophiles peuvent être isolés, comme mentionné dans le chapitre précédent, de différents biotopes (océaniques, terrestres ou même artificiels). On prend toutes les informations liées aux biotopes des espèces à partir des articles scientifiques, les informations sont: **le site d'isolement (type, nom, location), l'altitude, la température et le pH.**

II. Analyse bioinformatique

II.1.Définitions:

II.1.1. Les deux approches de la bioinformatique:

La bioinformatique est une discipline relativement récente, le terme ayant été créé dans les années 80. Cette notion englobe l'ensemble des applications de l'informatique aux sciences de la vie, domaine très vaste qui recouvre tous les axes de recherche, allant des applications en robotique aux techniques les plus avancées en intelligence artificielle.

La définition exacte du terme bioinformatique constitue une source récurrente de dissensions au sein de la communauté scientifique. Deux approches peuvent être relevées : la première consiste à concevoir la bioinformatique comme un procédé nouveau d'investigation biologique ; la deuxième approche associe cette discipline à un ensemble d'outils mis à la disposition des biologistes pour valider des expériences biologiques. Les deux approches de la bioinformatique qui ont été mentionnées ne sont pas à l'opposé : elles constituent les deux faces d'une même discipline, selon qu'on considère son aspect fondamental (modélisation mathématique) ou selon qu'on s'intéresse aux retombées en termes d'ingénierie (développement d'applications informatiques performantes pour les utilisateurs biologistes). L'énorme masse d'informations biologiques doit être gérée par des outils informatiques adaptés.

Dans un premier temps, l'effort a porté sur l'organisation de ces données pour définir des normes, des structures, le stockage et l'interrogation des données. Très tôt est apparue la nécessité de concevoir des algorithmes dédiés. **(Ramstein, 2012)**

II.1.2. Quelques concepts relatifs aux bases de données :

Une base de données est un ensemble de données structurées, celles-ci sont regroupées dans un ou plusieurs fichiers de données. Chaque fichier est représenté par une table de données qui est formée d'enregistrement et de champs (**Belaid, 2007**).

Une table est formée de colonnes et de lignes, chaque colonne représente un champ et chaque ligne représente un enregistrement (**Belaid, 2007**).

Chaque table doit avoir une *clé primaire* qui permet d'identifier de manière unique chaque enregistrement. La *clé primaire* est un champ ou une combinaison de champs, dont la valeur identifie un enregistrement et un seul de la table (**Belaid, 2007**).

Pour exploiter les informations d'une base de données, nous avons besoin d'un SGBD (Système de Gestion de Base de Données), un SGBD est un programme informatique qui permet d'organiser, de représenter, de rechercher et de conserver les informations dans une base de données (**Belaid, 2007**).

II.1.3. Delphi:

Le Delphi est un langage de programmation conçu pour développer visuellement et facilement des applications sous Windows et Linux (système d'exploitation).

On appelle EDI (ou IDE), acronyme de «Environnement de développement intégré», l'interface qu'offre Delphi pour aider l'utilisateur à construire son application. Cette interface ressemble plus à un atelier où l'on dispose d'une boîte à outils et d'un ensemble d'objets qui servent à fabriquer une application. On l'a bien dit; sous Delphi, on n'écrit pas une application mais on la fabrique. (**Belaid, 2011**).

L'interface est composée des éléments suivants (**Fig.3**):

- Des menus
- Des barres d'outils
- La palette des composants
- L'inspecteur d'objets
- L'arborescence d'objets
- L'éditeur de code
- L'explorateur de code
- Le concepteur de fiches (ou le gestionnaire de projet). (**Belaid, 2011**)

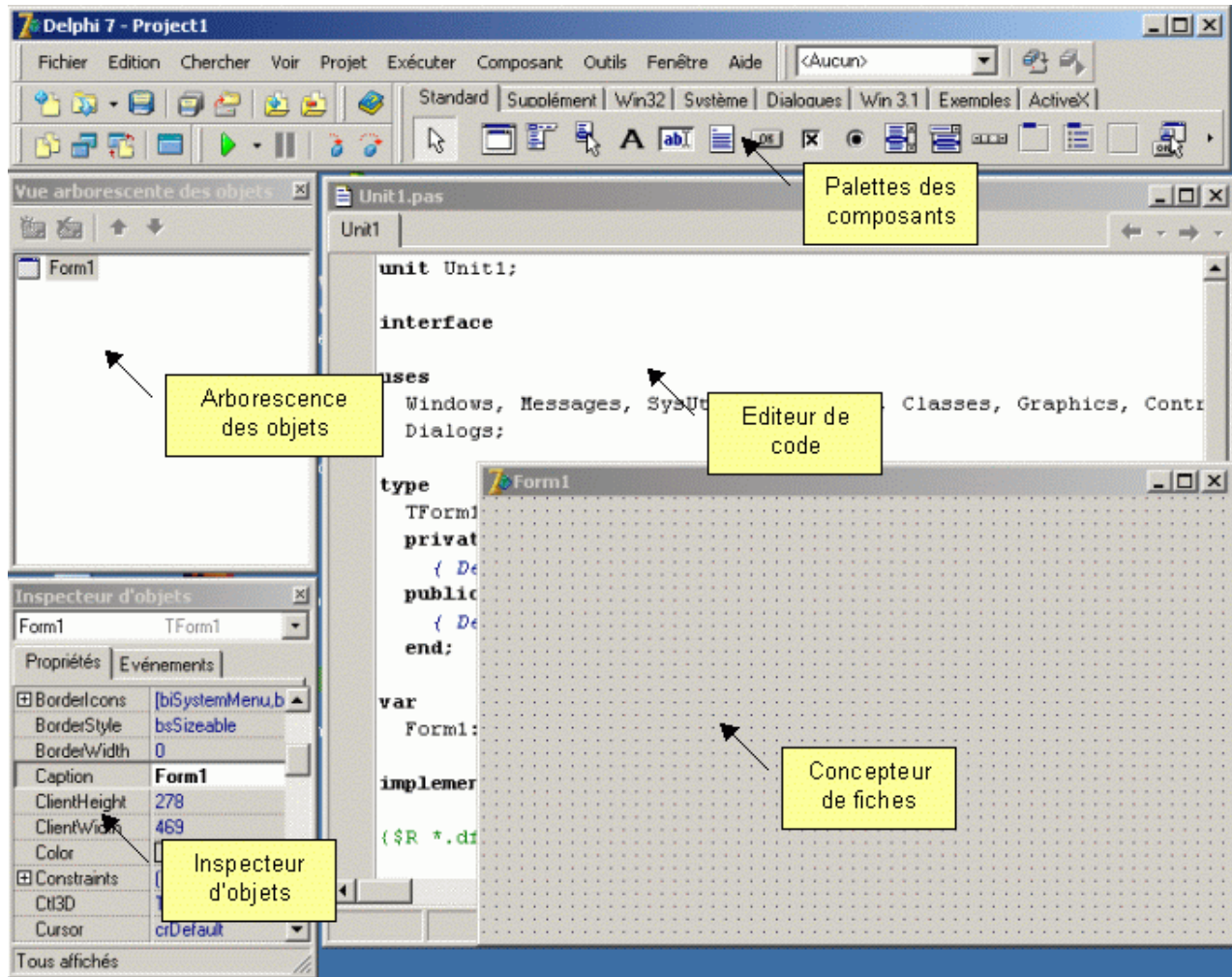


Fig.13. Les composants d'une interface Delphi.

Delphi dispose de nombreux composants permettant d'accéder aux bases de données (BDE, ADO, dbExpress, InterBase, AccèsBD, ControleBD) et de les exploiter, ces composants sont repartis selon les mécanismes d'accès aux données qui diffèrent d'une technologie à une autre.

Pour notre base de données scientifique, nous avons choisis le composant BDE (Borland Database Engin). (Belaid, 2007)

Le BDE est un moteur de base de données Borland, il représente un mécanisme d'accès aux données pouvant être partagé entre plusieurs applications. Avec BDE on peut créer, restructurer, mettre à jour, interroger ou manipuler des serveurs de bases de données locaux (comme celui de notre projet) ou distants. (Belaid,2011)

L'architecture d'accès aux bases de données est constituée des éléments suivants:

- L'interface utilisateur
- La source de données
- L'ensemble de données
- Les composants de connexion aux données.

La structure d'une application BDE est représentée comme suit:

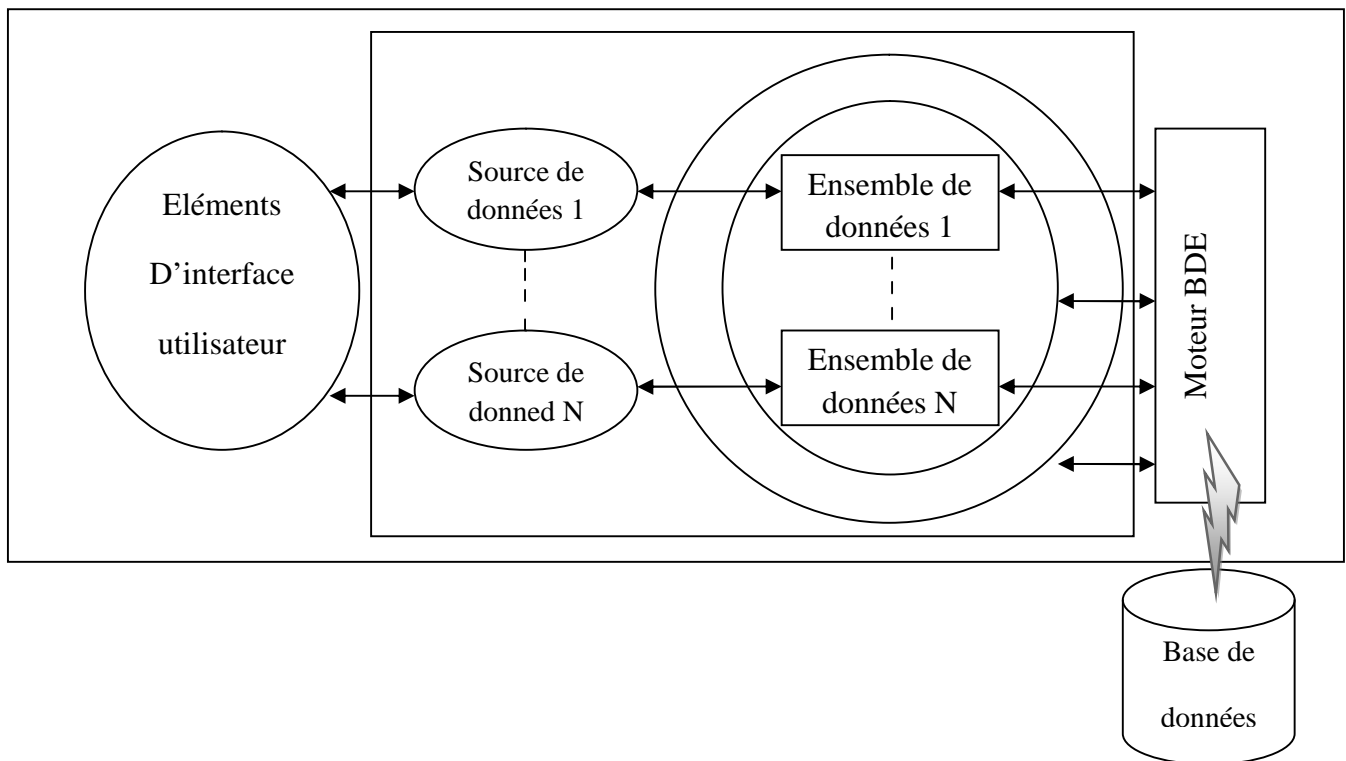


Fig.14. Composants d'une application BDE. (Belaid, 2011)

II.2. Création de la base de données:

II.2.1. Conception et exploitation d'une base de données:

Pour concevoir une base de données, on doit suivre quelques étapes essentielles qui reposent sur des choix décisifs permettant d'aboutir à une base de données efficace et pérenne.

Avant de mettre une base de données sur ordinateur, on doit d'abord:

- Décrire les informations que doit contenir cette base de données.

- Structurer les informations sous forme de tables, chaque table doit avoir une structure qui regroupe les champs relatifs à un domaine particulier.
- Définir la ou les clés pour chaque table.
- Définir les liens qui existent entre les tables de données.

Une fois la base de données est définie, on peut passer à son implémentation sur ordinateur. Pour cela, il faut choisir un gestionnaire de données (SGBD) intégré à notre environnement de développement *Delphi*.

Avec *Delphi*, on doit respecter certaines étapes qui aboutissent à la création d'une base de données:

- Étape 1: Configuration de la base de données
 - La donner un nom (le nom de notre base de données est: Micro-Org-Thermophiles).
 - Spécifier le chemin d'accès aux données (on utilise la technologie BDE).

- Étape 2: Création des tables

Création des tables de la base en définissant leurs structure, dans cette étape sont définis tous les champs d'une table. Pour chaque champ on définit son nom, son type, sa taille.

- Étape 3: Saisir les données

Saisir les informations pour chaque table, on crée les enregistrements de la table.

Jusqu'ici la base de données est considérée comme créée, il ne reste qu'à l'exploiter. (**Belaid 2007**)

II.2.2. Exploitation de la base de données:

Une fois la base de données est créée on pourra exploiter les données pour répondre aux besoins de l'utilisateur, à savoir:

1. Mettre à jour la base de données en ajoutant, supprimant ou modifiant des enregistrements.
2. Interroger la base de données en utilisant des requêtes (une *requête* est une question, commande, que l'utilisateur formule pour interroger sa base de données afin de lui restituer des informations particulières)
3. Etablir des états à imprimer.

II.2.3. Les étapes de création de la base de données “Micro-Org-Thermophile” avec Delphi

Tab.2. Les étapes de création de la base de données “Micro-Org-Thermophile” avec Delphi.

Etape	Description
Conception de la base de données.	Analyse des données qui doit contenir la base avec l’élaboration d’une ou plusieurs tableaux (dans notre cas on va fusionnée les 4 tableaux suivantes dans une seule table: Tab.A, Tab.A1, Tab.B, Tab.B1 (voire annexe)).
Définition des structures de chaque table.	On doit définir: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les champs de notre table (notre champs ici, sont tous les critères liées aux microorganismes et leurs biotopes à l’ajout de type sous-extrêmophiles: soit thermophiles ou hyperthermophiles). ▪ Le type de données pour chaque champ (soit caractère alphabétique comme: espèces, nom et type de site d’isolement...etc., ou soit numérique comme: la température, le pH la pression, l’altitude, etc.) ▪ La taille de chaque champ (soit par numéro de caractère dans le cas de champ alphabétique, soit par numéro de cases dans le cas de champ numérique).
Saisir des données.	La saisie de données se faire par programmation, c’est-à-dire à travers une interface utilisateur qui permet d’édite les données dans une table.
Définition de l’alias pour permettre au programme d’accéder aux données de la base.	La définition de l’alias, signifie la spécification du chemin a ‘accès aux données de la base pour que chaque programme puisse y accéder.

- ✚ Pour l'interrogation de la base de données "Micro-Org-Thermophiles" il est suffisant de connaître un des critères liés aux microorganismes ou leur biotope, ce qui représente une requête qui va interroger notre base de données pour l'obtention des critères nécessaires à la recherche de l'utilisateur de la base de données.

*Résultats
et discussion*

I. Collecte et analyse des informations:

I.1. Collection des informations:

A partir des revues et journaux mentionnés dans le chapitre précédent, on a collecté environ 154 articles scientifiques, entre thermophiles (77) et hyperthermophiles (77). Ce qui nous permet de faire une comparaison entre les thermophiles et hyperthermophiles de différents sites hydrothermaux.

I.2. Analyse des informations:

Les résultats de l'analyse des informations sont regroupés dans deux tableaux sous les deux titres suivants :

Tableau. A. Critères liées aux espèces thermophiles et leurs biotopes, (voir annexe).

Tableau. B. Critères liées aux espèces hyperthermophiles et leurs biotopes (voir annexe).

I.2.1. Critères liées au micro-organisme:

I.2.1.1. Classification:

A. Les espèces thermophiles: Dans notre étude, les espèces thermophiles sont représentées par **25** ordres appartenant aux domaines **Archaea (3 ordre)** et **Bacteria (22 ordres)**.

Les soixante-dix-sept espèces sont réparties entre 4 genres archéens, contiennent 4 souches, et 54 genres bactériens, contiennent 73 souches.

B. Les espèces hyperthermophiles: Dans notre étude, les hyperthermophiles sont représentées par **16** ordres appartenant au domaine **Archaea (11 ordre)** et **Bacteria (5 ordres)**.

Les soixante-dix-sept espèces sont répartis entre 32 genres archéens, comprenant 59 souches, et 14 genres bactériens qui contiennent 18 souches.

I.2.1.2. Critère génétique (pourcentage en GC ou coefficient de Chargaff):

A. Les espèces thermophiles: le coefficient de Chargaff des espèces thermophiles varie entre 25.6 mol% (*Caminibacter mediatlanticus* TB-2), et 71.1 mol% (*Oceanithermus desulfurans* St55B), avec un moyen de 44.90 mol %.

B. Les espèces hyperthermophiles: le coefficient de Chargaff des espèces hyperthermophiles varie entre 30.5 mol% (*Thermodesulfobacterium geofontis* OPF15^T) et 72.5 mol% (*Thermaerobacter marianensis* 7p75a), avec un moyende 46.63 mol%.

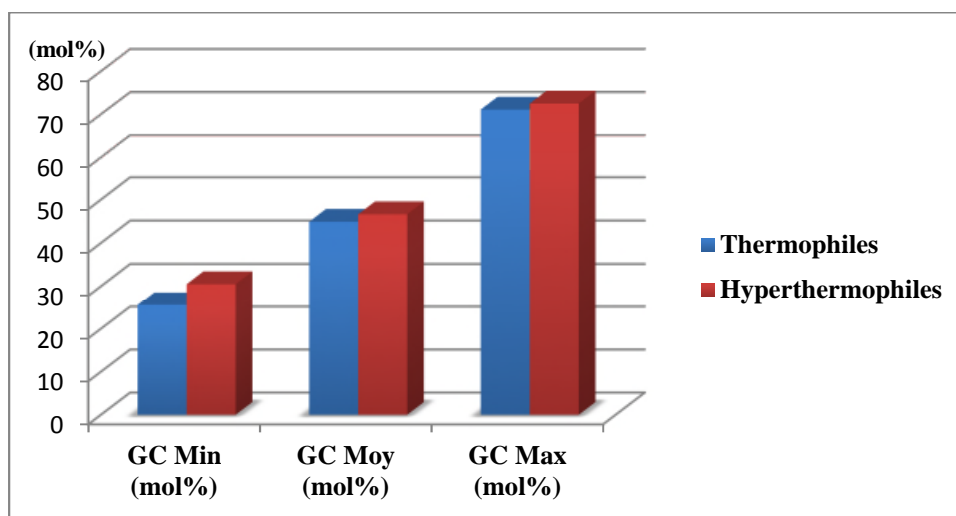


Fig.15. Comparaison des différentes valeurs (minimale, maximale et moyenne) de contenus en bases azotées GC mol% de l’ensemble des espèces thermophiles et hyperthermophiles.

L’origine de ces variations du taux de GC dans les génomes de différentes espèces vivantes n’est pas entièrement claire.

Pour les bactéries thermophiles, on constate en général qu’elles ont une grande proportion de GC, ce qui rend l’ADN plus résistant à la dénaturation thermique, l’appariement G-C étant plus stable que l’appariement A-T. (Dardel et Képès 2006). Les valeurs moyennes GC des deux catégories sont proches de la moitié du génome avec des valeurs de 46.04 mol% et 46.63 mol% pour espèces thermophiles et hyperthermophiles respectivement, et la valeur maximale peut atteindre 71.1 mol% pour les thermophiles et 67 mol% pour les hyperthermophiles(Fig.15).

I.2.1.3.Morphologie: les trois formes: bâtonnet(on parle souvent de bacille),coque, de forme sphérique ou ovoïde, et spiral ou hélicoïdale, sont apparues dans les espèces étudiées, dans certain cas l'espèce présente plus qu'une forme durant les phases de croissance(*Hydrogenivirga caldilitoris*IBSK3^T,75°C, hyperthermophile) ou même durant la même phase dans des différentes conditions de milieux(*Thermocrinis ruber* OC ¼,80°C, hyperthermophile) ,les cellules se reproduisent individuellement, par paires, et des agrégats constitués de quatre à plusieurs centaines d'individus(**Fig.16.B**). Dans un flux permanent de milieu, les cellules se développent principalement commede longs filaments(**Fig.16.C**), on a aussi le cas des bactéries dites pléomorphe (*Rubrobacter taiwanensis* LS-293, 60°C, thermophile)

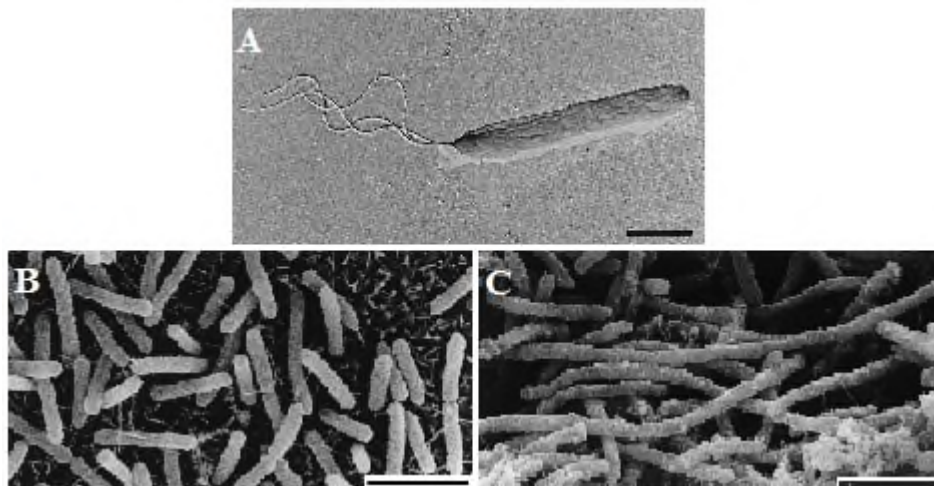


Fig.16.(A)Transmission electron micrograph of a single flagellated cell of *Thermocrinis ruber* that was air dried and platinum shadowed (from two directions). Bar,1 µm. **(B)**Scanning electron micrograph of *Thermocrinis ruber* rod-shaped cells grown on a silicon-coated cover glass. The flakes in the background are silicon. Bar,2 µm. **(C)** Scanning electron micrograph of long filaments of *Thermocrinis ruber* from the pink streamer network formed at the overflow of the glass chamber. Bar, 2 µm.(Huber et al. 1998)

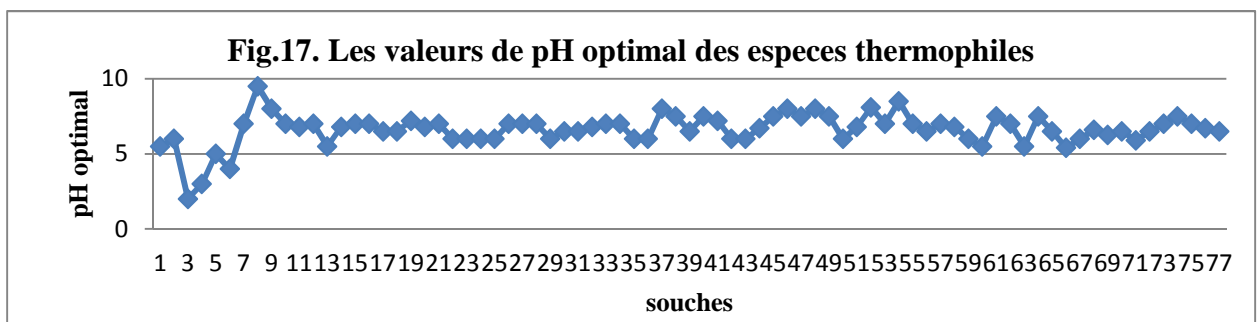
I.2.1.4.Condition de vie:

I.2.1.4.1.Type respiratoire: les quatre types respiratoires sont présents pour les espèces (hyper)thermophiles ce qui montre une grande biodiversité de ces espèces et donc la diversité des écosystèmes dans le quel elles appartiennent.

I.2.1.4.2.Type trophique: les types trophiques de ces microorganismes, comme les types respiratoires, sont largement diversifiés et multiples, on peut les classer selon la source de carbone en deux grand groupes: autotrophes et hétérotrophes, et les auto-hétérotrophes facultatives, ces types nutritionnels ou trophiques, sont parfois caractéristiques de certains groupes ou taxons microbiens ou à des milieux caractéristiques bien définis. On peut conclure que les bactéries thermophiles et hyperthermophiles, appartenant aux deux domaines avec de multitudes subdivisions taxinomique: différents ordres et genres, présentent une biodiversité liée. De plus, ces micro-organismes vivent dans des biotopes très différents. La diversité de type trophique est une conséquence logique de cette diversité taxonomique et environnementale.

I.2.1.4.3.pH: les micro-organismes se multiplient souvent dans une large gamme de pH et loin de leur optimum, il y a cependant des limites pour leur tolérance. Chaque espèce se développe dans une gamme définie de pH et a un pH optimum de croissance. Les acidophiles ont un pH optimum de croissance entre 0 et 5,5; les neutrophiles entre 5,5 et 8;et les alcalophiles entre 8,0 et 11,5. (Prescott et al., 2010).

