

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة الإخوة منتوري قسنطينة I
Frères Mentouri Constantine I University
Université Frères Mentouri Constantine I

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Microbiologie

كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم الميكروبيولوجيا.

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie moléculaire des microorganismes

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

**Ecosystèmes Salins et hyper-salins : une source insoupçonnée
de nouvelles actinobactéries productrices de biomolécules**

Présenté par : BOULAHIA Kaouther

Le 22/06/2022

MESFAR Khouloud

MENACER Rayenne

Jury d'évaluation :

Encadreur : **Mr Boudemagh Allaoueddine** (Pr. Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 1 : **Mme ZERMANE Ferial** (M.A.A. Université Frères Mentouri, Constantine1).

Examineur 2 : **Mme Lifa Maroua** (M.A.B. Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Année universitaire

2021 - 2022

Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions l'omnipotent, ALLAH qui nous a éclairé le droit chemin afin de réaliser ce travail dans les meilleures conditions, qui nous a donné la volonté et la patience afin de finir notre étude malgré les difficultés rencontrées.

Nous ne savons pas combien et comment devrions-nous remercier et exprimer notre profonde et sincère gratitude à celle qui était pour nous le soutien solide et qui nous a jamais quittée.

L'encadrement scientifique de ce travail a été assuré par Professeur BOUDEMAGH Allaoueddine, nous tenons vivement à lui exprimer notre profonde reconnaissance et gratitude pour le temps qu'il a consacré pour sa patience, son suivi, sa compréhension, ses écoutes, ses qualités humaines et encore pour les précieuses informations qu'il nous a prodiguées avec intérêt. Qu'Allah vous récompense de la meilleure récompense monsieur. Ayez l'amabilité et l'obligeance d'accepter nos vifs remerciements.

Comme nous tenons à remercier très sincèrement les membres du jury d'avoir accepté d'examiner notre travail. Merci à Dr. Lifa Maroua qui nous fait l'honneur à juger ce travail malgré ses nombreuses occupations

Merci à Dr. Zermane Férial qui a accepté de juger ce travail, son jugement sera très certainement utile à ce mémoire. À la fin, nous exprimons nos remerciements à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

À tous, nous disons merci.

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail :

*À mes **parents** pour leurs efforts, Que Dieu les protège et leur donne la bonne santé et qu'ils trouvent ici la preuve de ma reconnaissance infinie.*

*Aux deux personnes les plus proches et les plus chères qui m'ont encouragé et soutenue, mon **fiancé** et ma **sœur aînée**.*

*À ma **sœur** et à mes deux **petits frères**, que Dieu éclaire votre chemin.*

*À mon binôme : **Khouloud** et **Rayenne**.*

À tous mes amis et à tous ceux que je connais

*À tous ceux qui m'ont **aidé**, **encouragé** et **soutenu** durant mon cursus universitaire.*

À vous tous, je vous dis « Merci ».

Kaouther

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail :

*À mes très chers **parents** que je remercie énormément pour leur éducation, leur sacrifice, leurs encouragements incessants et leur soutien moral aux moments difficiles qui furent pour moi les meilleurs gages de réussite. Que Dieu les protège et leur donne la bonne santé et qu'ils trouvent ici la preuve de ma reconnaissance infinie.*

*Je remerciais mes sœurs et mon frère : **Mounia, Roumaïssa et Badreddine***

*Ainsi que mes **amis** qui sont toujours à côté du moi.*

Khouloud

Dédicace :

J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail :

*A deux personnes les plus chers au monde que je ne
remercieraï jamais assez pour leurs aides, encouragements,
soutiens, sacrifices, patience et leurs prières pendant toute ma vie
: mes très chers parents **Hanifa** et **Achour**.*

*A ma chère et unique sœur : **Selma***

*A mon grand