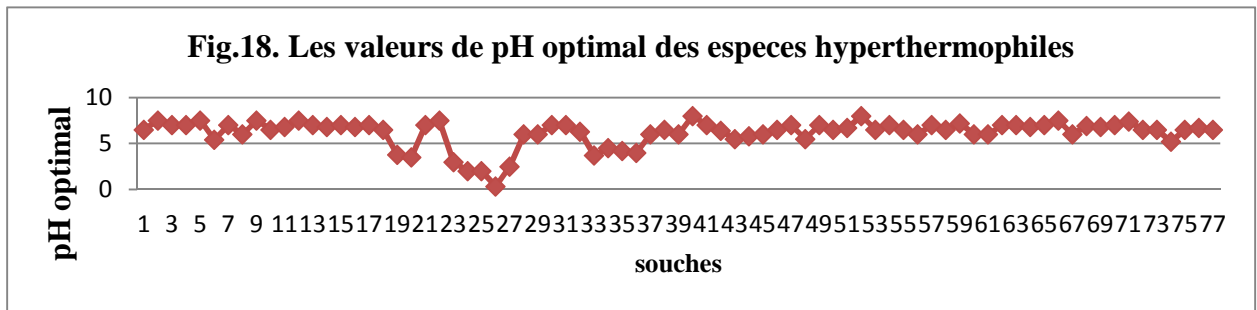
- Les espèces thermophiles dans cette étude se développent entre 2 et 9.5 (pH optimum) (Fig.17),et peuvent atteindre comme valeurs limites : 1 pour la valeur minimale et 11 comme valeur maximale (voir annexe, Tab.A).



Remarque : les chiffres sur l'axe des x sont correspondent aux chiffres des souches dans le **Tableau. A** (voir annexe) de 1 jusqu'au 77 respectivement.

- Comme dans la **Fig.18** les espèces hyperthermophiles ont une valeur de pH optimal qui varie entre 0.8 et 8. Les valeurs limites pour ces espèces sont 0.35 et 9,5 (voir annexe,

Tab.B).



Remarque : les chiffres sur l’axe des x sont correspondent aux chiffres des souches dans le **Tableau. B** (voir annexe) de 1 jusqu’au 77 respectivement.

Donc les espèces thermophiles et hyperthermophiles sont regroupées selon leur pH en trois groupes.

A. Classement des espèces thermophiles selon leurs pH optimums de croissance:

➤ **Les acidophiles:**

Tab.3. Les thermoacidophiles

Genre	Espèce	Souche	pH optimal
<i>Acidothermus</i>	<i>A.cellulolyticus</i>	11B	5
<i>Metallosphaera</i>	<i>M.sedula</i>	TH2	2
<i>Sulfolobus</i>	<i>S.metallicus</i>	Kra-23	1-4.5
<i>Alicyclobacillus</i>	<i>A. vulcanalis</i>	CsHg2T	4
<i>Venenivibrio</i>	<i>V.stagnispumantis</i>	CP.B2T	5.4
<i>Caminiibacter</i>	<i>C. mediatlanticus</i>	TB-2T	5.5
<i>Fervidicoccus</i>	<i>F.fontis</i>	Kam940T	5.5
<i>Thermosulfidibacter</i>	<i>T.takaii</i>	AB170S6T	5.5
<i>Thermovibrio</i>	<i>T.ammonificans</i>	HB-1T	5.5

➤ **Les neutrophiles:**

Tab.4. Les thermoneutrophiles

Espec	pH optimal	Espèce	pH optimal	Espèce	pH optimal
<i>Thermocrinis minervae</i>	5.9	<i>Thiofaba tepidiphila</i>	6.5	<i>Fervidobucferiurn gondwunense</i>	7
<i>Desulfurobacterium pacificum</i>	6	<i>Thermanaeromonas toyohensis</i>	6.5	<i>Geoalkalibacter subterraneus</i>	7
<i>Desulfurobacterium</i>	6	<i>Thermodesulfobacterium</i>	6.5	<i>Marinithermus</i>	7

<i>atlanticum</i>		<i>hydrogeniphilum</i>		<i>hydrothermalis</i>	
<i>Thermovibrio guaymasensis</i>	6	<i>Themosipho melanesiensis</i>	6.5	<i>Marinitoga camini</i>	7
<i>Desulfurobacterium thermolithotrophum</i>	6	<i>Sulfurihydrogenibium kristjanssonii</i>	6.6	<i>Thermaerobacter litoralis</i>	7
<i>Geothermobacter ehrlichii</i>	6	<i>Petrotoga mobilis</i>	6.7	<i>Thermococcooides shengliensis</i>	7
<i>Marinitoga hydrogenitolerans</i>	6	<i>Vulcanithermus mediatlanticus</i>	6.7	<i>Thermonema rossianum</i>	7
<i>Marinitoga piezophila</i>	6	<i>Caldithrix abyssi</i>	6.8	<i>Thermotoga hypogea</i>	7
<i>Methanothermococcus okinawensis</i>	6	<i>Carboxydobrachium pacificum</i>	6.8	<i>Thermohalobacter berrensis</i>	7
<i>Persephonella marina</i>	6	<i>Desulfoviregula thermocuniculi</i>	6.8	<i>Thermotoga lettingae</i>	7
<i>Persephonella guaymasensis</i>	6	<i>Kosmotoga olearia</i>	6.8	<i>Desulfotomaculum thermosubterraneum</i>	7.2
<i>Sulfurivirga caldicuralii</i>	6	<i>Thermoanaerobacter wiegelii</i>	6.8	<i>Persephonella hydrogeniphila</i>	7.2
<i>Thermosipho atlanticus</i>	6	<i>Thermosinus carboxydivorans</i>	6.8	<i>Meiothermus timidus</i>	7.5
<i>Sulfurihydrogenibium azorense</i>	6	<i>Anaerobaculum thermoterrenum</i>	7	<i>Oceanithermus profundus</i>	7.5
<i>Thermodesulfatator indicus</i>	6.25	<i>Caenibacterium thermophilum</i>	7	<i>Petrotoga olearia</i>	7.5
<i>Deferribacter abyssi</i>	6.5	<i>Caloranaerobacter azorensis</i>	7	<i>Porphyrobacter cryptus</i>	7.5
<i>Deferribacter autotrophicus</i>	6.5	<i>Carboxydocella thermautotrophica</i>	7	<i>Sulfurihydrogenibium subterraneum</i>	7.5
<i>Halothemothrix orenii</i>	6.5	<i>Coprothermobacter platensis</i>	7	<i>Thermotoga elfii</i>	7.5
<i>Hydrogenophilus hirschii</i>	6.5	<i>Desulfurispora thermophila</i>	7	<i>Thermus arciformis</i>	7.5
<i>Oceanithermus desulfurans</i>	6.5	<i>Exilispira thrmophila</i>	7	<i>Thermosipho geolei</i>	7.5
<i>Thermodesulfatator atlanticus</i>	6.5				

➤ **Les alcalophiles:**

Tab.5. Les thermoalcalophiles.

Genre	Espèce	Souche	pH optimal
<i>Bacillus</i>	<i>B. thermoaerophilus</i>	L420-91T	8
<i>Meiothermus</i>	<i>M. taiwanensis</i>	WR-30T	8
<i>Petrotoga</i>	<i>P.sibirica</i>	SL25T	8

<i>Rubrobacter</i>	<i>R.taiwanensis</i>	LS-293T	8
<i>Thermosyntropha</i>	<i>T.lipolytica</i>	JW/VS-265T	8.1
<i>Thermaerobacter</i>	<i>T.subterraneus</i>	C21T	8.5
<i>Anaerobranca</i>	<i>A.gottschalkii</i>	LBS3T	9.5

B. Classement des espèces hyperthermophiles selon leurs pH optimums de croissance:

➤ **Les acidophiles:**

Tab.6. Les hyperthermophiles acidophiles

Genre	Espèces	Souche	pH optimal
<i>Acidianus</i>	<i>A.sulfidivorans</i>	JP7T	0.8
<i>Sulfolobus</i>	<i>S. syangmingensis</i>	YMIT	2
<i>Sulfurisphaera</i>	<i>S. ohwakuensis</i>	TA-IT	2
<i>Stygiolobus</i>	<i>S. azoricus</i>	FC6	2.5
<i>Metallosphaera</i>	<i>M.hakonensis</i>	H01-1	3
<i>Acidilobus</i>	<i>A.saccharovorans</i>	345-15T	3.5
<i>Caldivirga</i>	<i>C. maquilingensis</i>	IC-167t	3.7
<i>Acidilobus</i>	<i>A. aceticus</i>	1904T	3.8
<i>Thermocladium</i>	<i>T. modestius</i>	IC-125T	4
<i>Vulcanisaeta</i>	<i>V. souniana</i>	IC-059T	4.2
<i>Vulcanisaeta</i>	<i>V. distributa</i>	IC-017T	4.5
<i>Methanococcus</i>	<i>M.jannaschii</i>	JAL-1	5.2
<i>Balnearium</i>	<i>B.lithotrophicum</i>	17ST	5.4
<i>Ignicoccus</i>	<i>I.hospitalis</i>	KIN4/IT	5.5
<i>Pyrolobus</i>	<i>P. fumarii</i>	1A	5.5

➤ **Les neutrophiles:**

Tab.7. Les hyperthermophiles neutrophiles

Espèces	pH optimal	Espèces	pH optimal	Espèces	pH optimal
<i>Ignicoccus islandicus</i>	5.8	<i>Thermococcus kodakaraensis</i>	6.5	<i>Rhodothermus obamensis</i>	7
<i>Thermovibrio ruber</i>	6	<i>Thermococcus pacificus</i>	6.5	<i>Pyrobaculum aerophilum</i>	7
<i>Pyrobaculum islandicum</i>	6	<i>Methanothermus fervidus</i>	6.5	<i>Pyrobaculum caldifontis</i>	7
<i>Pyrobaculum organotrophum</i>	6	<i>Methanocaldococcus indicus</i>	6.5	<i>Aeropyrum pernix</i>	7
<i>Desulfurococcus fermentans</i>	6	<i>Methanococcus infernus</i>	6.5	<i>Hyperthermus butylicus</i>	7
<i>Staphylothermus hellencus</i>	6	<i>Methanopyrus kandleri</i>	6.5	<i>Thermococcus celericrescens</i>	7

<i>Ignicoccus pacificus</i>	6	<i>Thermococcus chitonophagus</i>	6.7	<i>Thermococcus barophilus</i>	7
<i>Thermococcus aegaicus</i>	6	<i>Methanotorris formicicus</i>	6.7	<i>Thermococcus aggregans</i>	7
<i>Thermococcus hydrothermalis</i>	6	<i>Hydrogenivirga okinawensis</i>	6.8	<i>Thermococcus thioeducens</i>	7
<i>Thermococcus gammatolerans</i>	6	<i>Geothermobacterium ferrireducens</i>	6.8	<i>Pyrococcus furiosus</i>	7
<i>Palaeococcus ferrophilus</i>	6	<i>Ammonifex thiophilus</i>	6.8	<i>Pyrococcus horikoshii</i>	7
<i>Pyrobaculum oguniense</i>	6.3	<i>Pyrococcus abyssi</i>	6.8	<i>Geoglobus ahangari</i>	7
<i>Ignisphaera aggregans</i>	6.4	<i>Geoglobus acetivorans</i>	6.8	<i>Thermococcus guaymasensis</i>	7.2
<i>Thermotoga maritime</i>	6.5	<i>Archaeoglobus fulgidus</i>	6.9	<i>Methanobacterium thermoautotrophicum</i>	7.4
<i>Hydrogenivirga caldilitoris</i>	6.5	<i>Thermotoga petrophila</i>	7	<i>Thermotoga neapolitana</i>	7.5
<i>Thermoanaerobacter yonseiensis</i>	6.5	<i>Thermotoga naphthophila</i>	7	<i>Thermaerobacter marianensis</i>	7.5
<i>Desulfurococcus kamchatkensis</i>	6.5	<i>Thermocrinis ruber</i>	7	<i>Hydrogenobacter subterraneus</i>	7.5
<i>Thermosphaera aggregans</i>	6.5	<i>Caldimicrobium rimae</i>	7	<i>Sulfurihydrogenibium yellowstonense</i>	7.5
<i>Thermococcus coalescens</i>	6.5	<i>Thermodesulfobacterium geofontis</i>	7	<i>Spirochaeta thermophila</i>	7.5
<i>Thermococcus gorgonarius</i>	6.5	<i>Caldicellulosiruptor kristjanssonii</i>	7	<i>Pyrococcus glycovorans</i>	7.5

➤ **Les alcalophiles:**

Tab.8.Les hyperthermophiles alcalophiles

Genres	Espèces	souches	pH optimums
<i>Aeropyrum</i>	<i>A.camini</i>	SY1T	8
<i>Thermococcus</i>	<i>T.fumiculans</i>	ST557T	8

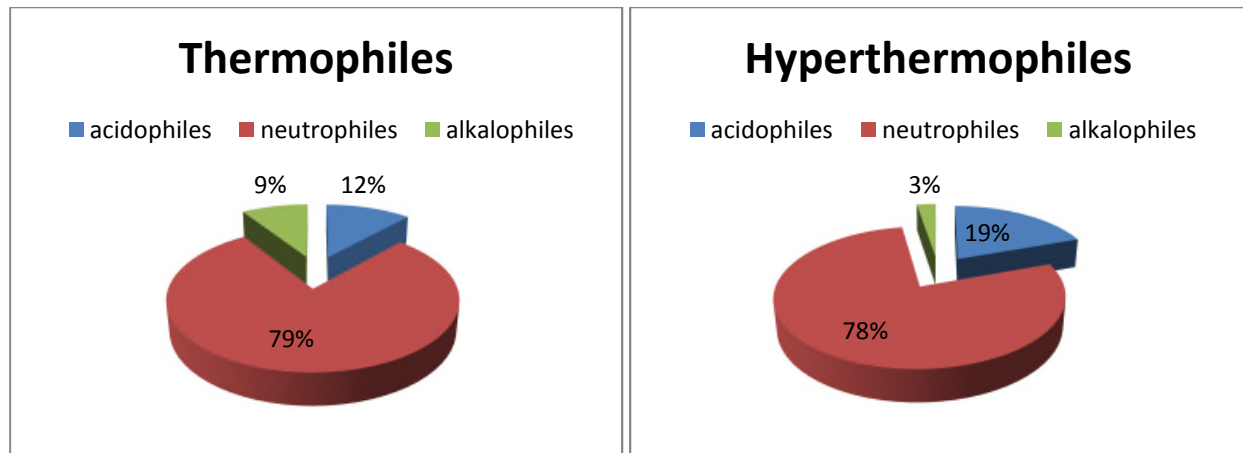


Fig.19. Distribution des trois groupes, selon le pH optimal de croissance (les thermophiles et les hyperthermophiles).

- La plus part des espèces thermophiles et hyperthermophiles sont des neutrophiles (**Fig.19**), avec un pourcentage de 79% des thermophiles (61 espèce), et 78% pour les hyperthermophiles (60 espèces).
- Les alcalophiles thermophiles (7 espèces) (**Tab.5**) sont plus nombreuses que les alcalophiles hyperthermophiles (2 espèces) (**Tab.8**), mais dans les deux cas ce nombre ne représente qu'une petite part de l'ensemble des espèces, 9% pour les thermophiles et 3% pour les hyperthermophiles (**Fig.19**).
- Les acidophiles hyperthermophiles (15 espèces) (**Tab.6**) sont aussi nombreuses que les acidophiles thermophiles (9 espèces) (**Tab.3**), mais ce groupes ne représente qu'une petite proportion : 12% et 19% pour les thermophiles et hyperthermophiles respectivement (**Fig.19**).

I.2.1.4.4. la température:

A. Comparaison des valeurs limites et moyennes des températures cardinales (minimales et maximales) des thermophiles et hyperthermophiles:

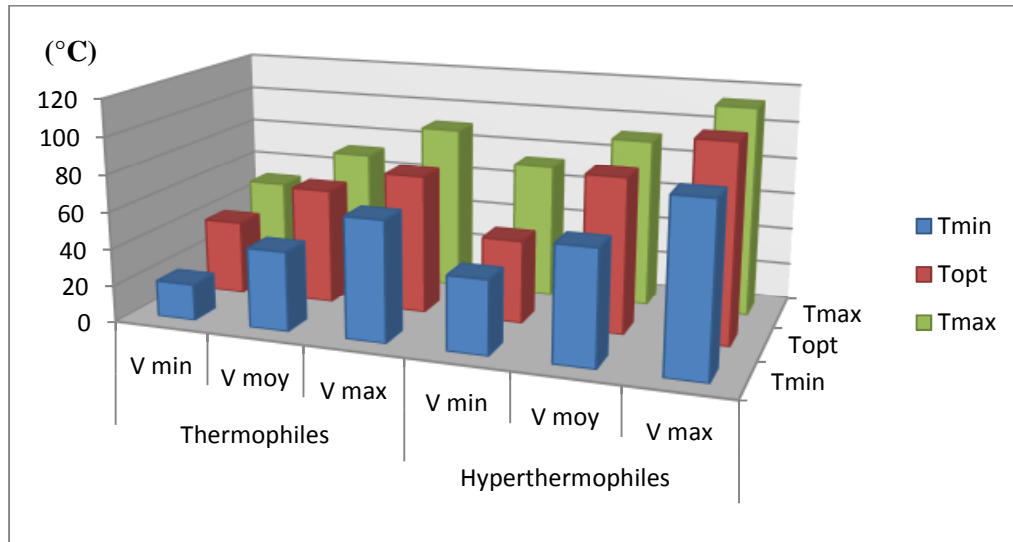


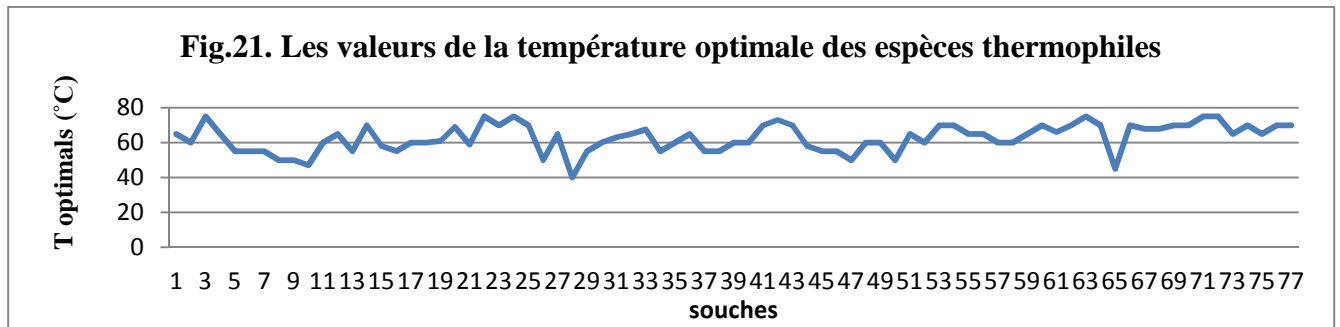
Fig.20. Les valeurs minimales, maximales, et moyennes des températures cardinales des espèces thermophiles et hyperthermophiles.

Cette figure (**Fig.20**) démontre les valeurs limites et moyennes de la température minimale, optimale et maximale de l'ensemble des espèces thermophiles et hyperthermophiles de cette étude.

- Les valeurs minimales pour les thermophiles sont:
 - 20°C comme la plus petite température minimale trouvée chez *Thiofaba tepidiphila* BDA45 ;
 - 40°C comme une température optimale ;
 - 50°C comme la plus petite température maximale trouvée chez *Geoalkalibacter subterraneus* Red1.
- Les valeurs minimales pour les hyperthermophiles sont :

- 40°C comme la plus petite température minimale trouvée chez *Spirochaeta thermophila* Z-1203 ;
- 45°C comme une température optimale ;
- 73°C comme la plus petite température maximale trouvée chez la même espèce.
- Les valeurs maximales pour les thermophiles sont :
 - 65°C comme la plus grande température minimale trouvée chez *Thermocrinis minervae* CR11
 - 75°C comme leur température optimale
 - 90°C comme la plus grande température maximale on la trouve chez *Thermotoga hypogea* SEBR 7054
- Les valeurs maximales pour les hyperthermophiles sont :
 - 90°C comme la plus grande température minimale on la trouve chez *Pyrolobus fumari* 1A
 - Leur température optimale est égale à 106°C,
 - et 113°C comme la plus grande température maximale détectée chez l'espèce susmentionnée (**Fig.20**)
- Les valeurs moyennes calculées des températures minimales, optimales et maximales sont :
 - ❖ pour les thermophiles: 43,22°C, 62,69°C et 71,78°C,
 - ❖ pour les hyperthermophiles : 61,4°C, 83,35°C et 91,4°C.
- Toutes les valeurs (limites et moyennes) des trois températures cardinales des hyperthermophiles sont plus grandes que celles des thermophiles.

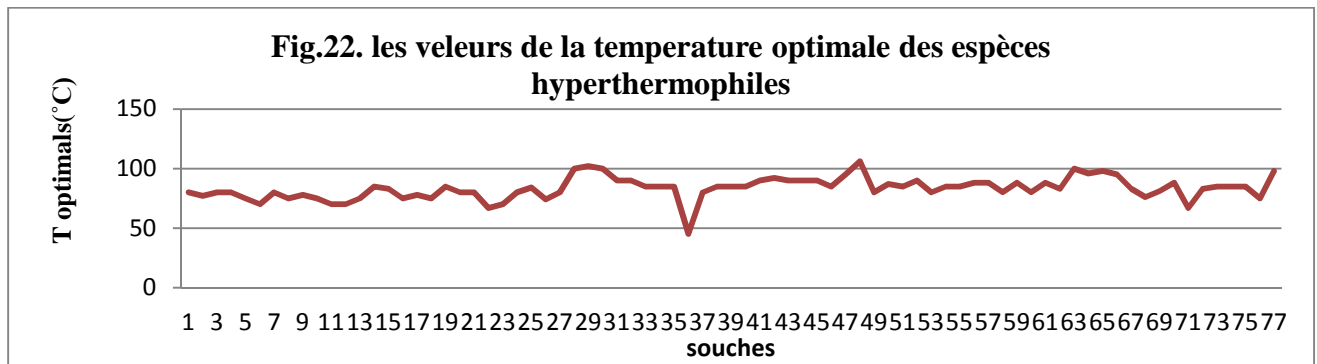
B. Températures optimales des espèces thermophiles:



Remarque : les chiffres sur l’axe des x sont correspondent aux chiffres des souches dans le **Tableau. A** (voir annexe) de 1 jusqu’au 77 respectivement.

Les espèces thermophiles dans cette étude se développent optimalement entre 40°C et 75°C (**Fig.21**), avec une valeur moyenne égale à 62.69°C

C. Températures optimales des espèces hyperthermophiles:



Remarque : les chiffres sur l’axe des x sont correspondent aux chiffres des souches dans le **Tableau. B** (voir annexe) de 1 jusqu’au 77 respectivement.

Les espèces hyperthermophiles dans cette étude se développent optimalement entre 45°C et 106°C (**Fig.22**), avec une valeur moyenne égale à 83,35°C.

- Les thermophiles et les hyperthermophiles sont classées selon les intervalles des températures optimales obtenus dans cette étude, et comme c’est températures ont des valeurs chevauchantes elles sont chevauchées, on va introduire les valeurs moyennes pour démontrer que les thermophiles ont une croissance optimale entre 63°C et 75°C et les hyperthermophiles ont une croissance optimale entre 83°C et 106°C.

I.2.1.4.5.Pression:

La plupart des micro-organismes sont toujours soumis à une pression (atm=101.32 kpa). Dans notre étude, la majorité des articles ne mentionnent pas la pression nécessaire pour l'incubation ou l'enrichissement des espèces. Mais dans le reste des articles, les espèces sont soit soumises à des pressions plus que 1atm, dans l'intervalle de 1,36atm et 3,94atm, soit elles exigent pour leur croissance des pressions très élevées (de 49,34 atm jusqu'à 394.78atm) ou (entre 5000 kpa et 40000 kpa). Nous parlons ici des barotolérants et les barophiles.

Parmi tous les paramètres évoqués, la pression hydrostatique est caractéristique des sites hydrothermaux profondes (Gargaud et al., 2005). Les deux tableaux suivants résument quelques, barotolérants et barophiles thermophiles et hyperthermophiles avec l'altitude d'isolement:

Tab.9. les espèces thermophiles barotolérantes et barophiles et leur altitude d'isolement.

Genre	Espèces	Souche	Pression (kpa)	altitude(m)
<i>Persephonella</i>	<i>P. marina</i>	EX-H1T	138	2705
<i>Persephonella</i>	<i>P. guaymasensis</i>	EX-H2T	138	2000
<i>Thermodesulfatator</i>	<i>T.indicus</i>	CIR29812T	138	2420
<i>Carboxydobrachium</i>	<i>C. pacificum</i>	JMT	150	1395
<i>Caminibacter</i>	<i>C. mediatlanticus</i>	TB-2T	200	2305
<i>Desulfurobacterium</i>	<i>D.pacificum</i>	SL17T	200	2600
<i>Desulfurobacterium</i>	<i>D.atlanticum</i>	SL22T	200	3500
<i>Thermovibrio</i>	<i>T. guaymasensis</i>	SL19T	200	2000
<i>Desul furobacterium</i>	<i>D.thermolithotrophum</i>	BSAT	200	3500
<i>Thermodesulfatator</i>	<i>T. atlanticus</i>	AT1325T	200	2275
<i>Thermovibrio</i>	<i>T.ammonificans</i>	HB-1T	200	2500
<i>Thermodesulfobacterium</i>	<i>T.hydrogeniphilum</i>	SL6T	200	2000
<i>Methanothermococcus</i>	<i>M. okinawensis</i>	IH1T	300	972
<i>Persephonella</i>	<i>P. hydrogeniphila</i>	29WT	300	1385
<i>Marinitoga</i>	<i>M.piezophila</i>	KA3T	40000	2630

Tab.10. Les espèces hyperthermophiles barotolérantes et barophiles avec les valeurs d'altitude d'isolement.

Genre	Espèces	Souche	Pression(kpa)	altitude(m)
<i>Thermovibrio</i>	<i>T.ruber</i>	ED11/3LLKT	200	6
<i>Hydrogenivirga</i>	<i>H.okinawensis</i>	LS12-2T	200	1328
<i>Pyrococcus</i>	<i>P. abyssi</i>	GE5	200	2000
<i>Methanothermus</i>	<i>M. fervidus</i>	V24S	200	3000
<i>Methanococcus</i>	<i>M.infernus</i>	MET	200	3000
<i>Ignicoccus</i>	<i>I.hospitalis</i>	KIN4/IT	250	106
<i>Ignicoccus</i>	<i>I. islandicus</i>	Ko18T	250	103
<i>Ignicoccus</i>	<i>I. pacificus</i>	LPC33T	250	2500
<i>Thermocrinis</i>	<i>T. ruber</i>	OC 1/4	300	1.5
<i>Thermococcus</i>	<i>T. chitonophagus</i>	GC74	300	2600
<i>Thermococcus</i>	<i>T. aegaeicus</i>	P5T	300	4
<i>Methanocaldococcus</i>	<i>M. indicus</i>	SL43T	300	2420
<i>Methanotorris</i>	<i>M.formicicus</i>	Mc-S-70T	300	2421
<i>Methanopyrus</i>	<i>M. kandleri</i>	AV19	300	2000
<i>Aeropyrum</i>	<i>A.camini</i>	SY1T	350	1385
<i>Thermaerobacter</i>	<i>T.marianensis</i>	7p75aT	5000	10897
<i>Thermococcus</i>	<i>T. barophilus</i>	MPT	15000	3550
<i>Thermococcus</i>	<i>T.thioreducens</i>	OGL-20PT	23000	2300
<i>Pyrolobus</i>	<i>P. fumarii</i>	1A	25000	3650
<i>Palaeococcus</i>	<i>P. ferrophilus</i>	DMJT	30000	1338

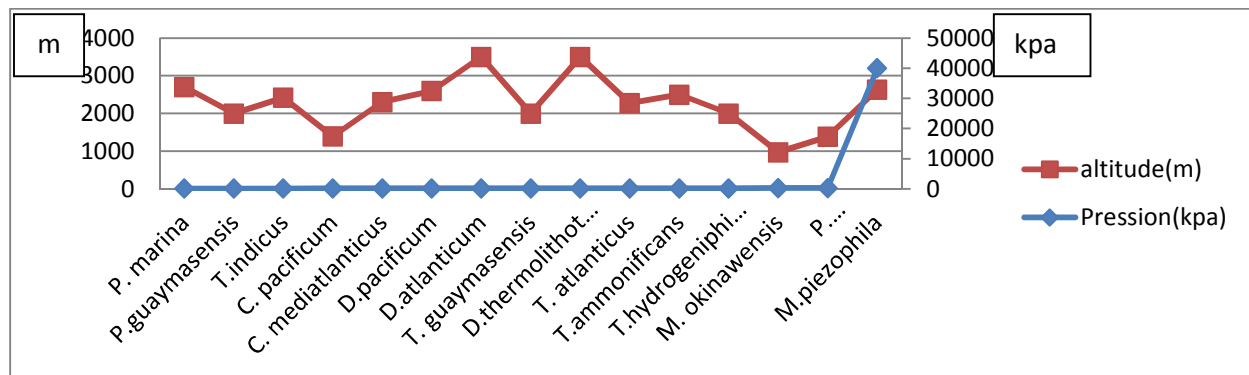


Fig.23.Présentation comparative des valeurs de pression et d'altitude des thermophiles barophiles et barotolérates.

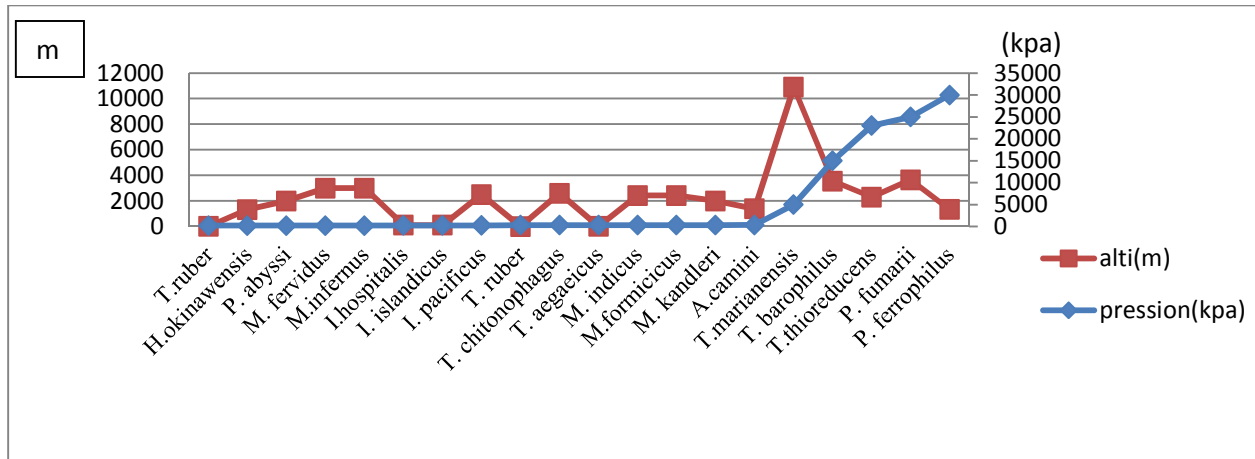


Fig.24. Présentation comparative des valeurs de pression et d'altitude des hyperthermophiles barophiles et barotolérantes.

La pression, dans le milieu marin, augmente d'environ 1 atmosphère tous les 10 mètres et elle atteints des valeurs proches de 1.000 atmosphères aux plus grandes profondeurs. Parmi les bactéries qui se développent dans ce système, certaines bactéries sont barotolérantes et se multiplient entre 0 et 400 atmosphères mais elles ont un développement maximal à la pression atmosphérique (1atm). De nombreuses autres bactéries sont barophiles (du grec *baros*, pesanteur et *philien*, aimer) et préfèrent de plus hautes pression (**Prescott et al., 2003**)

- Les valeurs de pression dans les tableaux (**Tab.9 et Tab.10**) sont divisées en deux groupes:
Des valeurs inférieures à 3,5 atm, pour les thermophiles avec un intervalle de 1,36 atm (138 kpa) à 2.96 atm (300 kpa), et pour les hyperthermophiles la première gamme des valeurs de pression est de 1,93 (200 kpa) à 3.45 (350 kpa).
Des valeurs supérieures à 49 atm, pour les thermophiles on a une seule valeur égale à 394.78 atm (40000 kpa) (*Marinitoga piezophila* KA3^T, 65°C), et pour les hyperthermophiles : cinq valeurs de pression (de 5000 kpa à 30000 kpa) par 5 espèces(**Tab.10**), la plus élevée est 296,06 atm (*Palaeococcus ferrophilus* DMJ^T).
- Les deux figures (**Fig.23 et Fig.24**) n'indiquent pas une véritable relation significative entre la pression et la profondeur. Cela peut être expliqué par l'influence d'un autre paramètre que la pression, comme la température et la salinité, car les sites d'isolement de ces souches sont distribués sur des différents milieux aquatiques et marins du monde.

I.2.1.4.6.NaCl:

Les bactéries halophiles sont définies comme des bactéries qui ont besoin de NaCl pour leur développement. Elles ne se multiplient pas dans un milieu sans NaCl et, en fonction de la concentration optimale, on peut les classer en : bactéries halophiles faibles, modérées ou extrêmes. Les bactéries halophiles faibles vivent dans des milieux contenant 1 à 6-7 % de NaCl avec une concentration optimale proche de celle de l'eau de mer (2-3 %). Les vraies bactéries marines sont des halophiles faibles. Elles sont très diverses et sont trouvées dans les différents groupes bactériens. Les bactéries halophiles modérées vivent dans des gammes de salinité de 2 à 25 % avec des concentrations optimales de 8 à 15 % en NaCl. Les bactéries halophiles extrêmes sont moins fréquentes, Elles vivent dans des milieux dont les salinités varient de 15 à plus de 35 % et dans des conditions optimales à des concentrations comprises entre 20 et 30 % en NaCl (Bianchi *et al.*, 1989).

A. Les espèces thermophiles:

En fonction de la concentration optimale de NaCl, on peut classer les thermophiles en bactéries non-halophiles, halophiles faibles, et modérées.

Les espèces thermophiles non-halophiles:

Tab.11.Les espèces thermophiles non-halophiles.

Genre	Espèces	Souche	NaCl optimal (g/l)
Desulfotomaculum	D. thermosubterraneum	RL50JIIIIT	0
Desulfoviregula	D.thermocuniculi	RL80JIVT	0
Desulfurispora	D. thermophila	RA50E1T	0
Thermaerobacter	T.subterraneus	C21T	0
Thermotoga	T.hypogea	SEBR 7054T	0
Thermus	T.arciformis	TH92T	0
Thiofaba	T. tepidiphila	BDA453T	0
Sulfurihydrogenibium	S.kristjanssonii	16628T	0
Sulfolobus	S.metallicus	Kra-23	0
Thermanaeromonas	T.toyohensis	ToBET	0
Thermocrinis	T.minervae	CR11T	0
Fervidobucferiurn	F.gondwunense	AB39	1
Sulfurihydrogenibium	S.azorensis	Az-Fu1	1
Venenivibrio	V.stagnispumantis	CP.B2T	4
Thermosyntropha	T.lipolytica	JW/VS-265T	5

Les espèces thermophiles halophiles faibles:

Tab.12. Les espèces thermophiles halophiles faibles.

Espèces	NaCl optimal g/l	Espèces	NaCl optimal g/l	Espèces	NaCl optimal g/l
Acidothermus cellulolyticus	10	Sulfurivirga caldicuralii	20	Deferribacter abyssi	30
Anaerobaculum thermoterrenum	10	Thermovibrio ammonificans	20	Desulfurobacterium pacificum	30
Anaerobranca gottschalkii	10	Thermosiphon geolei	20	Desulfurobacterium atlanticum	30
Hydrogenophilus hirschii	10	Carboxydobacterium pacificum	20.5	Thermovibrio guaymasensis	30
Petrotoga sibirica	10	Porphyrobacter cryptus	23.4	Marinithermus hydrothermalis	30
Thermaerobacter litoralis	10	Caldithrix abyssi	25	Marinitoga hydrogenitolerans	30
Thermonema rossianum	10	Deferribacter autotrophicus	25	Marinitoga piezophila	30
Thermotoga elfii	10	Exilispira thermophila	25	Oceanithermus desulfurans	30
Thermotoga lettingae	10	Kosmotoga olearia	25	Oceanithermus profundus	30
Methanothermococcus okinawensis	15	Persephonella hydrogeniphila	25	Petrotoga mobilis	30
Thermococcoides shengliensis	15	Persephonella marina	25	Thermosiphon atlanticus	30
Geothermobacter ehrlichii	19	Persephonella guaymasensis	25	Thermosulfidibacter takaii	30
Alicyclobacillus vulcanalis	20	Thermodesulfator atlanticus	25	Thermodesulfobacterium hydrogeniphilum	30
Caloranaerobacter azorensis	20	Thermodesulfator indicus	25	Vulcanithermus mediatlanticus	30
Geoalkalibacter subterraneus	20	Bacillus thermoaerophilus	30	Thermosiphon melanesiensis	30
Marinitoga camini	20	Caenibacterium thermophilum	30	Desulfurobacterium thermolithotrophum	35
Petrotoga olearia	20	Caminiibacter mediatlanticus	30	Rubrobacter taiwanensis	50

Les espèces thermophiles halophiles modérées:

Tab.13. Les espèces thermophiles halophiles modérées.

Genre	Espèce	Souche	NaCl optimal (g/l)
<i>Thermohalobacter</i>	<i>T. berrensis</i>	CTT3T	50
<i>Halothemothrix</i>	<i>H. orenii</i>	H168	100

B. Les espèces hyperthermophiles:

En fonction de la concentration optimal de NaCl, on peut classer les hyperthermophiles de cette étude en : bactéries non-halophiles et halophiles faibles.

Les espèces hyperthermophiles non-halophiles:

Tab.14. Les espèces hyperthermophiles non-halophiles.

Genre	Espèce	Souche	NaCl optimal (g/l)
<i>Sulfurihydrogenibium</i>	<i>S. yellowstonense</i>	SS-5T	0
<i>Geothermobacterium</i>	<i>G. ferrireducens</i>	ATCC BAA-426	0
<i>Thermodesulfobacterium</i>	<i>T. geofontis</i>	OPF15T	0
<i>Pyrobaculum</i>	<i>P. calidifontis</i>	VA1	0
<i>Pyrobaculum</i>	<i>P. oguniense</i>	TE7T	0
<i>Ignisphaera</i>	<i>I. aggregans</i>	AQ1.S1T	0
<i>Thermocrinis</i>	<i>T. ruber</i>	OC ¼	0.25
<i>Thermoanaerobacter</i>	<i>T. yonseiensis</i>	KB-1TP	2
<i>Acidianus</i>	<i>A. sulfidivorans</i>	JP7T	5
<i>Pyrobaculum</i>	<i>P. organotrophum</i>	H10	5
<i>Thermotoga</i>	<i>T. maritima</i>	MSB8	6.93
<i>Thermosphaera</i>	<i>T. aggregans</i>	MIITLT	7
<i>Caldivirga</i>	<i>C. maquilingensis</i>	IC-167t	7.5
<i>Pyrobaculum</i>	<i>P. islandicum</i>	GEO3	8

Les espèces hyperthermophiles halophiles faibles:

Tab.15. Les espèces hyperthermophiles halophiles faibles.

Espèces	NaCl optimal	Espèces	NaCl optimal	Espèces	NaCl optimal
---------	--------------	---------	--------------	---------	--------------

	g/l		g/l		g/l
<i>Thermotoga neapolitana</i>	10	<i>Thermococcus chitonophagus</i>	20	<i>Rhodothermus obamensis</i>	30
<i>Vulcanisaeta distributa</i>	10	<i>Thermococcus gorgonarius</i>	20	<i>Thermococcus celericrescens</i>	30
<i>T. modestius</i>	10	<i>Thermococcus barophilus</i>	20	<i>Thermococcus kodakaraensis</i>	30
<i>Methanobacterium thermoautotrophicus</i>	12	<i>Thermococcus aegaeicus</i>	20	<i>Thermococcus guaymasensis</i>	30
<i>Vulcanisaeta souniana</i>	12.5	<i>Thermococcus gammatolerans</i>	20	<i>Thermococcus hydrothermalis</i>	30
<i>Ignicoccus hospitalis</i>	14	<i>Pyrococcus furiosus</i>	20	<i>Thermococcus thioeducens</i>	30
<i>Spirochaeta thermophila</i>	15	<i>Methanopyrus kandleri</i>	20	<i>Pyrodictium abyssi</i>	30
<i>Pyrobaculum aerophilum</i>	15	<i>Hydrogenobacter subterraneus</i>	23	<i>Pyrococcus glycovorans</i>	30
<i>Hyperthermus butylicus</i>	17	<i>Pyrococcus horikoshii</i>	24	<i>Palaeococcus ferrophilus</i>	30
<i>Archaeoglobus fulgidus</i>	17.7	<i>Methanotorris formicicus</i>	24	<i>Methanocaldococcus indicus</i>	30
<i>Geoglobus ahangari</i>	19	<i>Hydrogenivirga okinawensis</i>	25	<i>Methanococcus jannaschii</i>	30
<i>Thermotoga petrophila</i>	20	<i>Thermococcus coalescens</i>	25	<i>Balnearium lithotrophicum</i>	32
<i>Thermotoga naphthophila</i>	20	<i>Thermosphaera aggregans</i>	25	<i>Aeropyrum camini</i>	35
<i>Thermaerobacter marianensis</i>	20	<i>Geoglobus acetivorans</i>	25	<i>Aeropyrum pernix</i>	35
<i>Hydrogenivirga caldilitoris</i>	20	<i>Methanococcus infernus</i>	25	<i>Thermococcus pacificus</i>	35
<i>Ignicoccus islandicus</i>	20	<i>Thermococcus fumiculans</i>	26	<i>Staphylothermus hellenicus</i>	40
<i>Ignicoccus pacificus</i>	20	<i>Thermovibrio ruber</i>	27.7		

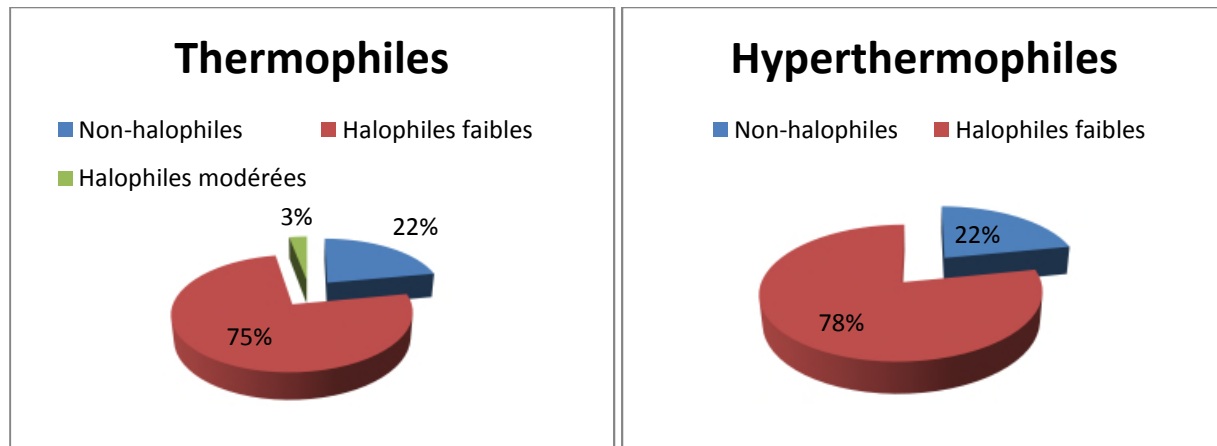


Fig.25. Distribution selon le NaCl optimal de croissance, chez les espèces thermophiles et hyperthermophiles.

- D'après les résultats obtenus, on peut classer ces bactéries dans trois classes selon le NaCl optimal chez les thermophiles (non-halophiles, halophiles faibles et halophiles modérées) et dans deux classes pour les hyperthermophiles (non-halophiles et halophiles faibles).
- La plus part des espèces sont des halophiles faibles : les thermophiles (75%, représentées par 51 espèces) et les hyperthermophiles (78% représentées par 50 espèces) (**Fig.25**).
- La proportion des non-halophiles est la même chez les thermophiles et les hyperthermophiles, et elle est égale à 22 % (**Fig.25**).
- Par contre aux hyperthermophiles, les thermophiles ont une troisième classe, c'est la classe des halophiles modérées, avec une petite proportion (3%), représentées par 3 espèces (**Tab.13**).

I.2.2. Biotopes:

A. Biotopes des espèces thermophiles: les 77 souches de notre étude sont réparties dans trois types de biotopes:

1. Biotopes océaniques :

Trente souches thermophiles identifiées, sont trouvées dans ces biotopes.

Ces biotopes se composent de différentes sources thermales:

Des zones de petite profondeur (des écosystèmes hydrothermaux côtiers), par exemple: le champ hydrothermal côtier dans la péninsule Satsuma, Kagoshima, au Japon.

Des écosystèmes hydrothermaux sous-marins ou océaniques profonds ; des bassins d'arrière-arc, et des monts sous-marins ou fumeurs océaniques, comme: le site Rainbow, dorsale médio-atlantique.

2. Biotopes terrestres :

Vingt-sept souches thermophiles sont isolées des ces biotopes.

Ces biotopes terrestres sont généralement des sources chaudes solfatares, ou des sources souterraines (aquifères, forages pétroliers)

3. Biotopes artificiels :

8 souches thermophiles ont été isolées à partir de biotopes artificiels ; comme les boues de traitement des eaux usées,

B. Biotopes des espèces hyperthermophiles: comme les souches thermophiles, les hyperthermophiles aussi peuvent être rencontrés dans trois types de biotopes.

1. Biotopes océaniques : pour ces biotopes on a 43 souches isolées à partir de différents sites hydrothermaux océaniques profonds ou peu profonds.

2. Biotopes terrestres: les biotopes terrestres sont très diversifiés avec des sources chaudes solfatares, et des réservoirs pétroliers, contenant 33 espèces hyperthermophiles.

3. Biotopes artificiels : ils représentés par un seul site ; l'usine de traitement des eaux usées de la ville d'Urbana, USA.

Remarque: les adresses et les types des sites sont motionnés dans les tableaux, Tableau. A Et Tableau. B (**voir annexe**).

II. Analyse bioinformatique:

Après l'application des étapes mentionnés dans le deuxième chapitre, une base de donnée était créée, contenant des paramètres liés soit aux espèces ou aux biotopes, une fois on lance une recherche (requête) en cherchant un paramètre précis toutes les informations liées à ce paramètre seront affiches (données déjà enregistrées dans la base établie).

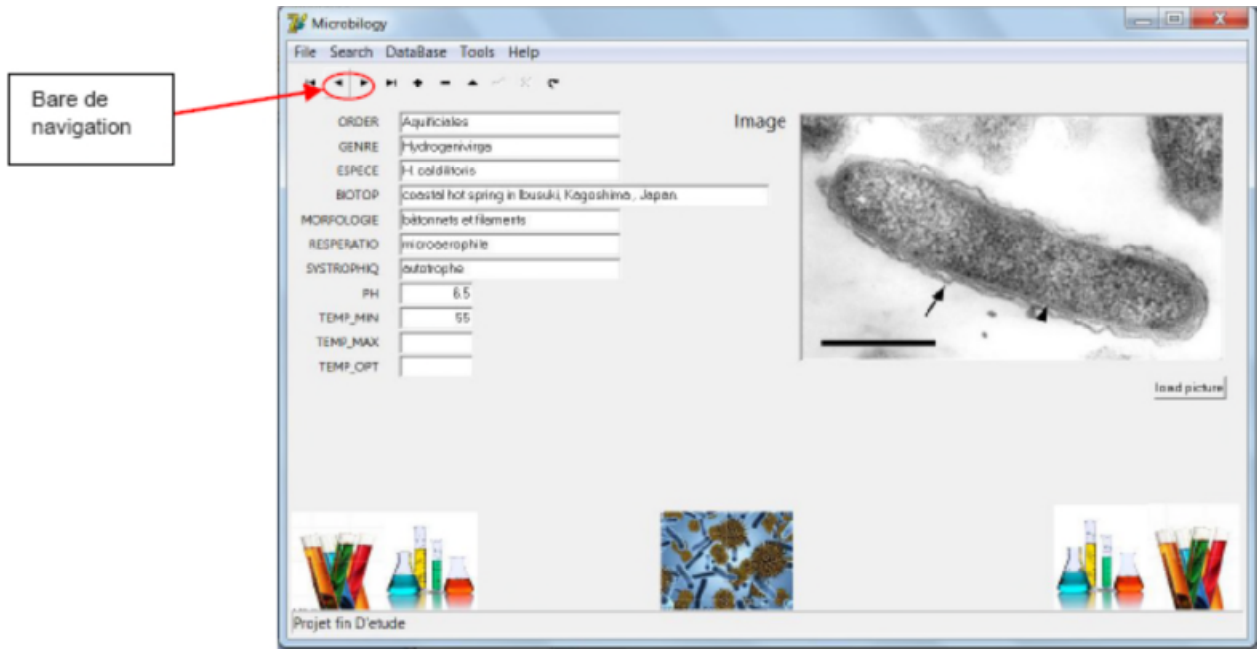


Fig.26.La fenêtre principale de la base de données.

Une fois la base de données est installée et on ouvrant sa fenêtre principale toutes ses données peuvent être exploitées afin de les utiliser selon nos besoins, soit par :

Interrogation de la base de données par des requêtes (**Fig.27**).

Ou par des états à imprimer(**Fig.29**).

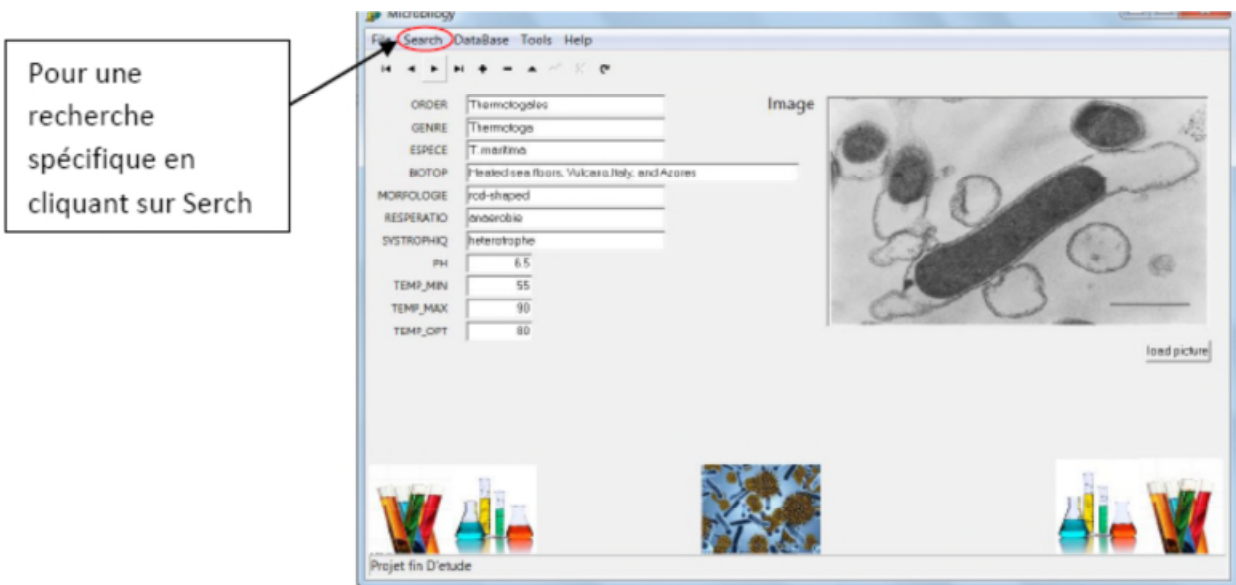


Fig.27. Interrogation de la base de données.

Dans la figure suivante on trouve le résultat de l'interrogation de notre base de données (dans le cas indiqué dans cette figure la requête est faite par pH qu'est égal à 7 par exemple).

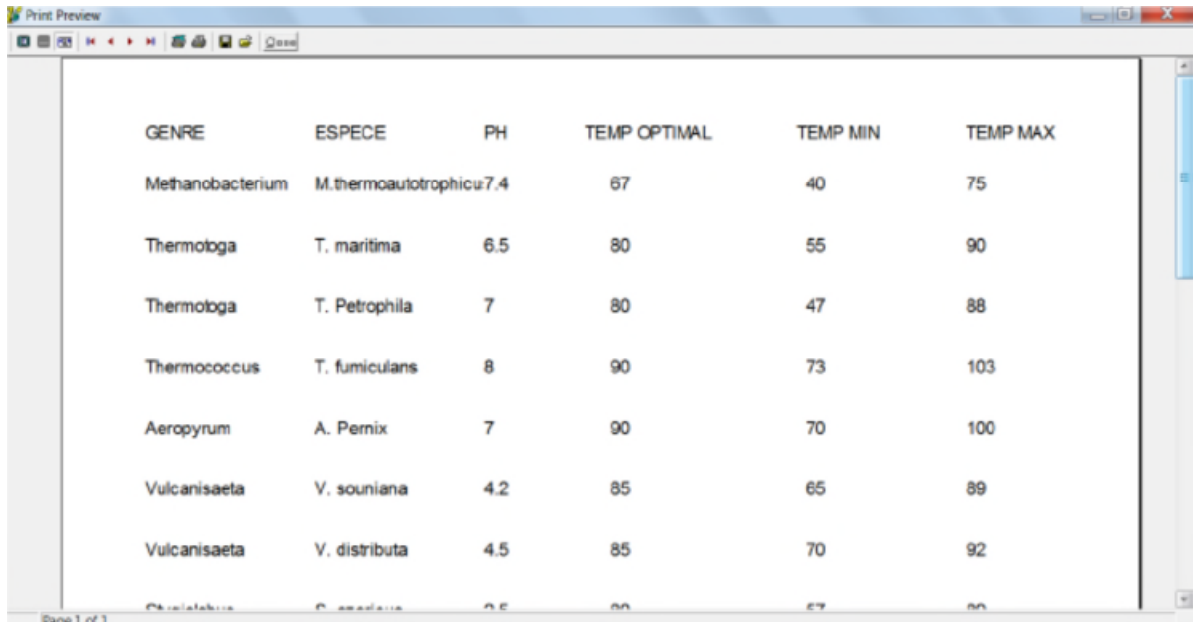
ORDER	GENRE	ESPECE	MORFOLOGIE	PH	TEMP_MIN	TEMP_MAX	TEMP_OPT	RESPERATIO
Thermotogales	Thermotoga	T. Petrophila	rod	7	47	88	80	anaerobie
Desulfurococcales	Aeropyrum	A. Ferox	sphériques irrégulier	7	70	103	80	aerobie
Sphingobacteriales	Rhodothermus	R. blumensis	bâtonnets	7	50	95	80	aerobie
Thermotogales	Thermotoga	T. naphthophila	bâtonnets	7	46	95	80	anaerobie

Fig.28. résultat de l'interrogation de la base de données.

Et pour imprimer les résultats on doit suivre les étapes suivantes démontrées dans les deux figures ci dessous:

ORDER	GENRE	ESPECE	MORFOLOGIE	PH	TEMP_MIN	TEMP_MAX	TEMP_OPT	RESPERATIO
Thermotogales	Thermotoga	T. maritima	rod-staped	6.5	55	90	80	anaerobie
Thermotogales	Thermotoga	T. Petrophila	rod	7	47	88	80	anaerobie
Thermococcales	Thermoplasma	T. thermophilum	sphériques	8	73	103	90	anaerobie stricte
Aquificales	Thermoplasma	T. ruber	bâtonnets incurvés	6	50	80	75	anaerobie
Aquificales	Thermoplasma	T. suber	bâtonnets et filaments	7.7	44	89	80	aerobie
Thermotogales	Thermotoga	T. naphthophila	bâtonnets	7	46	95	80	anaerobie
Thermotogales	Thermotoga	T. neopolitana	rod-staped	7.5	50	95	77	microaerophile

Fig.29. Etablir des états à imprimer.



The screenshot shows a 'Print Preview' window with a table of thermophilic microorganisms. The table has six columns: GENRE, ESPECE, PH, TEMP OPTIMAL, TEMP MIN, and TEMP MAX. The data is as follows:

GENRE	ESPECE	PH	TEMP OPTIMAL	TEMP MIN	TEMP MAX
Methanobacterium	M.thermoautotrophicu	7.4	67	40	75
Thermobga	T. maritima	6.5	80	55	90
Thermobga	T. Petrophila	7	80	47	88
Thermococcus	T. fomiculans	8	90	73	103
Aeropyrum	A. Pernix	7	90	70	100
Vulcanisaeta	V. souniana	4.2	85	65	89
Vulcanisaeta	V. distributa	4.5	85	70	92
Chrysiobacter	C. sp.	9.5	80	57	90

Fig.30. Une fenêtre qui affiche la page à imprimer.

- ✚ Finalement, le résultat de ce travail est une base de données (Micro-Org-Thermophiles) jointe en CD à ce manuscrit.

*Conclusion
et perspectives*

Conclusion:

Ce travail s'inscrit sous l'étude bioinformatique des microorganismes thermophiles et leurs biotopes, au cours de cet étude, on a proposé une base de données "Micro-Org-Thermophiles" dont le but est de stocker et organiser les informations concernant 154 microorganismes entre thermophiles (77) et hyperthermophiles (77) et leur biotopes. Afin de rendre la recherche et l'étude ou même l'isolement de ces microorganismes facile par la connaissance de leurs critères ou critères de biotopes, on conclut ce qui suit :

- ❖ Les microorganismes thermophiles et hyperthermophiles sont parmi les extrémophiles les mieux étudiés, isolés de différents environnements hydrothermaux, leurs enzymes extrêmement thermostables ont trouvé plusieurs applications à cause de leurs propriétés dépassant celles de leurs contreparties mésophiles.
- ❖ Au contraire aux espèces hyperthermophiles, la majorité des espèces thermophiles sont des bactéries avec une minorité archéenne.
- ❖ Il est possible que la stabilité de l'ADN de ces microorganismes est due à la forte proportion en GC% remarquée dans notre étude (elle est de 46.04 mol% et 46.63 mol% pour espèces thermophiles et hyperthermophiles respectivement).
- ❖ Notre étude montre une grande diversité de ces espèces (hyper)thermophiles sur plusieurs niveaux: morphologique, type respiratoire et type trophique.
- ❖ D'autre part les résultats de ce travail présente une multiple subdivision de ces espèces selon leur pH, pression et NaCl, on trouve donc les (hyper)thermophiles (acidophiles, neutrophiles et alcalophiles) les (hyper)thermophiles (barophiles et barotolérantes) et les (hyper)thermophiles (non-halophiles, halophiles faibles et halophiles modérées).
- ❖ Concernant la température, nos résultats montrent une définition de ces microorganismes: les thermophiles sont les microorganismes qui ont une croissance optimale entre 63°C et 75°C et les hyperthermophiles ont une croissance optimale entre 83°C et 106°C.

Au terme d'une étude ou application bioinformatique on peut constater que:

- notre résultat représente une base de données organisée en fonction de modèle de données relationnel, avec un système (programme) informatique nommé Système de Gestion de Bases de Données Relationnel (SGBDR) qui permet d'organiser, de représenter, de rechercher et de conserver les informations dans la base de données et sous le langage de programmation Delphi, ce dernier dispose de nombreux composants permettant d'accéder à la base de données, dans notre cas on a choisie le moteur de base de données BDE (Borland Data base Engin).
- Et comme on peut conclure aussi que notre base de données est créée par leur installation sur un ordinateur (sa nous reflète aussi le type de cette base de données qui est locale) ou par leur présentation sur un CD.

Ainsi dans nos perspectives d'avenir il nous semble intéressant de compléter utilement cette approche par :

L'augmentation de nombre d'espèces étudiée (plus que 154 souches), et l'ajout d'autres critères concernant les souches (Plus de détails dans leurs propriétés comme leur critères métabolique ou condition de vie...) et leurs biotopes (on ajoute leur facies ou les électrolytes dominant...).

Le passage d'une base de données locale à la base de données distantes (le logiciel peut accepter de nouvelles améliorations et peut être installé sur un serveur, où de nombreux ordinateurs peuvent avoir accès à la même base de données, par exemple dans un petit laboratoire où de nombreux personnes besoin d'avoir accès à la même base de données).

*Références
bibliographiques*

- Abdesslem Layeb. 2005.** Approche quantique évolutionnaire pour l'alignement multiple de séquences en bioinformatique. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magistère en Informatique Option : Information & Computation. Université Mentouri de Constantine Faculté des Sciences de l'Ingénieur Département d'Informatique. 1-2-9-10p.
- Aguiar P., Beveridge T. J. and Reysenbach A.-L. 2004.** *Sulfurihydrogenibium azorense* sp. nov., a thermophilic hydrogen-oxidizing microaerophile from terrestrial hot springs in the Azores. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 33–39.
- Aksenova Helena Yu, Rainey Frederick A., Janssen Peter H., Zavarzin George A. and Morgan Hugh W. 1992.** *Spirochaeta thermophila* sp. nov., an Obligately Anaerobic, Polysaccharolytic, Extremely Thermophilic Bacterium. *International Journal of Systematic Bacteriology*, Vol. 42, No. 1.
- Alain Karine, Marteinsson Viggó Thór, Miroshnichenko Margarita L., Bonch-Osmolovskaya Elisaveta A., Prieur Daniel and Birrien Jean-Louis. 2002.** *Marinitoga piezophila* sp. nov., a rod-shaped, thermo-piezophilic bacterium isolated under high hydrostatic pressure from a deep-sea hydrothermal vent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52, 1331-1339.
- Alain Karine, Postec Anne, Grinsard Elodie, Lesongeur Françoise, Prieur Daniel and Godfroy Anne. 2010.** *Thermodesulfator atlanticus* sp. nov., a thermophilic, chemolithoautotrophic, sulfatereducing bacterium isolated from a Mid-Atlantic Ridge hydrothermal vent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60, 33–38.
- Amo Taku, Paje Maria Luzf., Inagaki Akiko, Ezaki Satochi, Atomi Haruyuki and Imanaka Tadayuki. 2002.** *Pyrobaculum calidifontis* sp. nov., a novel hyperthermophilic archaeon that grows in atmospheric air. *Archaea* 1, 113–121.
- Andrews K. T. and Patel B. K. C. 1996.** *Fewidobacterium gondwanense* sp. nov., a New Thermophilic Anaerobic Bacterium Isolated from Nonvolcanically Heated Geothermal Waters of the Great Artesian Basin of Australia. *International Journal of Systematic Bacteriology*, Vol. 46, No. 1.
- Arab Hocine, Völker Horst and Thomm Michael. 2000.** *Thermococcus aegaeicus* sp. nov. and *Staphylothermus hellenicus* sp. nov., two novel hyperthermophilic archaea isolated from geothermally heated vents off Palaeochori Bay, Milos, Greece. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 50, 2101–2108.
- Atomi Haruyuki, Fukui Toshiaki, Kanai Tamotsu, Morikawa Masaaki and Imanaka Tadayuki. 2004.** Description of *Thermococcus kodakaraensis* sp. nov., a well studied hyperthermophilic archaeon previously reported as *Pyrococcus* sp. KOD1. *Archaea* 1, 263–267.
- Balk Melike, Weijma Jan and Stams Alfons J. M. 2002.** *Thermotoga lettingae* sp. nov., a novel thermophilic, methanol-degrading bacterium isolated from a thermophilic anaerobic reactor. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52, 1361–1368.
- Barbier Georges, Godfroy Anne, Meunier Jean-Roch, Queréllou T Joël, Cambon Marie-Anne, Lesongeur Françoise, Grimont Patrick A. D. and Raguenees Gerard. 1999.** *Pyrococcus glycovorans* sp. nov., a hyperthermophilic archaeon isolated from the East Pacific Rise. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 49, 1829-1 837.
- Beeder Janiche, Nilsen Roald Kåre, Rosnes Jan Thmas, Torsvik Terje and Lien Torleiv. 1994.** *Archaeoglobus fulgidus* Isolated from Hot North Sea Oil Field Waters. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 60, No.4.

- Belaid, 2007.** Le champion de la programmation Delphi. Pages Bleues. ISBN: 978-9947-850-03-9. 157-158-159-160-161-162-163p.
- Belaid, 2011.** Formstion Multimédia à la programmation Delphi. Pages Bleues. ISBN: 978-9947-850-88-6. 14-15-156-157p.
- Beroud C. 2011.** Bases de données et outils bioinformatiques utiles en génétique. Collège National des Enseignants et Praticiens de Génétique Médicale. Université Médicale Virtuelle Francophone. 3-4p.
- Bianchi M, Marty D. Bertrand J.C. Caumette P. et Gauthier M.1989.**Micro-organismes dans les écosystèmes océaniques., éd.s.. Masson, Paris, 3-26p
- Blöchl Elisabeth, Rachel Reinhard. Branger Alain, Richer Marie Madeleine, Roustel Sébastien. 2007.** Alimentation, Sécurité et contrôle microbiologiques. Educagri editions. ISBN: 978-2-84444-616-9. 116p.
- Bredholt Sylvia, Sonne-Hansen Jacob, Nielsen Preben, Mathrani Indra M. and Ahring Birgitte K. 1999.** *Caldicellulosiruptor kristjanssonii* sp. nov., a cellulolytic, extremely thermophilic, anaerobic bacterium. *international Journal of Systematic Bacteriology*,49, 991 - 996.
- Burggraf Siegfried, Hafenbradl Doris, Jannasch Holger W, Stetter Karl O. 1997.** *Pyrolobus fumarii*, gen. and sp. nov., represents a novel group of archaea, extending the upper temperature limit for life to 113°. *Extremophiles* 1:14-21.
- Caldwell Sara L., Liu Yitai, Ferrera Isabel, Beveridge Terry and Reysenbach Anna-Louise. 2010.***Thermocrinis minervae* sp. nov., a hydrogen- and sulfur-oxidizing, thermophilic member of the Aquificales from a Costa Rican terrestrial hot spring. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60, 338–343.
- Canganella Francesco, Jones William J., Gambacorta Agata and Antranikian Garabed. 1998.** *Thermococcus guaymasensis* Spm nov. and *Thermococcus aggregans* sp. nov., two novel thermophilic archaea isolated from the Guaymas Basin hydrothermal vent site. *International Journal of Systematic Bacteriology* , 48, 1 181-1 185.
- Camilla L., Dahle Håkon, Doolittle W. Ford, Birkland Nils-Kåre and Noll Kenneth M. 2009.** *Kosmotoga olearia* gen. nov., sp. nov., a thermophilic, anaerobic heterotroph isolated from an oil production fluid. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59, 2991-3000.
- Cayol Jean-Luc, Ducerf Sophie, Patel Bharat K. C., Garcia Jean-Louis, Thomas Pierre and Ollivier Bernard. 2000.** *Thermohalobacter berrensis* gen. nov., sp. nov., a thermophilic, strictly halophilic bacterium from a solar saltern. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 50, 559–564.
- Cayol J.-L., Ollivier B., Patel B. K. C., Prensier G., Guezennec J., and Garcia J.-l. 1994.** Isolation and Characterization of *Halothemotrix orenii* gen. nov., sp. nov., a Halophilic, Thermophilic, Fermentative, Strictly Anaerobic Bacterium. *International Journal of Systematic Bacteriology*, Vol. 44, No. 3
- Chen Mao-Yen, Wu Shih-Hsiung, Lin Guang-Huey, Lu Chun-Ping, Lin Yung-Ting, Chang Wen-Chang, and Tsay San-San. 2004.** *Rubrobacter taiwanensis* sp. nov., a novel thermophilic, radiation-resistant species isolated from hot springs. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 1849-1855.
- Chen Mao-Yen, Lin Guang-Huey, Lin Yung-Ting and Tsay San-San. 2002.** *Meiothermus taiwanensis* sp. nov., a novel filamentous, thermophilic species isolated in Taiwan. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* , 52, 1647–1654.

- Cook Gregory M., Rainey Frederick A., Patel Bharat K. C., and Morgan Hugh W. 1996.** Characterization of a New Obligately Anaerobic Thermophile, *Thermoanaerobacter wiegelii* sp. nov. International Journal of Systematic Bacteriology, Vol. 46, No. 1.
- Dardel Frédéric, Képès François. 2006.** Bioinformatique Génomique et post-génomique. Editions Ecole Polytechnique. ISBN 2-7302-0927-1.128p.
- Dupin Henri, Cuq Jean-Louis, Malewiak M.-L., Leynaud-Rouaud C., Berthier A.-M. 1992.** Alimentation et nutrition humaines. ESF éditeur, ISBN 2.7101.0892.5,1276 -1277p.
- Erauso Gaël, Reysenbach Anna-Louise, Goldfroy Anne, Meunier Jean-Roch, Crump Byron, Partensky Frédéric, Baross John A., Marteinson Viggo, Babier Georges, Pace Norman R., Prieur Daniel. 1993.** *Pyrococcus abyssi* sp. nov., a new hyperthermophilic archaeon isolated from a deep-sea hydrothermal vent. Archives of Microbiology, 160:338-349.
- Etchebehere C., Paan M. E., Zorzópulos J., Soubes M. and Muxí L. 1998.** *Coprothermobacter platensis* Spm nov., a new anaerobic proteolytic thermophilic bacterium isolated from an anaerobic mesophilic sludge. International Journal of Systematic Bacteriology, 48, 1297-1304.
- Eyquem-J A. Montgnier Alouf-L.. 1998.** Traité de Microbiologie Clinique Première mises à jour., ISBN: 88-299-1457-6., 24-25p.
- Fardeau M.-L., Ollivier B., Patel B. K. C., Magot M., Thomas P., Rimbault A., Rocchiccioli F., and Garcia J.-L. 1997.** *Thennotoga hypogea* sp. nov., a Xylanolytic, Thermophilic Bacterium from an Oil-Producing Well. . International Journal of Systematic Bacteriology, Vol. 47, No. 4.
- Feng Yixiao, Cheng Lei Zhang, Xiaoxia, Li Xia, Deng Yu and Zhang Hui. 2010.** *Thermococcoides shengliensis* gen. nov., sp. nov., a new member of the order Thermotogales isolated from oil-production fluid. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology , 60, 932–937.
- Fiala Gerhard and Stetter Karl O. 1986.** *Pyrococcus furiosus* sp. nov. represents a novel genus of marine heterotrophic archaeobacteria growing optimally at 100°C. Arches of Microbiology, 145: 56- 61.
- Flores Gilberto E., Liu Yitai, Ferrera Isabel, Beveridge Terry J. and Reysenbach Anna-Louise. 2008.** *Sulfurihydrogenibium kristjanssonii* sp. nov., a hydrogen- and sulfur-oxidizing thermophile isolated from a terrestrial Icelandic hot spring. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology , 58, 1153–1158.
- Gargaud Muriel, Despois Didier., Parisot Jean-Paul. 2005.** L’envirenement de Terre primitive, L’origine de la vie sur terre et dans l’univers. Presses Univ de Bordeaux, 2^e édition, ISBN 2-86781-382-4, 403-404-423p.
- Godfroy Anne, Lesongeur Françoise, Raguenes Gérard, Querellou Joel, Antoine Elisabeth, Meunier Jean-roch, Guezennec Jean, and Barbier Georges. 1997.** *Thennococcus hydrothermalis* sp. nov., a New Hyperthermophilic Archaeon Isolated from a Deep-sea Hydrothermal Vent. International Journal of Systematic Bacteriology, p. 622-626. Vol. 47, No. 3
- Godfroy Anne, Meunier Jean-Roch, Guezennec Jean, Lesongeur Françoise, Raguenes Gérard, Rimbault Alain and Barbier Georges. 1999.** *Thermococcus fumicolans* sp. nov., a New Hyperthermophilic Archaeon Isolated from a Deep-sea Hydrothermal Vent in the North Fiji Basin. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, Vol. 46. No. 4.
- GOMRI Mohamed Amine. 2012.** Screening d’activités hydrolytiques extracellulaires chez des souches bactériennes aérobies thermophiles isolées à partir de sources thermales terrestres de l’Est algérien. UNIVERCITE MENTOURI-CONSTANTINE.18-7-35p.

- González Juan M., Masuchi Yaeko, Robb Frank T., Ammerman James W., Maeder Dennis L., Yanagibayashi Miki, Tamaoka Jin, Kato Chiaki. 1998.** *Pyrococcus horikoshii* sp. nov., a hyperthermophilic archaeon isolated from a hydrothermal vent at the Okinawa Trough. *Extremophiles*, 2:123-130.
- Götz D., Banta A., Beveridge T. J., Rushdi A. I., Simoneit B. R. T. and Reysenbach A.-L. 2002.** *Persephonella marina* gen. nov., sp. nov. and *Persephonella guaymasensis* sp. nov., two novel, thermophilic, hydrogen-oxidizing microaerophiles from deep-sea hydrothermal vents. . *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52, 1349-1359.
- Greene Anthony C., Patel Bharat K. C. and Yacob Shahrakbah. 2009.** *Geoalkalibacter subterraneus* sp. nov., an anaerobic Fe(III)- and Mn(IV)-reducing bacterium from a petroleum reservoir, and emended descriptions of the family Desulfuromonadaceae and the genus *Geoalkalibacter*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59, 781-785.
- Hamilton-Brehm Scott D., Gibson Robert A., Green Stefan J., Hopmans Ellen C., Schouten Stefan., van der Meer Marcel T. J., Shields John P., Damsté Jaap S. S., Elkins James G. 2013.** *Thermodesulfobacterium geofontis* sp. nov., a hyperthermophilic, sulfate-reducing bacterium isolated from Obsidian Pool, Yellowstone National Park. *Extremophiles*, DOI 10.1007/s00792-013-0512-1.
- Hetzer Adrian, McDonald Ian R. and Morgan Hugh W. 2008.** *Venenivibrio stagnispumantis* gen. nov., sp. nov., a thermophilic hydrogen-oxidizing bacterium isolated from Champagne Pool, Waiotapu, New Zealand. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58, 398–403.
- Holden J.F. 2009.** *Extremophiles: Hot Environments in Encyclopedia of microbiology*, 3rd Ed., Schaechter M. P: 127-146. Elsevier.
- Huber Gertrud, Spinnler Carola, Gambacorta Agata, and Sterrer Karl O. 1989.** *Metallosphaera sedula* gen. and sp. nov. Represents a New Genus of Aerobic, Metal-Mobilizing, Thermoacidophilic Archaeobacteria. *Systematic and Applied Microbiology*, 12, 38-47.
- Huber Gertrud and Stetter Karl O. 1991.** *Sulfolobus metallicus*, sp. nov., a Novel Strictly Chemolithoautotrophic Thermophilic Archaeal Species of Metal-Mobilizers. *Systematic and Applied Microbiology* 14, 372-378.
- Huber Harald, Burggraf Siegfried, Mayer Thomas, Wyschkony Irith, Rachel Reinhard and Stetter Karl O. 2000.** *Ignicoccus* gen. nov., a novel genus of hyperthermophilic, chemolithoautotrophic *Archaea*, represented by two new species, *Ignicoccus islandicus* sp. nov. and *Ignicoccus pacificus* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, Great Britain. 50, 2093–2100.
- Huber Harald, Diller Sabine, Horn Christian and Rachel Reinhard. 2002.** *Thermovibrio ruber* gen. nov., sp. nov., an extremely thermophilic, chemolithoautotrophic, nitrate-reducing bacterium that forms a deep branch within the phylum *Aquificae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52, 1859–1865.
- Huber Robert, Dyba Diana, Huber Harald, Burggraf Siegfried and Rachel Reinhard. 1998.** *Sulfolobus* *Thermosphaera aggregans* sp. nov., a new genus of hyperthermophilic archaea isolated after its prediction from environmentally derived 16s rRNA sequences. *International Journal of Systematic Bacteriology* , 48, 31-38. Great Britain.
- Huber Robert, Eder Wolfgang, Heldwein Stefan, Wanner Gerhard, Huber Harald, Rachel Reinhard, and Stetter Karl O. 1998.** *Thermocrinis ruber* gen. nov., sp. nov., a Pink-Filament

Forming Hyperthermophilic Bacterium Isolated from Yellowstone National Park. *Applied and Environmental Microbiology* , Vol. 64, No. 10.

Huber R., Huber H., Stetter K.O. 2000. Towards ecology of hyperthermophiles: biotopes, new isolaton strategies and novel metabolic properties. *FEMS Microbiology Reviews* 24 615-623.

Huber R., Kristjansson J. K.,and Stetter K. O. 1987.Pyrobaculum gen. nov., a new genus of neutrophilic, rod-shaned archaeobacteria from continental solfataras growing optimally at 100°C.*Archives of Microbiology* 149:95-101.

Huber Robert, Stöhr Josef, Hohenhaus Sabine, Rachel Reinhard, Burggraf Siegfried. Jannash Holger W. Stetter Karl O. 1995.*Thermococcus chitonophagus* sp. nov., a novel, chitin-degrading, hyperthermophilic archaeum from a deep-sea hydrothermal vent environment. *Archives of Microbiology*,164:255-264.

Imachi Hiroyuki, Sakai Sanae, Hirayama Hisako, Nakagawa Satoshi, Nunoura Takuro, Takai Ken and Horikoshi Koki. 2008. *Exilispira thermophila* gen. nov., sp. nov., an anaerobic, thermophilic spirochaete isolated from a deep-sea hydrothermal vent chimney.*International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58, 2258-2265

Imanaka Tadayuki. 2008. Adaptation Strategy of Thermophiles toward Hyperthermophily and Their Molecular Bases. *Chemical Society of Japan*. Vol. 81, No. 2, 171–182.

Itoh Takashi, Suzuki Ken-ichiro and Nakase Takashi. 1998. *Thermocladiurn modestius* gen. nov., sp. nov., a new genus of rod-shaped, extremely thermophilic crenarchaeote. *International Journal of Systematic Bacteriology* , 48,879-887.

Itoh Takashi, Suzuki Ken-ichiro. and Nakase Takashi. 2002. *Vulcanisaeta distributa* gen. nov., sp. nov., and *Vulcanisaeta souniana* sp. nov., novel hyperthermophilic, rod-shaped crenarchaeotes isolated from hot springs in Japan. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiolog*, 52, 1097–1104.

Itoh Takashi, Suzuki Ken-ichiro, Sanchez Priscilla C. and Nakasel Takashi. 1999. *Caldivirga maquilingensis* gen. nov., sp. nov., a new genus of rod-shaped crenarchaeote isolated from a hot spring in the Philippines. *International Journal of Systematic Bacteriology* , 49, 11 57-1 163.

Jan Ren-Long, Wu Jeffrey, Chaw Shu-Miaw, Tsai Chien-Wei and Tsen Suh-Der. 1999. A novel species of thermoacidophilic archaeon, *Sulfolobus yangmingensis* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 49, 1809-1816.

Jeanthon Christian, L'Haridon Stéphane, Cueff Valérie, Banta Amy, Reysenbach Anna-Louise and Prieur Daniel. 2002. *Thermodesulfobacterium hydrogeniphilum* sp. nov., a thermophilic, chemolithoautotrophic, sulfate-reducing bacterium isolated from a deep-sea hydrothermal vent at Guaymas Basin, and emendation of the genus *Thermodesulfobacterium*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* , 52, 765–772.

Jeanthon C., L'Haridon S., Reysenbacht A. L., Marc Vernet, Messner P., Sleytr U. B. and Prieur D. 1998. *Methanococcus infernus* sp. nov., a novel hyperthermophilic lithotrophic methanogen isolated f rom a deep-sea hydrothermal vent .*International Jornal of Systematic Bacteriology*.48,913-919.

Jones W. J., Leigh J. A., Mayer F., Woese C. R. and Wolfe R. S. 1983. *Methanococcus jannaschii* sp. nov., an extremely thermophilic methanogen from a submarine hydrothermal vent.*Archives of Microbiology*.136:254-261.

- Kaksonen Anna H., Spring Stefan, Schumann Peter, Kroppenstedt Reiner M. and Puhakka Jaakko A. 2006.** *Desulfotomaculum thermosubterraneum* sp. nov., a thermophilic sulfate-reducer isolated from an underground mine located in a geothermally active area. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56, 2603–2608.
- Kaksonen Anna H., Spring Stefan, Schumann Peter, Kroppenstedt Reiner M. and Puhakka Jaakko A. 2007.** *Desulfovirgula thermocuniculi* gen. nov., sp. nov., a thermophilic sulfate-reducer isolated from a geothermal underground mine in Japan. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 57, 98–102.
- Kashefi Kazem, Holmes Dawn E., Baross John A., and Lovley Derek R. 2003.** Thermophily in the *Geobacteraceae*: *Geothermobacter ehrlichii* gen. nov., sp. nov., a Novel Thermophilic Member of the *Geobacteraceae* from the “Bag City” Hydrothermal Vent. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 69, No. 5.
- Kashefi Kazem, Holmes Dawn E., Reysenbach Anna-Louise, and Lovley Derek R. 2002.** Use of Fe(III) as an Electron Acceptor To Recover Previously Uncultured Hyperthermophiles: Isolation and Characterization of *Geothermobacterium ferrireducens* gen. nov., sp. nov. *Applied Environmental Microbiology*, Apr., p. 1735–1742. Vol. 68, No. 4.
- Kashefi Kazem, Tor Jason M., Holmes Dawn E., Gaw Catherine V., Praagh Van, Reysenbach Anna-Louise and Lovley Derek R. 2002.** *Geoglobus ahangari* gen. nov., sp. nov., a novel hyperthermophilic archaeon capable of oxidizing organic acids and growing autotrophically on hydrogen with Fe(III) serving as the sole electron acceptor. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52, 719–728.
- Kim Byoung-Chan, Grote Ralf, Lee Dong-Woo, Antranikian Garabed and Pyun Yu-Ryang. 2001.** *Thermoanaerobacter yonseiensis* sp. nov., a novel extremely thermophilic, xylose-utilizing bacterium that grows at up to 85°C. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51, 1539–1548.
- Kristjansson J.K., Hreggvidsson G.O. 1995.** Ecology and habitats of extremophiles. *World J. of Microbiol. and Biotech.*, 11:17-25.
- Kublanov I. V., Bidjjeva S. Kh., Mardanov A. V. and Bonch-Osmolovskaya E. A. 2009.** *Desulfurococcus kamchatkensis* sp. nov., a novel hyperthermophilic protein-degrading archaeon isolated from a Kamchatka hot spring. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59, 1743–1747.
- Kurosawa Norio, Itoh Yuko H., Iwai Toshie, Sugai Akihiko, Uda Ikuko, Kimura Naohiro, Horiuchi Tadao and Itoh Toshihiro. 1998.** *Sulfurisphaera ohwakuensis* gen. nov., sp. nov., a novel extremely thermophilic acidophile of the order *Sulfolobales*. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 48, 451–456.
- Kurr Margit, Huber Robert, König Helmut, Jannasch Holger W., Fricke Hans, Trincone Antonio, Kristjansson Jakob K., and Stetter Karl O. 1991.** *Methanopyrus kandleri*, gen. and sp. nov. represents a novel group of hyperthermophilic methanogens, growing at 110°C. *Archives of Microbiology*, 156:239-247.
- Kuwabara Tomohiko, Minaba Masaomi, Iwayama Yukihiro, Inouye Isao, Nakashima Miwako, Marumo Katsumi, Maruyama Akihiko, Sugai Akihiko, Itoh Toshihiro, Ishibashi Jun-ichiro, Urabe Tetsuro and Kamekura Masahiro. 2005.** *Thermococcus coalescens* sp. nov., a cell-fusing hyperthermophilic archaeon from Suiyo Seamount. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55, 2507–2514.
- Kuwabara Tomohiko, Minaba Masaomi, Ogi Noriko and Kamekura Masahiro. 2007.** *Thermococcus celericrescens* sp. nov., a fastgrowing and cell-fusing hyperthermophilic archaeon

from a deep-sea hydrothermal vent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* (2007), 57, 437–443.

Laubier M. Lucien., Raffin Jean-Paul., Ravot Gilles. 2012. Bactéries des abysses. Dossier thématique, La cité de la mer, Cherbourg. 21-22-27p.

L’Habidon S., Reysenbach A.-L., Banta A., Messner P., Dipippo Jonathan I., Nesbø Huber Robert, Langworthy Thomas A., König Helmut, Thomm Michael, Woese Carl R., Sleytr Uwe B., and Stetter Karl O. 1986. *Thermotoga maritima* sp. nov. represents a new genus of unique extremely thermophilic eubacteria growing up to 90°C. *Archives of Microbiology*, 144:324-333.

L’Haridon S., Reysenbach A.-L., Tindall B. J., Schönheit P., Banta A., Johnsen U., Schumann P., Gambacorta A., Stackebrandt E. and Jeanthon C. 2006. *Desulfurobacterium atlanticum* sp. nov., *Desulfurobacterium pacificum* sp. nov. and *Thermovibrio guaymasensis* sp. nov., three thermophilic members of the Desulfurobacteriaceae fam. nov., a deep branching lineage within the Bacteria. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56, 2843-2852.

Leyral Guy, Vierling Elisabeth. 2007. Microbiologie et toxicologie des aliments : Hygiène et sécurité alimentaires. 4^{em} édition. Wolters Kluwer France. ISBN 978-2-7040-1233-6. p54.

L’Haridon S., Cilia V., Messner P., Raguénès G., Gambacorta A., Sleytr U. B., Prieur D. and Jeanthon C. 1996. *Desulfurobacterium thermolithotrophum* gen. nov., sp. nov., a novel autotrophic, sulphur-reducing bacterium isolated from a deep-sea hydrothermal vent. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 48, 701-711.

L’Haridon S., Miroshnichenko M. L., Hippe H., Fardeau M.-L., Bonch-Osmolovskaya E. A., Stackebrandt E. and Jeanthon C. 2001. *Thermosipho geolei* sp. nov., a thermophilic bacterium isolated from a continental petroleum reservoir in Western Siberia. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51, 1327–1334.

L’Haridon S., Miroshnichenko M. L., Hippe H., Fardeau M.-L., Bonch-Osmolovskaya E. A., Stackebrandt E. and Jeanthon C. 2002. *Petrotoga olearia* sp. nov. and *Petrotoga sibirica* sp. nov., two thermophilic bacteria isolated from a continental petroleum reservoir in Western Siberia. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52, 1715- 1722.

Lien Torleiv, Madsen Marit, Rainey Fred A. and Birkeland Nils-Kare. 1998. *Petrotoga mobilis* sp. nov., from a North Sea oil-production well. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 48, 1007-1013.

Manaia Célia M., Nunes Olga C. and Nogales Balbina. 2003. *Caenibacterium thermophilum* gen. nov., sp. nov., isolated from a thermophilic aerobic digester of municipal sludge. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53, 1375-1382

Meier-Stauffler Katharina, Busse Hans-Jürgen, Rainey Frederick A., Burghardt Jutta, Scheberl Andrea, Hollaus Friedrich, Sleytr Uwe B., and Messner Paul. 1996. Description of *Bacillus themzoaerophilus* sp. nov., To Include Sugar Beet Isolates and *Bacillus brevis* ATCC 12990. *International Journal of Systematic Bacteriology*, Vol. 46, No. 2.

Meyer Alphonse, Deiana José, Bernard Alain. 2004. Cours de microbiologie générale: avec problèmes et exercices corrigés. DOIN ÉDITION, ISBN 2-7040-1170-2 ISSN 1629-7954. 103-107-108p.

Michaud Yves. 2003. Qu’est-ce que la diversité de la vie, Université de tous les savoirs, Ed Odile Jacob. ISBN 2-7381-1307-9. 168-169p.

- Miroshnichenko M. L., Gongadze G. M., Raine F. A., Kostyukova A. S., Lysenko A. M., Chernyhl N. A. and Bonch-Osmolovskaya E. A. 1998.** *Thermococcus gorgonarius* sp. nov. and *Thermococcus pacificus* sp. nov. : heterotrophic extremely thermophilic archaea from New Zealand submarine hot vents. *International Journal of Systematic Bacteriology* ,48, 23-29.
- Miroshnichenko Margarita L., Kostrikina Nadezhda A., Chernykh Nikolai A., Pimenov Nikolai V., Tourova Tatyana P., Antipov Alexei N., Spring Stefan, Stackebrandt Erko and Bonch-Osmolovskaya Elizaveta A. 2003.** *Caldithrix abyssi* gen. nov., sp. nov., a nitrate-reducing, thermophilic, anaerobic bacterium isolated from a Mid-Atlantic Ridge hydrothermal vent, represents a novel bacterial lineage. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53, 323–329.
- Miroshnichenko Margarita L., Lebedinsky Alexander V., Chernykh N. A., Tourova Tatyana P., Kolganova Tatyana V., Spring Stefan and Bonch-Osmolovskaya Elizaveta A. 2009.** *Caldimicrobium rimae* gen. nov., sp. nov., an extremely thermophilic, facultatively lithoautotrophic, anaerobic bacterium from the Uzon Caldera, Kamchatka. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59, 1040–1044.
- Miroshnichenko M. L., L’Haridon S., Jeanthon C., Antipov A. N., Kostrikina N. A., Tindall B. J., Schumann P., Spring S., Stackebrandt E. and Bonch-Osmolovskaya E. A. 2003.** *Oceanithermus profundus* gen. nov., sp. nov., a thermophilic, microaerophilic, facultatively chemolithoheterotrophic bacterium from a deep-sea hydrothermal vent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53, 747-752.
- Miroshnichenko M. L., L’Haridon S., Necessian O., Antipov A. N., Kostrikina N. A., Tindall B. J., Schumann P., S. Stackebrandt Spring, E., Bonch-Osmolovskaya E. A. and Jeanthon C. 2003.** *Vulcanithermus mediatlanticus* gen. nov., sp. nov., a novel member of the family Thermaceae from a deep-sea hot vent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53, 1143–1148.
- Miroshnichenko M. L., Slobodkin A. I., Kostrikina N. A., L’Haridon S., Necessian O., Spring S., Stackebrandt E., Bonch-Osmolovskaya E. A. and Jeanthon C. 2003.** *Deferribacter abyssi* sp. nov., an anaerobic thermophile from deep-sea hydrothermal vents of the Mid-Atlantic Ridge. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53, 1637-1641.
- Miroshnichenko Margarita L., Tourova Tatyana P., Kolganova Tatyana V., Kostrikina Nadezhda A., Chernykh Nikolay and Bonch-Osmolovskaya Elizaveta A. 2008.** *Ammonifex thiophilus* sp. nov., a hyperthermophilic anaerobic bacterium from a Kamchatka hot spring. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* , 58, 2935–2938.
- Mohagheghi A., Grohmann K., Himmel M., Leighton L., and Updegraff D. M. 1986.** Isolation and Characterization of *Acidothermus cellulolyticus* gen. nov., sp. nov., a New Genus of Thermophilic, Acidophilic, Cellulolytic Bacteria. *International Journal of Systematic bacteriology*, Vol. 36, No. 3.
- Mori Koji, Hanada Satoshi, Maruyama Akihiko and Marumo Katsumi. 2002.** *Thermanaeromonas toyohensis* gen. nov., sp. nov., a novel thermophilic anaerobe isolated from a subterranean vein in the Toyoha Mines. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* , 52, 1675–1680.
- Mori Koji, Kakegawa Takeshi, Higashi Yowsuke, Nakamura Ko-ichi, Maruyama Akihiko and Hanada Satoshi. 2004.** *Oceanithermus desulfurans* sp. nov., a novel thermophilic, sulfur-reducing bacterium isolated from a sulfide chimney in Suiyo Seamount. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 1561-1566.

- Mori Koji and Suzuki Ken-ichiro. 2008.** *Thiofaba tepidiphila* gen. nov., sp. nov., a novel obligately chemolithoautotrophic, sulfur-oxidizing bacterium of the Gammaproteobacteria isolated from a hot spring. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58, 1885–1891.
- Moussard H., L’Haridon S., Tindall B. J., Banta A., Schumann P., Stackebrandt E., Reysenbach A.-L. and Jeanthon C. 2004.** *Thermodesulfatator indicus* gen. nov., sp. nov., a novel thermophilic chemolithoautotrophic sulfate-reducing bacterium isolated from the Central Indian Ridge. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 227–233.
- Nakagawa Satoshi, Nakamura Sachiko, Inagaki Fumio, Takai Ken, Shirai Nobuaki and Sako Yoshihiko. 2004.** *Hydrogenivirga caldilitoris* gen. nov., sp. nov., a novel extremely thermophilic, hydrogen- and sulfur-oxidizing bacterium from a coastal hydrothermal field. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 2079–2084.
- Nakagawa S., Shtaih Z., Banta A., Beveridge T. J., Sako Y. and Reysenbach A.-L. 2005.** *Sulfurihydrogenibium yellowstonense* sp. nov., an extremely thermophilic, facultatively heterotrophic, sulfur-oxidizing bacterium from Yellowstone National Park, and emended descriptions of the genus *Sulfurihydrogenibium*, *Sulfurihydrogenibium subterraneum* and *Sulfurihydrogenibium azorense*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55, 2263–2268.
- Nakagawa Satoshi, Takai Ken, Horikoshi Koki and Sako Yoshihiko. 2003.** *Persephonella hydrogeniphila* sp. nov., a novel thermophilic, hydrogen-oxidizing bacterium from a deep-sea hydrothermal vent chimney. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53, 863–869.
- Nakagawa Satoshi, Takai Ken, Horikoshi Koki and Sako Yoshihiko. 2004.** *Aeropyrum camini* sp. nov., a strictly aerobic, hyperthermophilic archaeon from a deep-sea hydrothermal vent chimney. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 329–335.
- Niederberger Thomas D., Götz Dorothee K., McDonald Ian R., Ronimus Ron S. and Morgan Hugh W. 2006.** *Ignisphaera aggregans* gen. nov., sp. nov., a novel hyperthermophilic crenarchaeote isolated from hot springs in Rotorua and Tokaanu, New Zealand. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56, 965–971.
- Nunoura Takuro, Miyazaki Masayuki, Suzuki Yohey, Takai Ken and Horikoshi Koki. 2008.** *Hydrogenivirga okinawensis* sp. nov., a thermophilic sulfur-oxidizing chemolithoautotroph isolated from a deep-sea hydrothermal field, Southern Okinawa Trough. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58, 676–681.
- Nunoura Takuro, Oida Hanako, Miyazaki Masayuki and Suzuki Yohey. 2008.** *Thermosulfidibacter takaii* gen. nov., sp. nov., a thermophilic, hydrogen-oxidizing, sulfur-reducing chemolithoautotroph isolated from a deep-sea hydrothermal field in the Southern Okinawa Trough. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58, 659–665.
- Paper Walter, Jahn Ulrike, Hohn Michael J., Kronner Michaela, Näther Daniela J., Burghardt Tillmann, Rachel Reinhard, Stetter Karl O. and Huber Harald. 2007.** *Ignicoccus hospitalis* sp. nov., the host of ‘Nanoarchaeum equitans’. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 57, 803–808.
- Perevalova A. A., Svetlichny V. A., Kublanov I. V., Chernyh N. A., Kostrikina N. A., Tourova T. P., Kuznetsov B. B and Bonch-Osmolovskaya E. A. 2005.** *Desulfurococcus*

- fermentans* sp. nov., a novel hyperthermophilic archaeon from a Kamchatka hot spring, and emended description of the genus *Desulfurococcus*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55, 995–999.
- Pikuta Elena V., Marsic Damien, Itoh Takashi, Bej Asim K., Tang Jane, Whitman William B., D. Ng Joseph, Garriott Owen K and Hoover Richard B. 2007.** *Thermococcus thio-reducens* sp. nov., a novel hyperthermophilic, obligately sulfur-reducing archaeon from a deep-sea hydrothermal vent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 57, 1612–1618.
- Postec Anne. 2005.** Diversité de populations microbiennes thermophiles d'une cheminée hydrothermale océanique: cultures d'enrichissement en bioréacteur et isolement d'espèces nouvelles. thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur de l'université de Provence (AIX-MARSEILLE I) en Microbiologie, Biologie Végétale et Biotechnologies, Ecole Doctorale des Sciences de la vie et de la Santé. p18 p19
- Plumb Jason J., Haddad Christina M., Gibson John A. E and Franzmann Peter D. 2007.** *Acidianus sulfidivorans* sp. nov., an extremely acidophilic, thermophilic archaeon isolated from a solfatara on Lihir Island, Papua New Guinea, and emendation of the genus description. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 57, 1418–1423.
- Prowe Steffen G. and Antranikian G. 2001.** *Anaerobranca gottschalkii* sp. nov., a novel thermoalkaliphilic bacterium that grows anaerobically at high pH and temperature. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51, 457–465.
- Prokofeva M. I., Kostrikina N. A., Kolganova T. V., Tourova T. P., Lysenko A. M., Lebedinsky A. V. and Bonch-Osmolovskaya E. A. 2009.** Isolation of the anaerobic thermoacidophilic crenarchaeote *Acidilobus saccharovorans* sp. nov. and proposal of Acidilobales ord. nov., including Acidilobaceae fam. nov. and Caldisphaeraceae fam. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59, 3116–3122.
- Prescott, Hareley, Klein, Wiley, Sherwood, Woolverton. 2010.** *Microbiologie*. 3^e édition De Boeck. ISBN 978-2-8041-6012-8. 133-137-138-480p.
- Prescott Lansing M., Hareley John P, Klein Donald A. 2003.** *Microbiologie*. 2^e édition De Boeck. ISBN 2-8041-4256-6. p644.
- Perevalova Anna A., Bidzhieva Salima Kh., Kublanov Ilya V., Hinrichs Kai-Uwe, Liu Xiaolei L., Mardanov Andrey V., Lebedinsky Alexander V. and Bonch-Osmolovskaya Elizaveta A. 2010.** *Fervidicoccus fontis* gen. nov., sp. nov., an anaerobic, thermophilic crenarchaeote from terrestrial hot springs, and proposal of Fervidicoccaceae fam. nov. and Fervidicoccales ord. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60, 2082-2088.
- Postec Anne, Le Breton Claire, Fardeau Marie-Laure, Lesongeur Françoise, Pignet Patricia, Querellou Joël, Ollivier Bernard and Godfroy Anne. 2005.** *Marinitoga hydrogenitolerans* sp. nov., a novel member of the order Thermotogales isolated from a black smoker chimney on the Mid-Atlantic Ridge. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55, 1217-1221.
- Pires Ana Luisa, Albuquerque Luciana, Tiago Igor, Nobre M. Fernanda, Empadinhas Nuno, Veríssimo António, da Costa Milton S. 2005.** *Meiothermus timidus* sp. nov., a new slightly thermophilic yellow-pigmented species. *FEMS Microbiology Letters*, 245, 39-45.
- Queréllou Joël. 2010.** *Biotechnologie des arches*. Biofutur 310.
- Simmons Adam. 2010.** *Encyclopedia of adaptations in the natural world*. ABC-CLIO, ISBN 978-0-313-35557-8. p 28, p 29.

- Quérelle J., Guezennec J. (2010).** Biotechnologie des extrêmophiles. Editions Techniques de l'ingénieur. BIO580; P : 1-13.
- Rainey Fred A., Silva Joana, Nobre M. Fernanda, Silva Manuel T. and da Costa Milton S. 2003.** *Porphyrobacter cryptus* sp. nov., a novel slightly thermophilic, aerobic, bacteriochlorophyll a-containing species. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 53, 35-41.
- Ramstein Gérard. 2012.** Application de techniques de fouille de données en Bio-informatique. Ecole Doctorale STIM Sciences et Technologies de l'Information et des Matériaux, Université de Nantes Ecole des Mines de Nantes, France. N° E.D.: 503. 3-4p.
- Ravot G., Magot M., Fardeau M.-L., Patel B. K. C., Prensier G., Egan A., Garcia J.-L., and Ollivier B. 1995.** *Thennotoga elfii* sp. nov., a Novel Thermophilic from an African Oil-Producing Well Bacterium. International Journal of Systematic Bacteriology, Vol. 45, No. 2.
- Rees Gavin N., Patel Bharat K. C., Grassia Gino S., and Sheehy Alan J. 1997.** *Anaerobaculum themoterrenum* gen.nov., sp. nov., a Novel, Thermophilic Bacterium Which Ferments Citrate. International Journal of Systematic Bacteriology, Vol. 47, No. 1.
- Roussel Sébastien, Richer Marie-Madeleine, Branger Alain. 2007.** Microbiochimie et alimentation. Educagri Editions. ISBN 2844445586, 9782844445582. 78p.
- Ruixia Hao, Anhuai Lu, Guanyu Wang. 2004.** Crude-oil-degradin thermophilic bacterium isolated from an oil field. Canadian Journal of Microbiology. Vol. 50, No. 3: pp.175-182.
- Sako Yoshihiko, Nakagawa Satoshi, Takai Ken and Horikoshi Koki. 2003.** *Marinithermus hydrothermalis* gen. nov., sp. nov., a strictly aerobic, thermophilic bacterium from a deep-sea hydrothermal vent chimney. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 53, 59-65.
- Sako Yoshihiko, Nomura Norimichi, Uchida Aritsune, Ishida Yuzaburo, Morii Hiroyuki, Koga Yosuke, Hoaki Toshihir, and Maruyama Tadashi. 1996.** *Aeropyrum pemix* gen. nov., sp. nov., a Novel Aerobic Hyperthermophilic Archaeon Growing at Temperatures up to 100°C. 1996. International Journal of Systematic Bacteriology, Vol. 46, No. 4.
- Sako Yoshihiko, Nunoura Takuro and Uchida Aritsune. 2001.** *Pyrobaculum oguniense* sp. nov., a novel facultatively aerobic and hyperthermophilic archaeon growing at up to 97°C. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 51, 303-309.
- Sako Yoshihiko, Takai Ken, Ishida Yuzaburo, Uchida Aritsune, and Katayama Yoka. 1996.** *Rhodothermus obamensis* sp. nov., a Modern Lineage of Extremely Thermophilic Marine Bacteria. INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMATIC BACTERIOLOGY, Vol. 46, No. 4.
- Schumann P., Stackebrandt E and Jeanthon C. 2003.** *Methanocaldococcus indicus* sp. nov., a novel hyperthermophilic methanogen isolated from the Central Indian Ridge. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 53, 1931-1935.
- Seegerer Andreas H., Trincone Antonio, Gahrtz Manfred, and Stetter Karl O. 1991.** *Stygiolobus azoricus* gen. nov., sp. nov. Represents a Novel Genus of Anaerobic, Extremely Thermoacidophilic Archaeobacteria of the Order *Suvalobales*. International Journal of Systematic Bacteriology, Vol. 41, No. 4.
- Simbahan Jessica, Drijber Rhae and Blum Paul. 2004.** *Alicyclobacillus vulcanalis* sp. nov., a thermophilic, acidophilic bacterium isolated from Coso Hot Springs, California, USA. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 54, 1703-1707.

- Singer Susan S., Losos Jonathan B., Mason Kenneth A. 2011.** Biologie générale LMD Sciences. 2em edition. De Boeck Supérieur. ISBN 2804163059,9782804163051.p 551-552.
- Slepova Tatiana V., Bonch-Osmolovskaya Elizaveta A. and Robb Frank T. 2004.** *Thermosinus carboxydivorans* gen. nov., sp. nov., a new anaerobic, thermophilic, carbon-monoxideoxidizing, hydrogenogenic bacterium from a hot pool of Yellowstone National Park. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 2353–2359.
- Slobodkina G. B., Kolganova T. V., Chernyh N. A., Querellou J., Bonch-Osmolovskaya E. A. and Slobodkin A. I. 2009.** *Deferribacter autotrophicus* sp. nov., an iron(III)-reducing bacterium from a deep-sea hydrothermal vent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59, 1508–1512.
- Slobodkina G. B., Kolganova T. V., Querellou J., Bonch-Osmolovskaya E. A. and Slobodkin A. I. 2009.** *Geoglobus acetivorans* sp. nov., an iron(III)-reducing archaeon from a deep-sea hydrothermal vent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59, 2880–2883.
- Sokolova Tatyana G., González Juan M., Kostrikina Nadezhda A., Chernyh Nikolai A., Sterrer Karl O., Thomm Michael, Winter Josef, Wildgruber Gertrud, Huber Harald, Zillig Woramlf, Janécovic Davorin, König Helmu, Palm Peter, and Wunderl Simon. 1981.** *Methanothermus fervidus*, sp. nov., a Novel Extremely Thermophilic Methanogen Isolated from an Icelandic Hot Spring. *Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. C 2*, 166–178.
- Sokolova T. G., González J. M., Kostrikina N. A., Chernyh N. A., Tourova T. P., Kato C., Bonch-Osmolovskaya E. A. and Robb F. T. 2001.** *Carboxydoobranchium pacificum* gen. nov., sp. nov., a new anaerobic, thermophilic, COutilizing marine bacterium from Okinawa Trough. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51, 141–149.
- Sokolova T. G., Kostrikina N. A., Chernyh N. A., Tourova T. P., Kolganova T. V. and Bonch-Osmolovskaya E. A. 2002.** *Carboxydocella thermautotrophica* gen. nov., sp. nov., a novel anaerobic, CO-utilizing thermophile from a Kamchatkan hot spring. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52, 1961–1967.
- Spanevello Mark D., Yamamoto Hiroyuki and Patel Bharat K. C. 2002.** *Thermaerobacter subterraneus* sp. nov., a novel aerobic bacterium from the Great Artesian Basin of Australia, and emendation of the genus *Thermaerobacter*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52, 795–800.
- Stöhr Rüdiger, Waberski Arne, Liesack Werner, Völker Horst, Wehmeyer Uta and Thomm Michael. 2001.** *Hydrogenophilus hirschii* sp. nov., a novel thermophilic hydrogen-oxidizing β -proteobacterium isolated from Yellowstone National Park. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51, 481–488.
- Svetlitschnyi Vitalii, Rainey Fred, and Wiegel Juergen. 1996.** *Themosyntropha lipolytica* gen. nov., sp. nov., a Lipolytic, Anaerobic, Alkalitolerant, Thermophilic Bacterium Utilizing Short- and Long-Chain Fatty Acids in Syntrophic Coculture with a Methanogenic Archaeum. *International Journal of Systematic Bacteriology*, Vol. 46, No. 10.
- Takahata Yoh, Nishijima Miyuki, Hoaki Toshihiro and Maruyama Tadashi. 2001.** *Thermotoga petrophila* sp. nov. and *Thermotoga naphthophila* sp. nov., two hyperthermophilic bacteria from the Kubiki oil reservoir in Niigata, Japan. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51, 1901–1909.
- Takai Ken, Inoue Akira and Horikoshi Koki. 1999.** *Thermaerobacter marianensis* gen. nov., sp. nov., an aerobic extremely thermophilic marine bacterium from the 11 000 m deep Mariana Trench. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 49, 619–623. Great Britain.

- Takai Ken, Inoue Akira and Horikoshi Koki. 2002.** *Methanothermococcus okinawensis* sp. nov., a thermophilic, methane-producing archaeon isolated from a Western Pacific deep-sea hydrothermal vent system. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52, 1089-1095.
- Takai Ken, Kobayashi Hideki, Neilson Kenneth H. and Horikoshi Koki. 2003.** *Sulfurihydrogenibium subterraneum* gen. nov., sp. nov., from a subsurface hot aquifer. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53, 823-827.
- Takai Ken, Komatsu Tetsushi and Horikoshi Koki. 2001.** *Hydrogenobacter subterraneus* sp. nov., an extremely thermophilic, heterotrophic bacterium unable to grow on hydrogen gas, from deep subsurface geothermal water. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51, 1425-1435.
- Takai Ken, Miyazaki Masayuki, Nunoura Takuro, Hirayama Hisako, Oida Hanako, Furushima Yasuo, Yamamoto Hiroyuki and Horikoshi Koki. 2006.** *Sulfurivirga caldicuralii* gen. nov., sp. nov., a novel microaerobic, thermophilic, thiosulfate-oxidizing chemolithoautotroph, isolated from a shallow marine hydrothermal system occurring in a coral reef, Japan. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56, 1921-1929.
- Takai Ken, Nakagawa Satoshi, Sako Yoshihiko and Horikoshi Koki. 2003.** *Balnearium lithotrophicum* gen. nov., sp. nov., a novel thermophilic, strictly anaerobic, hydrogenoxidizing chemolithoautotroph isolated from a black smoker chimney in the Suiyo Seamount hydrothermal system. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53, 1947-1954.
- Takai Ken, Neilson Ken H. and Horikoshi Koki. 2004.** *Methanotorris formicicus* sp. nov., a novel extremely thermophilic, methane-producing archaeon isolated from a black smoker chimney in the Central Indian Ridge. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 1095-1100.
- Takai Ken, Sugai T Akihiko, Itoh Toshihiro and Horikoshi Koki. 2000.** *Palaeococcus ferrophilus* gen. nov., sp. nov., a barophilic, hyperthermophilic archaeon from a deep-sea hydrothermal vent chimney. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 50, 489-500. Great Britain.
- Takayanagi Shinnosuke, Kawasaki Hiroko, Sugimori Kenji, Yamada Takeshi, Sugai Akihiko, Ito Toshihiro, Yamasato Kazuhide, and Shioda Masaki. 1996.** *Sulfolobus hakonensis* sp. nov., a Novel Species of Acidothermophilic Archaeon. *International Journal of Systematic Bacteriology*, Vol. 46, No. 2.
- Tanaka Reiji, Kawaichi Satoshi, Nishimura Hiroshi and Sako Yoshihiko. 2006.** *Thermaerobacter litoralis* sp. nov., a strictly aerobic and thermophilic bacterium isolated from a coastal hydrothermal field. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56, 1531-1534.
- Trivedi P. C., Pandey Sonali, Bhaduria Seema. 2010.** Text Book of MICROBIOLOGY. Aavishkar Publishers, Distributors, India. ISBN 978-81-7910-306-7. 30p.
- Urios Laurent, Cuff-Gauchard Valérie, Pignet Patricia, Postec Anne, Fardeau Marie-Laure, Ollivier Bernard and Barbier Georges. 2004.** *Thermosipho atlanticus* sp. nov., a novel member of the *Thermotogales* isolated from a Mid-Atlantic Ridge hydrothermal vent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 1953-1957.
- Vetriani Costantino, Speck Mark D., Ellor Susan V., Lutz Richard A. and Starovoytov Valentin. 2004.** *Thermovibrio ammonificans* sp. nov., a thermophilic, chemolithotrophic, nitrate-

- ammonifying bacterium from deep-sea hydrothermal vents. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 175–181.
- Vieille Claire and Zeikus Gregory J. 2001.** Hyperthermophilic Enzymes: Sources, Uses, and Molecular Mechanisms for Thermostability. *MICROBIOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY REVIEWS*, Vol. 65, No. 1
- Voet Danald and Voet Judith G. 2005.** *Biochimie*. 2^e édition, de boeck. ISBN: 2-8041-4795-9. 265p.
- Vöölkl Paul, Huber Robert, Drobner Elisabeth, Rachel Reinhard, Burggraf Siegfried, Trincone Antonio, and Stetter Karl O. 1993.** *Pyrobaculum aerophilum* sp. nov., a Novel Nitrate-Reducing Hyperthermophilic Archaeum. *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, Sept. 1993, p. 2918-2926, Vol. 59, No. 9.
- Voordeckers James W., Starovoytov Valentin and Vetriani Costantino. 2005.** *Caminibacter mediatlanticus* sp. nov., a thermophilic, chemolithoautotrophic, nitrate-ammonifying bacterium isolated from a deep-sea hydrothermal vent on the Mid-Atlantic Ridge. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55, 773-779.
- Wery Nathalie, Lesongeur Françoise, Pignet Patricia, Derennes Véronique, Cambon-Bonavita Marie-Anne, Godfroy Anne and Barbier Georges. 2001.** *Marinitoga camini* gen. nov., sp. nov., a rod-shaped bacterium belonging to the order *Thermotogales*, isolated from a deep-sea hydrothermal vent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51, 495-504.
- Wery Nathalie, Moricet Jean-Marc, Cueff Valérie, Jean Joëlle, Pignet Patricia, Lesongeur Françoise, Cambon-Bonavita Marie-Anne and Barbier Georges. 2001.** *Caloranaerobacter azorensis* gen. nov., sp. nov., an anaerobic thermophilic bacterium isolated from a deep-sea hydrothermal vent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51, 1789-1796
- Wiege J., Canganella F. 2001.** Extreme Thermophiles in; *Encyclopedia of life sciences*. Wiley Ed. 12P.
- Zeikus J. G. and Wolfe R. S. 1972.** *Methanobacterium thermoautotrophicus* sp. n., an Anaerobic, Autotrophic, Extreme Thermophile. *Journal of Bacteriology*, Vol. 109, No. 2. Shimshon Belkin, Carl O. Wirsén, and Holger W. Jannasch. A New Sulfur-Reducing, Extremely Thermophilic Eubacterium from a Submarine Thermal Vent. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 51, No. 6.
- Zhang Xin-Qi, Ying Yi, Ye Ying, Xu Xue-Wei, Zhu Xu-Fen and Wu Min. 2010.** *Thermus arciformis* sp. nov., a thermophilic species from a geothermal area. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60, 834–839.
- Zillig Wolfram, Holz Ingelore, Janekovic Davorin, Klenk Hans-Peter, Imsel Erwin, Trent Jonathan, Wunderl Simon, Forjaz Victor Hugo, Coutinho Rui, and Ferreira Teresa. 1990.** *Hyperthermus butylicus*, a Hyperthermophilic Sulfur-Reducing Archaeobacterium That Ferments Peptides. *Journal of Bacteriology*, Vol. 172, No. 7.
- Zillig Wolfram, Holz Ingelore, and Wunderl Simon. 1991.** *Hyperthermus butylicus* gen. nov. sp. nov. a Hyperthermophilic, Anaerobic, Peptide-Fermenting, Facultatively H₂S-Generating Archaeobacterium. *International Journal of Systematic Bacteriology*, Vol. 41, No. 1.

Annexes

Tableau A. Critères liées aux espèces thermophiles et leurs biotopes

No	Critères liées au micro-organisme														Critères liées au biotope			Référence
	Souche	G+C (mol %)	Morphologie	Type réperatoire	Type trophique	pH min	pH opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt	Temp min	Temp max	Préssion (kpa)	NaCL (g/l)	Type, nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
1	Kam940T	37	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	4.5	5.5	7.5		65-70	55	85			source chaude de la caldeira de Uzon, péninsule de Kamchatka.	75-80	6.3-6.5	Perevalova et all 2010.
2	IH1T	33.5	sphériques irrégulier	anaérobie strict	autotrophe	4.5	6	8.5	972	60-65	40	75	300	15-30	cheminée hydrothermale profonde, le champ de Iheya, fosse d'Okinawa, Japon.			Takai et all 2002.
3	TH2	45	sphériques	aérobie	autotrophe facultative	1	2	4.5		75	50	80			champ solfatéque, Italie.			Huber et all 1989.
4	Kra-23	38	sphériques irrégulier	aerobie	autotrophe	1	3	4.5		65	50	75		0	continentaux champs solfatariques en Islande.	55-100	1.5-5	Huber et Stetter 1991.
5	11B	60.7	bâtonnets	aérobie	hétérotrophe	3.5	5	7		55	37	65		10	source chaude acide, Parc National de Yellowstone, Etats-Unis d'Amérique.	45-65	4-5.5	Mohagheghi et all 1986.
6	CsHg2T	62	bâtonnets	aérobie	hétérotrophe	2	4	6		55	35	65		20	un des sources chaudes de Coso , dans le désert de Mojave, Californie, Etats-Unis d'Amérique.	78	1.7	Simbahan et all 2004.
7	R Weit2T	44	bâtonnets	anaérobie strict	hétérotrophe	5.5	7	8.6	1.524	55	28	60		10	fluide de production d'un réservoir de pétrole	52		Rees et all 1997.
8	LBS3T	30.9	bâtonnets	anaérobie strict	hétérotrophe	6	9.5	11		50-55	30	65		10	entrée du lac chaud, lac Bogoria, Kenya.	50-80	9 to 10	Prowe et all 2001.
9	L420-91T	46.7	bâtonnets	aérobie strict	hétérotrophe	7	8	8.5		50-55	40	60		30	Usine de sucre de betterave, Autriche	60		Meier-Staufffer et all 1996.
10	N2-680T	70.1	bâtonnets	aérobie strict	hétérotrophe	6	7	9		47	25	57		30	boues de traitement des eaux usées.	60		M. Manaia et all 2003.
11	LF13T	42.5	bâtonnets	anaérobie strict	hétérotrophe	5.8	6.8	7.8	3000	60	37	75		25	cheminée hydrothermale, la dorsale médio-Atlantique.			L. Miroshnichenko et all 2003.
12	MV1087T	27	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5.5	7	9	1650	65	45	65		20	cheminée hydrothermale, la dorsale médio-Atlantique.			Wery et all 2001.
13	TB-2T	25.6	petits bâtonnets	anaérobie	autotrophe	4.5	5.5	7.5	2305	55	45	70	200	30	cheminée hydrothermal active, la dorsale médio-Atlantique.			W. Voordeckers et all 2005.

Tableau A. Critères liées aux espèces thermophiles et leurs biotopes

No	Critères liées au micro-organisme														Critères liées au biotope			Référence
	Souche	G+C (mol %)	Morphologie	Type réperatoire	Type trophique	pH min	pH opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt	Temp min	Temp max	Préssion (kpa)	NaCL (g/l)	Type, nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
14	JMT	33	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5.8	6.8	7.6	1395	70	50	80	100-160	20.5	évent sous-marin chaud, fosse d'Okinawa.	110-130		G. Sokolova et all 2001.
15	41T	46	petits bâtonnets	anaérobie	autotrophe	6.5	7	7.6		58	40	68	101.32		évent chaud terrestre, la péninsule du Kamchatka, Russie	60	8.6	G. Sokolova et all 2002.
16	3RT	43	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	4.3	7	8.3		55	35	65			boues de traitement des eaux usées, Montevideo, Uruguay.			Etchebehere et all 1998.
17	JRT	30.8	petits bâtonnets	anaérobie	autotrophe	6	6.5	7.2	2400	60	45	65		30	échantillons hydrothermaux, la dorsale médio-Atlantique.			Miroshnichenko et all 2003.
18	SL50T	28.7	bâtonnets	anaérobie	autotrophe	5	6.5	7.5	4100	60	25	75		25	échantillons hydrothermaux, le champ Ashadze, la dorsale médio-Atlantique.			Slobodkina et all 2009.
19	RL50JIIT	54.4	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	6.4	7.2	7.8		61-66	50	72		0-1	mine souterraine, dans une zone géothermique actif, Japon.	70-80		Kaksonen et all 2006.
20	RL80JIVT	60.1	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	6.4	6.8	7.9		69-72	61	80		0	mine souterraine, dans une zone géothermique actif, Japon.	70-80		Kaksonen et all 2007.
21	RA50E1T	53.5	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	6.4	7	7.9		59-61	40	67		0	réacteur à lit fluidisé de traitement des eaux acide contenant du méthal et du sulfate.			Kaksonen et all 2007.
22	SL17T	42	bâtonnets	anaérobie strict	autotrophe	5.5	6	7.5	2600	75	55	85	200	30	cheminée hydrothermales, Est Pacifique.			L'Haridon et all 2006.
23	SL22T	41	bâtonnets	anaérobie strict	autotrophe	5	6	7.5	3500	70-75	50	80	200	30	cheminée hydrothermale, la dorsale médio-Atlantique.			L'Haridon et all 2006.
24	SL19T	46	sphériques	anaérobie strict	autotrophe	5.5	6	7.5	2000	75-80	50	88	200	30	cheminée hydrothermale profonde, bassin de Guaymas.			L'Haridon et all 2006.
25	BSAT	35	bâtonnets	anaérobie	autotrophe	4.4	6	7.5	3500	70	40	75	200	35	cheminée hydrothermale, la dorsale médio-Atlantique.			L'Haridon et all 1998.

Tableau A. Critères liées aux espèces thermophiles et leurs biotopes

No	Critères liées au micro-organisme														Critères liées au biotope			Référence
	Souche	G+C (mol %)	Morphologie	Type réperatoire	Type trophique	pH min	pH opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt	Temp min	Temp max	Préssion (kpa)	NaCL (g/l)	Type, nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
26	RASENT	27.1	hélicoïdale	anaérobie	hétérotrophe	6	7	7.5	982	50	37	60		25-30	cheminée hydrothermale profonde, le champ de Iheya, fosse d'Okinawa, Japon.			Imachi et all 2008.
27	AB39	35	bâtonnets	anaérobie strict	hétérotrophe	6	7	8	100	65-68	40	75		1	aquifère chaud, grand bassin artésien, Australie.	31-88		Andrews et Patel 1996.
28	Red1T	52.5	bâtonnets	anaérobie strict	hétérotrophe	6	7	9	1540	40	30	50		20	l'eau de production de champ pétrolifère Redwash, Etats-Unis d'Amérique.	52	7.9	Greene et all 2009.
29	SS015	62.6	bâtonnets	anaérobie strict	hétérotrophe	5	6	7.8	2500	55	35	65		19	l'évent hydrothermal Bag City, Axial Seamount, axe de la dorsale de Juan de Fuca.	60		Kachefi et all 2003.
30	H168	39.6	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5.5	6.5	8.2	0.6	60	45	68		100	Chott El Guettar, lac salé, Tunisie.			Cayol et all 1994.
31	Yel5aT	61	bâtonnets	microaerophile	autotrophe facultative	5.5	6.5	8		63	50	68	300	10	la source chaude Angel, le parc nationale de Yellowstone, Etats-Unis d'Amérique.	69.3	6.5	Stöhr et all 2001.
32	TBF 19.5.1T	42.5	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5.5	6.8	8		65	20	80		25-30	fluide de production, Troll B plateforme pétrolière, mer du Nord.	68	6	Dipippo et 2009.
33	T1T	68.6	bâtonnets	aérobie strict	hétérotrophe	6.3	7	7.8	1385	67.5	50	73		30	cheminée hydrothermale, Suiyo Seamount, Arc Izu-Bonin, Japon.			Sako et all 2003.
34	MV1075T	29	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5	7	9		55	25	65	101.23	20	cheminée hydrothermale, la dorsale médio-Atlantique.			Wery et all 2001.
35	AT1271	28	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	4.5	6	8.5	2275	60	35	65	101.23	30-40	cheminée hydrothermale, le champ Rainbow, la dorsale médio-Atlantique.			Postec et all 2005.
36	KA3T	29	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5	6	8	2630	65	45	70	40000	30	cheminée hydrothermale, dorsale Est-Pacifique.			Alain et all 2002.
37	WR-30T	61.9	bâtonnets	aérobie	hétérotrophe	6.2	8			55	40	70			la source chaude Wu-rai, Taiwan.			Chen et all 2002.

Tableau A. Critères liées aux espèces thermophiles et leurs biotopes

No	Critères liées au micro-organisme														Critères liées au biotope			Référence
	Souche	G+C (mol %)	Morphologie	Type réperatoire	Type trophique	pH min	pH opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt	Temp min	Temp max	Préssion (kpa)	NaCL (g/l)	Type, nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
38	SPS-243T	65.1	bâtonnets	aérobie	hétérotrophe	7	7.5	8		55-60					source chaude, São Pedro do Sul, Portugal.			Pires et all 2005.
39	St55BT	71.1	bâtonnets	anaérobie facultative	hétérotrophe	6	6.5	8	1390	60	30	65		30	cheminée de sulfure dans la champ hydrothermal de Suiyo Seamount, Arc Izu-Bonin, Pacifique occidental.			Mori et all 2004.
40	506T	62.9	bâtonnets	microaerophile	hétérotrophe facultative	5.5	7.5	8.4	2600	60	40	68		30	cheminée hydrothermale, dorsale Est-Pacifique.			Miroshnichenko et all 2003.
41	29WT	37.3	sphériques	microaerophile	autotrophe	5.5	7.2	7.6	1385	70	50	73	300	25	cheminée hydrothermal, Suiyo Seamount, Izu-Bonin Arc, Japon.			Nakagawa et all 2003.
42	EX-H1T	38.5	bâtonnets	microaerophile	autotrophe	4.7	6	7.5	2705	73	55	80	138	25	cheminée hydrothermale, dorsale Est-Pacifique.			Götz et all 2002.
43	EX-H2T	37.4	bâtonnets	microaerophile	autotrophe	4.7	6	7.5	2000	70	55	75	138	25	cheminée hydrothermale, le bassin Guaymas, Mixique.			Götz et all 2002.
44	SJ95T	31	bâtonnets	anaérobie strict	hétérotrophe	5.5	6.7	8.5		58-60	40	65		30-40	eau chaude de gisement de petrole, reservoir de petrol de mer du Nord.	70	7.8	Lien et all 1998.
45	SL24T	35	bâtonnets	anaérobie strict	hétérotrophe	6.5	7.5	8.5	1700-2500	55	37	60	100	20	gisement de petrole profond, continental en Sibirie occidentale, Russie.			L'Haridon et all 2002.
46	SL25T	33	bâtonnets	anaérobie strict	hétérotrophe	6.5	8	9.4	1700-2500	55	37	55	100	10	gisement de petrole profond, continental en Sibirie occidentale, Russie.			L'Haridon et all 2002.
47	ALC-2	66.2	bâtonnets	aérobie	hétérotrophe	6	7.5	9		50				23.4	la source chaude Alcafache, Purtugal.			Rainey et all 2003.
48	LS-293T	68.5	pléomorphe (bâtonnets/ sphériques)	aérobie	hétérotrophe	6	8	11		60	30	70		50	la source chaude Lu-shan, Taiwan.			Chen et all 2004.
49	HGMK1T	31.3	bâtonnets Légèrement incurvées	anaérobie facultative	autotrophe	6.4	7.5	8.8		60-65	40	70			l'eau de l'aquifère souterrain chaud, Japon.	70.4	6.25	Takai et all 2003.

Tableau A. Critères liées aux espèces thermophiles et leurs biotopes

No	Critères liées au micro-organisme														Critères liées au biotope			Référence
	Souche	G+C (mol %)	Morphologie	Type réperatoire	Type trophique	pH min	pH opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt	Temp min	Temp max	Préssion (kpa)	NaCL (g/l)	Type, nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
50	MM1T	49.5	bâtonnets légèrement incurvés	microaerophile	autotrophe	5.5	6	7.1	22	50-55	30	60		20	shallow marine hydrothermal system, Taketomi Island, Japan.	51.9	6.56	Takai et all 2006.
51	Rt8.B1T	35.6	bâtonnets	anaérobie stricte	hétérotrophe	5.5	6.8	7.2		65-68	38	78			l'eau chauffée par géothermie, Jardins du gouvernement Rotorua, Nouvelle-Zélande.	56-69	8.3-9.1	Cook et all 1996.
52	JW/VS-265T	44	bâtonnets Légèrement incurvés	anaérobie	hétérotrophe	7.2	8.1	9.5		60-66	52	70		5	source chaude alcaline, Lac Bogoria, Kenya.			Svetlitsnyi et all 1996.
53	KW1T	70.8	bâtonnets	aerobie stricte	hétérotrophe	5	7	8		70	52	78	101,23	10	champ hydrothermal côtière, péninsule de Satsuma, préfecture de Kagoshima, Japon.	90-95		Tanaka et all 2006.
54	C21T	71	bâtonnets	aerobie stricte	hétérotrophe	6	8.5	10	1613	70	50	80		0	canal d'écoulement de New Lorne Bore, Queensland, Australie.	99		Spanevello et all 2002.
55	2SM-2T	36.4	sphériques irrégulier	anaérobie stricte	hétérotrophe	6	7	8		65	45	75	150	15	champ pétrolier Shengli, Chine.	75-80		Feng et all 2010.
56	AT1325T	45.6	bâtonnets	anaérobie stricte	autotrophique	5.5	6.5	8	2275	65-70	55	75	200	25	évent hydrothermal, le site Rainbow, la dorsale médio-Atlantique.			Alain et all 2010.
57	NR-27T	50.9	filamenteuses	aerobie	hétérotrophe		7			60				10 to 30	source d'eau chaude salé le long de la baie de Naples, Italie.	62.5-66.2	7-Jan	Tenreiro et all 1997.
58	Nor1T	51.7	bâtonnets incurvés	anaérobie	hétérotrophe	6.5	6.8	7.6		60	40	68	100		source chaude, le bassin Norris, Parc national de Yellowstone, Etats-Unis d'Amerique.	50	7.5	Sokolova et all 2004.
59	DV1140T	33	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5	6	9	800-1000	65	45	80		30	évent hydrothermal, Menez-Gwen, Dorsale médio-Atlantique.			Urios et all 2004.
60	AB170S6T	44.2	bâtonnets	anaérobie stricte	autotrophe	5	5.5	7.5		70	55	78	200	30	champ hydrothermal profond, Yonguni Knoll IV, sud d'Okinawa. Japon.			Nunoura et all 2008.

Tableau A. Critères liées aux espèces thermophiles et leurs biotopes

No	Critères liées au micro-organisme														Critères liées au biotope			Référence
	Souche	G+C (mol %)	Morphologie	Type réperatoire	Type trophique	pH min	pH opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt	Temp min	Temp max	Préssion (kpa)	NaCL (g/l)	Type, nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
61	SEBR 6459T	39.6	bâtonnets	anaérobie stricte	hétérotrophe	5.5	7.5	8.5		66	50	72		10	puit de pétrole Africains.	68		Ravot et all 1995.
62	SEBR 7054T	50	bâtonnets	anaérobie stricte	hétérotrophe	6.1	7	9.1		70	56	90		0-2	puit de pétrole Africains.	66		Fardeau et all 1997.
63	HB-1T	54.6	bâtonnets	anaérobie	autotrophe	5	5.5	7	2500	75	60	80	200	20	cheminée hydrothermale, dorsale Est-Pacifique.			Vetriani et all 2004.
64	TH92T	68.3	bâtonnets	aerobie	hétérotrophe	6	7.5	9.5		70	40	77		0	source chaude, Laibin, Guagxi, au sud-est de la zone géothermique de la Chine.	55-70	5-10.5	Zhang et all 2010.
65	BDA453T	66	petits bâtonnets	aerobie	autotrophe stricte	6	6.5	9		45	20	51		0	source chaude, Akayu, Préfecture de Fukushima, Japon.	45	7	Mori et Suzuki et all 2008.
66	CP.B2T	29.3	bâtonnets	microaerophile	autotrophe	4.8	5.4	5.8		70	45	75	170	4	source chaude, Waiotapu, Nouvelle-Zélande.			Hetzer et all 2008.
67	Az-Fu1	33.6	bâtonnets	microaerophile	autotrophe	5.5	6	7		68	50	73		1	source chaude, Furnas, l'île de São Miguel, Açores, Portugal.	65-70	5.9-7	Aguiar et all 2004
68	16628T	28.1	bâtonnets	aerobie	hétérotrophe	5.3	6.6	7.8		68	40	73	145	0-5	source chaude, près de la ville de Hveragerdi, Islande.	68	6	Flores et all 2008.
69	CIR29812T	46	bâtonnets	anaérobie	autotrophe	6	6.3	6.7	2420	70	55	80	138	25	fumeur noir, champ d'événements Kairei, dorsale centrale Indienne.			Moussard et all 2004.
70	ToBET	49.6	bâtonnets	anaérobie stricte	hétérotrophe	5.5	6.5	8.5	550	70	55	73		0	aquifère géothermique, Toyoho Mines, Hokkaido, Japon.	71	5.8	Mori et all 2002.
71	CR11T	40.3	bâtonnets	microaerophile	autotrophe	4.8	5.9	7.8		75	65	85		0-4	source chaude, contreforts sud-ouest du volcan Rincón, Costa Rica.	93	7	Caldwell et all 2010.
72	SL6T	28	bâtonnets	anaérobie stricte	autotrophe	6.3	6.5	6.8	2000	75	50	80	200	30	événements sulfures hydrothermal sous-marine, bassin de Guaymas.			Jeanthon et all 2002.

Tableau A. Critères liées aux espèces thermophiles et leurs biotopes

No	Critères liées au micro-organisme														Critères liées au biotope			Référence
	Souche	G+C (mol %)	Morphologie	Type réperatoire	Type trophique	pH min	pH opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt	Temp min	Temp max	Préssion (kpa)	NaCL (g/l)	Type, nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
73	CTT3T	33	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5.5	7	8.8		65	45	70		50	canal d'un marais salant solaire, près de Berre Lagoon, sud de la France.			Cayol et all 2000.
74	SL31T	30	bâtonnets	anaérobie stricte	hétérotrophe	6	7.5	9.4		70	45	75	100	20-30	continental réservoir de pétrole, Wastern Sibérie, Russie.	45-84	5.5-7.5	L 'Haridon et all 2001.
75	TMOT	39.2	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	6	7	8.5		65	50	75		10	bioréacteur sulfato-réductrices thermique.	65		Balk et all 2002.
76	TRT	68.4	bâtonnets	microaerophile	hétérotrophe facultative	5.5	6.7	8.4		70	37	80		30	chimenée hydrothermale, champ de Rainbow, dorsale médio-atlantique.			Miroshnichenko et all 2003.
77	B1429T	30.5	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	4.5	6.5	8.5	1832	70	50	75	101.32	30	chimenée hydrothermale, sud-ouest de l'océan Pacifique.			Antoine et all 1997.

Tableau A.1. Classification des espèces thermophiles

Classification des espèces thermophile				
Nº	Domaine	Ordre	Genre	Espèce
1	Archaea	<i>Fervidococcales</i>	<i>Fervidococcus</i>	<i>F.fontis</i>
2	Archaea	<i>Methanococcales</i>	<i>Methanothermococcus</i>	<i>M.okinawensis</i>
3	Archaea	<i>Sulfolobales</i>	<i>Metallosphaera</i>	<i>M.sedula</i>
4	Archaea	<i>Sulfolobales</i>	<i>Sulfolobus</i>	<i>S.metallicus</i>
5	Bacteria	<i>Actinomycetales</i>	<i>Acidothermus</i>	<i>A.cellulolyticus</i>
6	Bacteria	<i>Bacillales</i>	<i>Alicyclobacillus</i>	<i>A.vulcanalis</i>
7	Bacteria	<i>Synergistales</i>	<i>Anaerobaculum</i>	<i>A.thermoterrenum</i>
8	Bacteria	<i>Clostridiales</i>	<i>Anaerobranca</i>	<i>A.gottschalkii</i>
9	Bacteria	<i>Bacillales</i>	<i>Bacillus</i>	<i>B.thermoaerophilus</i>
10	Bacteria	<i>Burkholderiales</i>	<i>Caenibacterium</i>	<i>C.thermophilum</i>
11	Bacteria	<i>Defferribacterales</i>	<i>Caldithrix</i>	<i>C.abysyi</i>
12	Bacteria	<i>Clostridiales</i>	<i>Caloranaerobacter</i>	<i>C.azorensis</i>
13	Bacteria	<i>Nautiliales</i>	<i>Caminiabacter</i>	<i>C.mediatlanticus</i>
14	Bacteria	<i>Thermoanaerobacterales</i>	<i>Carboxydobrachium</i>	<i>C.pacificum</i>
15	Bacteria	<i>Clostridiales</i>	<i>Carboxydocella</i>	<i>C.thermautotrophica</i>
16	Bacteria	<i>Thermoanaerobacterales</i>	<i>Coprothermobacter</i>	<i>C.platensis</i>
17	Bacteria	<i>Defferribacterales</i>	<i>Deferribacter</i>	<i>D.abysyi</i>
18	Bacteria	<i>Defferribacterales</i>	<i>Deferribacter</i>	<i>D.autotrophicus</i>
19	Bacteria	<i>Clostridiales</i>	<i>Desulfotomaculum</i>	<i>D.thermosubterraneum</i>
20	Bacteria	<i>Thermoanaerobacterales</i>	<i>Desulfovirgula</i>	<i>D.thermocuniculi</i>
21	Bacteria	<i>Clostridiales</i>	<i>Desulfurispora</i>	<i>D.thermophila</i>
22	Bacteria	<i>Aquificales</i>	<i>Desulfurobacterium</i>	<i>D.pacificum</i>
23	Bacteria	<i>Aquificales</i>	<i>Desulfurobacterium</i>	<i>D.atlanticum</i>
24	Bacteria	<i>Aquificales</i>	<i>Thermovibrio</i>	<i>T.guaymasensis</i>
25	Bacteria	<i>Aquificales</i>	<i>Desulfurobacterium</i>	<i>D.thermolithotrophum</i>
26	Bacteria	<i>Spirochaetales</i>	<i>Exilispira</i>	<i>E.thermophila</i>
27	Bacteria	<i>Thermotogales</i>	<i>Fervidobacterium</i>	<i>F.gondwunense</i>
28	Bacteria	<i>Desulfuromonadales</i>	<i>Geoalkalibacter</i>	<i>G.subterraneus</i>
29	Bacteria	<i>Desulfuromonadales</i>	<i>Geothermobacter</i>	<i>G.ehrlichii</i>
30	Bacteria	<i>Halanaerobiales</i>	<i>Halothemotrix</i>	<i>H.orenii</i>
31	Bacteria	<i>Hydrogenophilales</i>	<i>Hydrogenophilus</i>	<i>H.hirschii</i>
32	Bacteria	<i>Thermotogales</i>	<i>Kosmotoga</i>	<i>K.olearia</i>
33	Bacteria	<i>Thermales</i>	<i>Marinithermus</i>	<i>M.hydrothermalis</i>
34	Bacteria	<i>Thermotogales</i>	<i>Marinitoga</i>	<i>M.camini</i>
35	Bacteria	<i>Thermotogales</i>	<i>Marinitoga</i>	<i>M.hydrogenitolerans</i>
36	Bacteria	<i>Thermotogales</i>	<i>Marinitoga</i>	<i>M.piezophila</i>
37	Bacteria	<i>Thermales</i>	<i>Meiothermus</i>	<i>M.taiwanensis</i>
38	Bacteria	<i>Thermales</i>	<i>Meiothermus</i>	<i>M.timidus</i>
39	Bacteria	<i>Thermales</i>	<i>Oceanithermus</i>	<i>O.desulfurans</i>
40	Bacteria	<i>Thermales</i>	<i>Oceanithermus</i>	<i>O.profundus</i>
41	Bacteria	<i>Aquificales</i>	<i>Persephonella</i>	<i>P.hydrogeniphila</i>
42	Bacteria	<i>Aquificales</i>	<i>Persephonella</i>	<i>P.marina</i>
43	Bacteria	<i>Aquificales</i>	<i>Persephonella</i>	<i>P.guaymasensis</i>
44	Bacteria	<i>Thermotogales</i>	<i>Petrotoga</i>	<i>P.mobilis</i>
45	Bacteria	<i>Thermotogales</i>	<i>Petrotoga</i>	<i>P.olearia</i>
46	Bacteria	<i>Thermotogales</i>	<i>Petrotoga</i>	<i>P.sibirica</i>

Tableau A.1. Classification des espèces thermophiles

Classification des espèces thermophile				
Nº	Domaine	Ordre	Genre	Espèce
47	<i>Bacteria</i>	<i>Sphingomonadales</i>	<i>Porphyrobacter</i>	<i>P.cryptus</i>
48	<i>Bacteria</i>	<i>Rubrobacterales</i>	<i>Rubrobacter</i>	<i>R.taiwanensis</i>
49	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificales</i>	<i>Sulfurihydrogenibium</i>	<i>S.subterraneum</i>
50	<i>Bacteria</i>	<i>Thiotrichales</i>	<i>Sulfurivirga</i>	<i>S.caldicuralii</i>
51	<i>Bacteria</i>	<i>Thermoanaerobacterales</i>	<i>Thermoanaerobacter</i>	<i>T.wiegeli</i>
52	<i>Bacteria</i>	<i>Clostridiales</i>	<i>Thermosyntropha</i>	<i>T.lipolytica</i>
53	<i>Bacteria</i>	<i>Clostridiales</i>	<i>Thermaerobacter</i>	<i>T.litoralis</i>
54	<i>Bacteria</i>	<i>Clostridiales</i>	<i>Thermaerobacter</i>	<i>T.subterraneus</i>
55	<i>Bacteria</i>	<i>Thermotogales</i>	<i>Thermococcoides</i>	<i>T.shengliensis</i>
56	<i>Bacteria</i>	<i>Thermodesulfobacterales</i>	<i>Thermodesulfatator</i>	<i>T.atlanticus</i>
57	<i>Bacteria</i>	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Thermonema</i>	<i>T.rossianum</i>
58	<i>Bacteria</i>	<i>Selenomonadales</i>	<i>Thermosinus</i>	<i>T.carboxydivorans</i>
59	<i>Bacteria</i>	<i>Thermotogales</i>	<i>Thermosipho</i>	<i>T.atlanticus</i>
60	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificales</i>	<i>Thermosulfidibacter</i>	<i>T.takaii</i>
61	<i>Bacteria</i>	<i>Thermotogales</i>	<i>Thermotoga</i>	<i>T.elfii</i>
62	<i>Bacteria</i>	<i>Thermotogales</i>	<i>Thermotoga</i>	<i>T.hypogea</i>
63	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificales</i>	<i>Thermovibrio</i>	<i>T.ammonificans</i>
64	<i>Bacteria</i>	<i>Thermales</i>	<i>Thermus</i>	<i>T.arciformis</i>
65	<i>Bacteria</i>	<i>Chromatiales</i>	<i>Thiofaba</i>	<i>T.tepidiphila</i>
66	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificales</i>	<i>Venenivibrio</i>	<i>V.stagnispumantis</i>
67	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificales</i>	<i>Sulfurihydrogenibium</i>	<i>S.azorense</i>
68	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificales</i>	<i>Sulfurihydrogenibium</i>	<i>S.kristjanssonii</i>
69	<i>Bacteria</i>	<i>Thermodesulfobacterales</i>	<i>Thermodesulfatator</i>	<i>T.indicus</i>
70	<i>Bacteria</i>	<i>Thermanaerobacterales</i>	<i>Thermanaeromonas</i>	<i>T.toyohensis</i>
71	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificales</i>	<i>Thermocrinis</i>	<i>T.minervae</i>
72	<i>Bacteria</i>	<i>Thermodesulfobacterales</i>	<i>Thermodesulfobacterium</i>	<i>T.hydrogeniphilum</i>
73	<i>Bacteria</i>	<i>Clostridiales</i>	<i>Thermohalobacter</i>	<i>T.berrensis</i>
74	<i>Bacteria</i>	<i>Thermotogales</i>	<i>Thermosipho</i>	<i>T.geolei</i>
75	<i>Bacteria</i>	<i>Thermotogales</i>	<i>Thermotoga</i>	<i>T.lettingae</i>
76	<i>Bacteria</i>	<i>Thermales</i>	<i>Vulcanithermus</i>	<i>V.mediatlanticus</i>
77	<i>Bacteria</i>	<i>Thermotogales</i>	<i>Themosipho</i>	<i>T.melanesiensis</i>

Tableau. A.1. Classification des espèces thermophiles

Cette table : Classification des espèces thermophile est liée à la table critères liés aux espèces thermophiles et leurs biotopes, les deux peuvent être fusionnées à une seule table.

Tableau B. Critères liées aux espèces hyperthermophiles et leurs biotopes.

No	Critères liés aux micro-organismes														Critères liées aux biotopes			Référence
	Souche	Contenu en GC (mol%)	Morphologie	Type respiratoire	Type trophique	pH min	ph opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt(°C)	Temp min(°C)	Temp max(°C)	pression(kpa)	NaCl(g/l)	Type , nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
1	MSB8	46	Bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5.5	6.5	9		80	55	90	300	6.93	les planchers océaniques chaudes, Vulcano, Italie, Açores.	70-100	6.5-7	Huber et all 1986.
2	NS-E	41.3	Bâtonnets	microaérophile	hétérotrophe	6	7.5	9	6	77	50	95	101.325	10	source chaude marin peut profond, Naples, Italie.			Belkin et all 1986, Suellen et all 2001.
3	RKU-1T	46.6	Bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5.2	7	9		80	47	88		20	réservoir de pétrole souterrain profond, Nigata, Japon.			Takahata et all 2001.
4	RKU-10T	46.1	Bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5.4	7	9		80	46	86		20	réservoir de pétrole souterrain profond, Nigata, Japon.			Takahata et all 2001.
5	7p75aT	72.5	Bâtonnets	aérobie strict	hétérotrophe	5.4	7.5	9.5	10897	75	50	80	5000	20	plancher océanique chaude, la fosse Mariana, océan Pacifique.			Takai et all 1999.
6	17ST	34.6	Bâtonnets	anaérobie strict	autotrophe	5	5.4	7		70 - 75	45	80	400	32	fumeur noir, SuiyoSeamount, Izu-Bonin Arc, Japon.			Takai et all 2003.
7	OC 1/4	47.8	Bâtonnets et filaments	aérobie	autotrophe	6.5	7	8.5	1.5	80	44	89	300	0.25	source chaude: Octopus, parc national de Yellowstone, USA.	82-88	8	Huber et all 1998.
8	ED11/3LLKT	46	Bâtonnets incurvées	anaérobie	autotrophe	5	6	6.5	6	75	50	80	200	27.7	système hydrothermal sous-marin, l'île de Lihir, Papousie Nouvelle-Guinée.	70-110		Huber H. et all 2002.
9	HGP1T	44.7	Bâtonnets	aérobie	hétérotrophe	5.5	7.5	9	1500	78	60	85	101	23	eau géothermique souterraine profond, le central géothermique de Hacchoubaru, Oita, Japon.	96		Takai et all 2001.

Tableau B. Critères liées aux espèces hyperthermophiles et leurs biotopes.

No	Critères liés aux micro-organismes														Critères liées aux biotopes			Référence
	Souche	Contenu en GC (mol%)	Morphologie	Type respiratoire	Type trophique	pH min	ph opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt(°C)	Temp min(°C)	Temp max(°C)	pression(kpa)	NaCl(g/l)	Type , nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
10	IBSK3T	49.2	bâtonnets et filaments	microaérophile	autotrophe	5.5	6.5	8.3		75	55	77.5	300	20	source chaude côtière, Ibusuki, Kagochima, Japon.	70		Nakagawa et all 2004.
11	LS12-2T	51.3	Bâtonnets	microaérophile	autotrophe	5.8	6.8-7.5	8.3	1328	70-75	65	85	200	25	champ hydrothermal profond et marin, à la Yonguni Knoll IV, le bassin d'Okinawa.			Nunoura et all 2008.
12	SS-5T	32	Bâtonnets	aérobie	hétérotrophe facultative	6	7.5	8		70	55	78	100	0	source chaude calcique, le parc national de Yellowstone, USA.			Nakagawa et all 2005.
13	DST	35.2	Bâtonnets	anaérobie strict	autotrophe facultative	6.8	7-7.2	7.4		75	52	82			source chaude: Treshchinnyi, Uzon Caldera, Kamchatka, Russie.	80	6.3	Miroshnicenko et all 2009.
14	ATCC BAA-426		Bâtonnets	anaérobie strict	autotrophe		6.8			85-90	65	100	101	0-5	la piscine: Pbsidian, le parc national de Yellowstone, Wyoming, USA.			Kashefi et all 2002.
15	OPF15T	30.5	Bâtonnets	anaérobie strict	autotrophe	6	7	8.5		83	60	90		0-4	la piscine: Pbsidian, le parc national de Yellowstone, Wyoming, USA.	110		Hamilton-Brehm et all 2013.
16	SRT	56.2	Bâtonnets	anaérobie strict	autotrophe facultative	6	6.8-7	7.5		75	60	82			Source chaude: Trishchinnyi, Uzon Caldera, Kamchatka, Russie.	80	6.3	Miroshnicenko et all 2008.
17	177R1BT	35	Bâtonnets	anaérobie strict	hétérotrophe	5.8	7	8		78	45	82			source chaude légèrement alcalin, Islande.			Bredhol et all 1999.
18	KB-1TP	37	Bâtonnets	anaérobie strict	hétérotrophe	4.5	6.5	9		75	50	85	101	2	flux chaud géothermique, Sileri, l'île de Java, Indonésie.	60-80	7-4	Kim et all 2001.
19	1904T	53.8	sphériques	anaérobie	hétérotrophe	2	3.8	6		85	60	92			source chaude acide, Kamchatka, Russie.			Prokofeva et all

Tableau B. Critères liées aux espèces hyperthermophiles et leurs biotopes.

No	Critères liés aux micro-organismes														Critères liées aux biotopes			Référence
	Souche	Contenu en GC (mol%)	Morphologie	Type respiratoire	Type trophique	pH min	ph opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt(°C)	Temp min(°C)	Temp max(°C)	pression(kpa)	NaCl(g/l)	Type , nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
																		2000.
20	345-15T	54.5	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	2.5	3.5-4	5.8		80-85	60	90			source chaude acide, Kamchatka, Russie.	85	3.5-4	Prokofeva et all 2009.
21	OKD7	66.6	Bâtonnets	aérobie	hétérotrophe	5.5	7	9	22	80	50	85		30	évent hydrothermal peut profond, Tachibana Bay, Nagasaki, Japon.	120-125		Sako et all 1996.
22	Z-1203	52	hélicoïdale	anaérobie	hétérotrophe	5.9	7.5	7.7		67	40	73		15	source chaude marine, la plage de Shiashkotan, l'île de Kouriles, Russie.			Aksenova et all 1992.
23	H01-1	46.2	sphériques	aérobie	autotrophe facultative	1	3	4		70	50	80			source chaude à une zone géothermique, Hakone, Japon.			Takayana gi et all 1996, et Kurosawa et all 2003.
24	YMIT	42	sphériques	aérobie	autotrophe facultative		2	4	6	80	65	95			évent géothermique, le parc national de Yang-Ming, nord de Taiwan.	105	2	Jan et all 1999.
25	TA-IT	33	sphériques	anaérobie facultative	hétérotrophe	1	2	5		84	63	92	200		Source chaude acide, Ohwaku Valley, Hakone, Japon.	70-80	3	Kurosawa et all 1998.
26	JP7T	31.1	Sphériques irrégulier	aérobie facultative	autotrophe facultative		0.35	0.8-1.4	3	74	45	83		5	source chaude solfatarique, l'île de Lihir, Papouasie Nouvelle-Guinée.			Plumb et all 2007.
27	FC6	38	Sphériques irrégulier	anaérobie	autotrophe	1	2,5	5,5		80	57	89	300		source chaude solfatarique, l'île de Sgo Miguel, Açores.			Segerer et all 1991.
28	GEO3	≈ 46	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe facultative	5	6	7		100	74	102	300	8	eau solfatarique et géothermique, Islande.			Huber et

Tableau B. Critères liées aux espèces hyperthermophiles et leurs biotopes.

No	Critères liés aux micro-organismes														Critères liées aux biotopes			Référence
	Souche	Contenu en GC (mol%)	Morphologie	Type respiratoire	Type trophique	pH min	ph opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt(°C)	Temp min(°C)	Temp max(°C)	pression(kpa)	NaCl(g/l)	Type , nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
																		all 1987.
29	H10	≈ 46	bâtonnets	anaérobie	hétérotrophe	5	6	7		102	78	102	300	5	eau solfatarique et géothermique, Islande, Italie, Açores.			Huber et all 1987.
30	IM2	52	bâtonnets	aérobie facultative	hétérotrophe facultative	5.8	7	9		100	74	104	300	15	zone de marée de la plage Maronti, Ischia, Italie.	97-102	5.5-6.5	Vökl et all 1993.
31	VA1	51	bâtonnets	aérobie facultative	hétérotrophe	5.5	7	8		90-95	75	100	100	0	Source chaude , Philippines.	45-85	1.8-3.2	Amo et all 2002.
32	TE7T	48	bâtonnets	aérobie facultative	hétérotrophe	5.4	6.3-7	7.4		90-94	70	97	200	0	source chade à Ogunicho, Préfecture de Kumamoto, Japon.			Sako et all 2001.
33	IC-167t	43	bâtonnets	microaérophile	hétérotrophe	2.3	3.7	5.9		85	60	92	100	7.5	source chaude, Mont Maquiling, Laguna, Philippines.	70-90	2.2-5.1	Itoh et all 1999.
34	IC-017T	45.4	Bâtonnets légèrement incurvées	anaérobie	hétérotrophe	3.5	4.5	5.6		85-90	70	92	100	10	Source chaude, Ohwakudani, Kanagawa, Japon.		2-2.5	Itoh et all 2002.
35	IC-059T	44.9	Bâtonnets légèrement incurvées	anaérobie	hétérotrophe	3.5	4.2	5		85-90	65	89	100	12.5	Source chaude, Sounzan, Kanagawa, Japon		3-3.2	Itoh et all 2002.
36	IC-125T	52	bâtonnets	anaérobie ou microaérophile	hétérotrophe	2.6	4	5.9		45	75	82	100	10	source chaude acides, Japon.	65-80	1.8-2.4	Itoh et all 1998.
37	Z-1312T	42.5	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	4.8	6	6.8		80-82	63	89			source chaude de Caldera Uzon, péninsule de Kamchatka, Russie.			Perevalova et all 2005.
38	1221nT	44.4	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	5.5	6.5	7.5		85	65	87			source chaude de Caldera Uzon, péninsule de Kamchatka, Russie.	81		Kublanov et all 2009.
39	P8T	38	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	hétérotrophe	4.5	6	7	9.4	85	70	90		40	sédiments de Palaeochori Bay, Milos, Grèce.	90-103		Arab et all 2000.

Tableau B. Critères liées aux espèces hyperthermophiles et leurs biotopes.

No	Critères liés aux micro-organismes														Critères liées aux biotopes			Référence
	Souche	Contenu en GC (mol%)	Morphologie	Type respiratoire	Type trophique	pH min	ph opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt(°C)	Temp min(°C)	Temp max(°C)	pression(kpa)	NaCl(g/l)	Type , nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
40	SY1T	54.4	sphériques	aérobie strict	hétérotrophe	6.5	8	8.8	1385	85	70	97	350	35	cheminée sous-marine hydrothermal, Suiyo Seamount, Izu-Bonin Arc, Japon.			Nakagawa et all 2004
41	K1	67	Sphériques irrégulier	aérobie	hétérotrophe	5	7	9		90 - 95	70	100	100	35	événement côtier solfatarique, l'île Kodakara-Jima, Japon.	0-200		Sako et all 1996.
42	AQ1.S1T	52.9	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	5.4	6.4	7		92 - 95	85	98		0	source chaude neutrale, le parc Kuirau, Rotorua, Nouvelle-Zélande.	90		Niederberger et all 2006.
43	KIN4/IT	56	Sphériques irrégulier	aérobie strict	autotrophe	4.5	5.5	7	106	90	73	98	250	14	système hydrothermal sous-marin, KolbeinseyRidge, nord de l'Islande.			Paper et all 2007
44	Kol8T	41	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	autotrophe	3.8	5.8	6.5	103-106	90	70	98	250	20	système hydrothermal sous-marin, KolbeinseyRidge, nord de l'Islande.	90		H.Huber et all 2000
45	LPC33T	45	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	autotrophe	4.5	6	7	2500	90	75	98	250	20	fumeur noir, l'océan Pacifique.	90		H.Huber et all 2000
46	MIITLT	46	sphériques	aérobie strict	hétérotrophe	5	6.5	7		85	65	90	300	7	source chaude solfatarique, la piscine 'Obsidian', le parc national de Yellowstone Wyoming, USA.			R.Huber et all 1998
47	DSM5456	56.5	Sphériques irrégulier	anaérobie	autotrophe		7		9-200	95 - 106	72	108		17	plancher marin solfatarique peut profond, sur la côte de l'île de São Miguel, Açores.	112		Zillig et all 1990. Zillig et all 1991.
48	1A	53	sphériques	aérobie facultative	autotrophe	4	5.5	6.5	3650	106	90	113	25000		fumeur noir, le site TAG, la dorsale médio-Atlantique.			Blöchl et all 1997.
49	TS2T	54.6	Sphériques irrégulier	anaérobie	hétérotrophe	5.6	7	8.3	1380	80	50	85		30	événement hydrothermal à Suiyo Seamount, Izu-Bonin Arc, ouest de			Kuwabara et all

Tableau B. Critères liées aux espèces hyperthermophiles et leurs biotopes.

No	Critères liés aux micro-organismes														Critères liées aux biotopes			Référence
	Souche	Contenu en GC (mol%)	Morphologie	Type respiratoire	Type trophique	pH min	ph opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt(°C)	Temp min(°C)	Temp max(°C)	pression(kpa)	NaCl(g/l)	Type , nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
															l'océan Pacifique.			2007.
50	TS1T	53.9	Sphériques irrégulier	anaérobie	hétérotrophe	5.2	6.5	8.7	1380	87	57	90		25	site hydrothermal à Suiyo Seamount, Izu-Bonin Arc.	100		Kuwabara et all 2005.
51	GC74	46.5	Sphériques irrégulier	anaérobie	hétérotrophe	3.5	6.7	9	2600	85	60	93	300-23,000	20	évent hydrothermal, à la côte ouest du Mexique.			Huber et all 1995
52	ST557 T	54-55	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	4,5	8	9,5	2000	90	73	103		26	évent hydrothermal sous-marine, Bassin Nord Fidjien.	288		Godfroy et all 1996
53	W-12	50.6	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	hétérotrophe	5.8	6.5-7.2	8.5	40	80-88	68	95		20	évent géothermique, la zone de marée de Whale Islande, Nouvelle-Zélande.	85		Miroshnic henko et all1998
54	MPT	37.1	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	4.5	7	9.5	3550	85	75	95	300-40,000	20-30	évent hydrothermal: Snakepit, la dorsale médio-Atlantique.			Marteinsson et all 1999
55	KOD1 T	52	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	hétérotrophe	5	6.5	9		85	65	100		30	solfatare sur le rivage de l'île de Kodakara, Kagoshima, Japon.			Atomi et all 2004.
56	P5T	45	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	hétérotrophe	4.5	6	7.5	4	88-90	50	95	300	20	sédiments de PalaeochoriBay, Milos, Grèce.	90-103		Arab et all 2000.
57	TYT	42	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	5.6	7	7.9	2000	88	60	94		25	éventhydrothermal,bassin de Guaymas.			Canganella et all 1998.
58	P-4	53.3	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	6	6.5	8	40	80-88	70	90		35	dépôts de fond chaufféede la baie de Plenty, Nouvelle-Zélande.	85		Miroshnic henko et all1998
59	TYST	46	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	5.6	7.2	8.1	2000	88	56	90		30	évent hydrothermal, bassin de Guaymas.			Canganella et all

Tableau B. Critères liées aux espèces hyperthermophiles et leurs biotopes.

No	Critères liés aux micro-organismes														Critères liées aux biotopes			Référence
	Souche	Contenu en GC (mol%)	Morphologie	Type respiratoire	Type trophique	pH min	ph opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt(°C)	Temp min(°C)	Temp max(°C)	pression(kpa)	NaCl(g/l)	Type , nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
																		1998.
60	AL662 T	58	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	3.5	6	9.5		80 - 90	55	100	100	30-40	évent hydrothermal marin, dorsale Est-Pacifique.			Godfroy et all 1997.
61	EJ3T	51.3	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	4	6	8.5	2616	88	55	90		20	cheminée hydrothermal, bassin de Guaymas.			Jolivet et all 2003.
62	OGL-20PT	52.9	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	hétérotrophe	5	7	8.5	2300	83 - 85	55	94	23000	30	fumeur noir, Rainbow, dorsale médio-Atlantique.			Pikuta et all 2007.
63	Vc 1	38	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	hétérotrophe	5	7	9		100	70	103		20	sédiments marins sur la plage de Polo di Levante, l'île de Vulcano, Italie.	90-100		Fiala et all 1986
64	GE5	45	Sphériques irrégulier	anaérobie	hétérotrophe	4	6.8	8.5	2000	96	67	100	200	30	évent profond, nord du bassin Fidji.			Erauso et all 1993
65	JCM 9974	44	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	hétérotrophe	5	7	8	1395	98	80	102		24	événements hydrothermaux, la fosse d'Okinawa, océan Pacifique occidental.			González et all 1998
66	AL585	47	sphériques	anaérobie strict	hétérotrophe	2.5	7.5	9.5	2650	95	75	104	101.325	30	évent hydrothermal profond, dorsale Est-Pacifique.			Barbier et all 1999.
67	DMJT	53.5	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	hétérotrophe	4	6	8	1338	83	60	88	30000	45	cheminée sous-marine hydrothermal, Knoll Myojin, Ogasawara-Bonin Arc, Japon.			Takai et all 2000
68	7324	47	Sphériques irrégulier	anaérobie	hétérotrophe	6.4	6.9	7.4		76	60	85	26000	17.7	plate-forme de production de pétrole, le secteur Norvégien de la mer du Nord.	60-130		Beeder et all 1994.
69	SBH6 T		sphériques	anaérobie	autotrophe	5	6.8	7.5	4100	81	50	85		25	le champ hydrothermal profond: Ashadze, la dorsale médio-Atlantique.			Slobodkin et all 2009

Tableau B. Critères liées aux espèces hyperthermophiles et leurs biotopes.

No	Critères liés aux micro-organismes														Critères liées aux biotopes			Référence
	Souche	Contenu en GC (mol%)	Morphologie	Type respiratoire	Type trophique	pH min	ph opt	pH max	Altitude (m)	Temp opt(°C)	Temp min(°C)	Temp max(°C)	pression(kpa)	NaCl(g/l)	Type , nom et location de site d'isolement.	Temp de site	pH de site	
70	234T	58.7	sphériques	anaérobie strict	autotrophe	5	7	7.6	2000	88	65	90	101	19	cheminée hydrothermal, bassin de Guaymas, le golfe de Californie.			Kashefi et all 2002.
71	M.O.H	52	bâtonnets et filaments	anaérobie	autotrophe	6	7,4	8.8		67	40	75		12	l'usine de traitement des eaux usées de la ville d'Urbana,USA			Zeikus et wolfe 1972.
72	V24S	33	Bâtonnets légèrement incurvées	anaérobie	autotrophe		6.5		3000	83	65	97	200		sourcechaudeIslandais, Allemagne.	37-100	1-9.5	Stetter et all 1981
73	SL43T	30.7	sphériques	anaérobie	autotrophe	5.5	6.5	6.7	2420	85	50	86	300	30	cheminée hydrothermal sous-marine, la dorsale centrale Indienne.			L'Haridon et all 2003
74	JAL-1	31	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	autotrophe	6	5.2	7	2600	85	50	86		30	fumeur blanc, dorsale Est-Pasifique.			jones et all 1983
75	MET	33	sphériques	anaérobie strict	autotrophe	5.25	6.5	7	3000	85	55	91	200	25	chimenée hydrothermal sous-marine, la dorsale médio-Atlantique.			Jeanthon et all 1998
76	Mc-S-70T	33.3	Sphériques irrégulier	anaérobie strict	autotrophe	6	6.7	8.5	2421	75	55	83	300	24	fumeur noir, champ Kairei, la dorsale centrale Indienne.	250		Takai et all 2004
77	AV19	60	bâtonnets	anaérobie	autotrophe	5.5	6.5	7	2000	98	84	110	300	20	évent chaud, le bassin de Guaymas, le golfe de Californie.	7-315		Kurr et all 1991

Tableau.B.1 Classification des espèces hyperthermophiles.

Classification des espèces hyperthermophile				
Nº	Domaine	Ordre	Genre	Espèce
1	<i>Bacteria</i>	<i>Thermotogales</i>	<i>Thermotoga</i>	<i>T. maritima</i>
2	<i>Bacteria</i>	<i>Thermotogales</i>	<i>Thermotoga</i>	<i>T.neapolitana</i>
3	<i>Bacteria</i>	<i>Thermotogales</i>	<i>Thermotoga</i>	<i>T. petrophila</i>
4	<i>Bacteria</i>	<i>Thermotogales</i>	<i>Thermotoga</i>	<i>T. naphthophila</i>
5	<i>Bacteria</i>	<i>Clostridiales</i>	<i>Thermaerobacter</i>	<i>T.marianensis</i>
6	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificiales</i>	<i>Balnearium</i>	<i>B.lithotrophicum</i>
7	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificiales</i>	<i>Thermocrinis</i>	<i>T. ruber</i>
8	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificiales</i>	<i>Thermovibrio</i>	<i>T.ruber</i>
9	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificiales</i>	<i>Hydrogenobacter</i>	<i>H.subterraneus</i>
10	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificiales</i>	<i>Hydrogenivirga</i>	<i>H. caldilitoris</i>
11	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificiales</i>	<i>Hydrogenivirga</i>	<i>H.okinawensis</i>
12	<i>Bacteria</i>	<i>Aquificiales</i>	<i>Sulfurihydrogenibium</i>	<i>S.yellowstonense</i>
13	<i>Bacteria</i>	<i>Thermodesulfobacteriales</i>	<i>Caldimicrobium</i>	<i>C.rimae</i>
14	<i>Bacteria</i>	<i>Thermodesulfobacteriales</i>	<i>Geothermobacterium</i>	<i>G.ferrireducens</i>
15	<i>Bacteria</i>	<i>Thermodesulfobacteriales</i>	<i>Thermodesulfobacterium</i>	<i>T.geofontis</i>
16	<i>Bacteria</i>	<i>Thermoanaerobacterales</i>	<i>Ammonifex</i>	<i>A.thiophilus</i>
17	<i>Bacteria</i>	<i>Thermoanaerobacterales</i>	<i>Caldicellulosiruptor</i>	<i>C. kristjanssonii</i>
18	<i>Bacteria</i>	<i>Thermoanaerobacterales</i>	<i>Thermoanaerobacter</i>	<i>T.yonseiensis</i>
19	<i>Archaea</i>	<i>Acidilobales</i>	<i>Acidilobus</i>	<i>A. aceticus</i>
20	<i>Archaea</i>	<i>Acidilobales</i>	<i>Acidilobus</i>	<i>A.saccharovorans</i>
21	<i>Archaea</i>	<i>Sphingobacteriales</i>	<i>Rhodothermus</i>	<i>R.obamensis</i>
22	<i>Archaea</i>	<i>Spirochaetales</i>	<i>Spirochaeta</i>	<i>S. thermophila</i>
23	<i>Archaea</i>	<i>Sulfolobales</i>	<i>Metallosphaera</i>	<i>M.hakonensis</i>
24	<i>Archaea</i>	<i>Sulfolobales</i>	<i>Sulfolobus</i>	<i>S.yangmingensis</i>
25	<i>Archaea</i>	<i>Sulfolobales</i>	<i>Sulfurisphaera</i>	<i>S. ohwakuensis</i>
26	<i>Archaea</i>	<i>Sulfolobales</i>	<i>Acidianus</i>	<i>A.sulfidivorans</i>
27	<i>Archaea</i>	<i>Sulfolobales</i>	<i>Stygiolobus</i>	<i>S. azoricus</i>
28	<i>Archaea</i>	<i>Thermoproteales</i>	<i>Pyrobaculum</i>	<i>P.islandicum</i>
29	<i>Archaea</i>	<i>Thermoproteales</i>	<i>Pyrobaculum</i>	<i>P. organotrophum</i>
30	<i>Archaea</i>	<i>Thermoproteales</i>	<i>Pyrobaculum</i>	<i>P. aerophilum</i>
31	<i>Archaea</i>	<i>Thermoproteales</i>	<i>Pyrobaculum</i>	<i>P. calidifontis</i>
32	<i>Archaea</i>	<i>Thermoproteales</i>	<i>Pyrobaculum</i>	<i>P. oguniense</i>
33	<i>Archaea</i>	<i>Thermoproteales</i>	<i>Caldivirga</i>	<i>C. maquilingenisis</i>
34	<i>Archaea</i>	<i>Thermoproteales</i>	<i>Vulcanisaeta</i>	<i>V. distributa</i>
35	<i>Archaea</i>	<i>Thermoproteales</i>	<i>Vulcanisaeta</i>	<i>V. souniana</i>
36	<i>Archaea</i>	<i>Thermoproteales</i>	<i>Thermocladium</i>	<i>T. modestius</i>
37	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Desulfurococcus</i>	<i>D.fermentans</i>
38	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Desulfurococcus</i>	<i>D.kamchatkensis</i>
39	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Staphylothermus</i>	<i>S. hellenicus</i>
40	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Aeropyrum</i>	<i>A.camini</i>
41	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Aeropyrum</i>	<i>A. pernix</i>
42	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Ignisphaera</i>	<i>I. aggregans</i>
43	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Ignicoccus</i>	<i>I.hospitalis</i>
44	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Ignicoccus</i>	<i>I. islandicus</i>

Tableau.B.1 Classification des espèces hyperthermophiles.

Classification des espèces hyperthermophile				
Nº	Domaine	Ordre	Genre	Espèce
45	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Ignicoccus</i>	<i>I. pacificus</i>
46	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Thermosphaera</i>	<i>T. aggregans</i>
47	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Hyperthermus</i>	<i>H. butylicus</i>
48	<i>Archaea</i>	<i>Desulfurococcales</i>	<i>Pyrolobus</i>	<i>P. fumarii</i>
49	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T.celericrescens</i>
50	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T.coalescens</i>
51	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. chitonophagus</i>
52	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. fumiculans</i>
53	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. gorgonarius</i>
54	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. barophilus</i>
55	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. kodakaraensis</i>
56	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. aegaeicus</i>
57	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. aggregans</i>
58	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. pacificus</i>
59	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. guaymasensis</i>
60	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. hydrothermalis</i>
61	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T. gammatolerans</i>
62	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Thermococcus</i>	<i>T.thioreducens</i>
63	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Pyrococcus</i>	<i>P. furiosus</i>
64	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Pyrococcus</i>	<i>P. abyssi</i>
65	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Pyrococcus</i>	<i>P. horikoshii</i>
66	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Pyrococcus</i>	<i>P. glycovorans</i>
67	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Palaeococcus</i>	<i>P. ferrophilus</i>
68	<i>Archaea</i>	<i>Thermococcales</i>	<i>Archaeoglobus</i>	<i>A. fulgidus</i>
69	<i>Archaea</i>	<i>Archaeoglobales</i>	<i>Geoglobus</i>	<i>G.acetivorans</i>
70	<i>Archaea</i>	<i>Archaeoglobales</i>	<i>Geoglobus</i>	<i>G. ahangari</i>
71	<i>Archaea</i>	<i>Methanobacteriales</i>	<i>Methanobacterium</i>	<i>M.thermoautotrophicus</i>
72	<i>Archaea</i>	<i>Methanobacteriales</i>	<i>Methanothermus</i>	<i>M. fervidus</i>
73	<i>Archaea</i>	<i>Methanococcales</i>	<i>Methanocaldococcus</i>	<i>M. indicus</i>
74	<i>Archaea</i>	<i>Methanococcales</i>	<i>Methanococcus</i>	<i>M.jannaschii</i>
75	<i>Archaea</i>	<i>Methanococcales</i>		<i>M.infernus</i>
76	<i>Archaea</i>	<i>Methanococcales</i>	<i>Methanotorris</i>	<i>M.formicicus</i>
77	<i>Archaea</i>	<i>Methanopyrales</i>	<i>Methanopyrus</i>	<i>M. kandleri</i>

Cette table : Classification des espèces hyperthermophiles est liée à la table critères liés aux espèces hyperthermophiles et leurs biotopes, les deux peuvent être fusionnées à une seule table.

Résumés

Résumé:

Depuis leur découverte, les microorganismes thermophiles et les hyperthermophiles représentent un phénomène biologique attrayant qui suscite l'intérêt des chercheurs, Cet intérêt est due à deux propriétés principales étonnantes, la première est de leur aptitude de croissance optimalement à des températures très élevées, et indépendamment des variations dans les conditions environnementales telles que le pH, la pression ..., (la température est de 50°C jusqu'au 113°C ou plus), la deuxième est de leur capacité à fournir une importante source de biomolécules peu conventionnelles issues de mécanismes biochimiques et moléculaires unique.

Afin d'atteindre les avantages de micro-organismes thermophiles et hyperthermophiles, des différents biotopes hydrothermaux chauds, d'une manière plus facile et plus lucrative pour le temps et l'effort, nous avons utilisé un moyen efficace, pour les sciences biologiques, qui est la bioinformatique. Notre but selon ce principe est présenté par la création d'une base de données sous le nom "Micro-Org-Thermophiles" à l'aide du langage de programmation Delphi®.

De cette étude, nos résultats sont illustrés dans un ensemble de critères liés aux microorganismes thermophiles et hyperthermophiles stockés et organisés et facile à exploiter dans une base de données locale.

Mot clés : thermophiles, biologique, biomolécules, biochimiques, biotopes hydrothermaux chauds, bioinformatique, Micro-Org-Thermophiles, Delphi®, base de données.

Abstract:

Since their discovery, thermophilic and hyperthermophilic microorganisms represent an attractive biological phenomenon that increases the interest of scientists and researchers, this interests mainly due to two main amazing properties of these microorganisms; the first one is, their ability to optimally grow at very high temperatures, regardless of varying environmental conditions such as pH, pressure..., (These temperatures are between 50°C to 113°C or more). The second property is their ability to provide an important source of unconventional biomolecules from single biochemical and molecular mechanisms.

To achieve the benefits of thermophilic and hyperthermophilic microorganisms from different hot hydrothermal biotopes, as an easiest way and most lucrative for the time and effort we have used an effective tool for biologic science which is bioinformatics. Our objective according to this principle is to create a database which is named "Micro-Org-Thermophiles" by using a computer based programming language called Delphi®.

In this project, our results are illustrated in set of criteria related to thermophilic and hyperthermophilic microorganisms stored and organized in easy legible way to use by an end-user in a local database.

Key words: thermophilic, biological, biomolecules, biochemical, hot hydrothermal biotopes, bioinformatics, Micro-Org-Thermophiles, Delphi®, database.

الملخص:

تمثل الكائنات المجهرية المحبة للحرارة (الترموفيلية) و الجد المحبة للحرارة (الهيبرترموفيلية) ظاهرة بيولوجية جذابة، تثير اهتمام الباحثين منذ اكتشافها ، وهذا الاهتمام يعود إلى خاصيتين رئيسيتين مذهلتين، الأولى هي قدرتها على النمو الأمثل في درجات حرارة جد عالية، وبغض النظر عن التغيرات الأخرى في أوساطها مثل درجة الحموضة، أو الضغط...،(تمتد درجات الحرارة من 50° الى 113° أو أكثر)،والثانية هي قدرتها على توفير مصدر هام للجزيئات الحيوية و الناتجة عن ميكانيزمات جزيئية وبيوكيميائية استثنائية.

من أجل الوصول إلى منافع الكائنات المجهرية المحبة للحرارة و الجد محبة للحرارة المنتمة إلى مختلف الاوساط المائية الساخنة بطريقة أسهل و أوفر للوقت والجهد كان علينا استعمال وسيلة فعالة من أجل العلوم البيولوجية والتي هي البيومعلوماتية. يتمثل هدفنا وفق هذا المبدأ في خلق قاعدة بيانات تحت اسم "ميكرو-اورغثارموفيلز " بمساعدة لغة البرمجة دلفي.

نتائج هذا البحث تتلخص في مجموعة خصائص متعلقة ب الكائنات المجهرية المحبة للحرارة و الجد المحبة للحرارة ، مخزنة ومنظمة وسهلة الاستغلال في قاعدة بيانات محلية .

الكلمات المفتاحية : المحبة للحرارة، البيولوجية، الجزيئات الحيوية ، البيوكيميائية، الاوساط المائية الساخنة، البيومعلوماتية، ميكرو-اورغ-ثارموفيلز ، قاعدة بيانات، دلفي.

Nom : **BOUDJAR**
Prénom : **Soumia**

Date de soutenance : **29/ 09 /2014**

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magistère
Option: Microbiologie des écosystèmes aquatiques

Thème: Étude comparative des microorganismes thermophiles et hyperthermophiles de différentes stations thermales

Résumé:

Depuis leur découverte, les microorganismes thermophiles et les hyperthermophiles représentent un phénomène biologique attrayant qui suscite l'intérêt des chercheurs, Cet intérêt est due à deux propriétés principales étonnantes, la première est de leur aptitude de croissance optimalement à des températures très élevées, et indépendamment des variations dans les conditions environnementales telles que le pH, la pression ..., (la température est de 50°C jusqu'au 113°C ou plus), la deuxième est de leur capacité à fournir une importante source de biomolécules peu conventionnelles issues de mécanismes biochimiques et moléculaires unique.

Afin d'atteindre les avantages de micro-organismes thermophiles et hyperthermophiles, des différents biotopes hydrothermaux chauds, d'une manière plus facile et plus lucrative pour le temps et l'effort, nous avons utilisé un moyen efficace, pour les sciences biologiques, qui est la bioinformatique. Notre but selon ce principe est présenté par la création d'une base de données sous le nom "Micro-Org-Thermophiles" à l'aide du langage de programmation Delphi®.

De cette étude, nos résultats sont illustrés dans un ensemble de critères liés aux microorganismes thermophiles et hyperthermophiles stockés et organisés et facile à exploiter dans une base de données locale.

Mot clés : thermophiles, biologique, biomolécules, biochimiques, biotopes hydrothermaux chauds, bioinformatique, Micro-Org-Thermophiles, Delphi®, base de données.

Devant le jury:

M. HOUHA Belgacem	(MCA)	Université de Khenchela	(Président)
M. DARBOUCHE Abdelhak	(Prof.)	Université de Khenchela	(Encadreur)
M. HOUHAMDI Moussa	(Prof.)	Université de Guelma	(Examineur)
M. BENOUNIS Messaoud	(MCA)	Université de Khenchela	(Examineur)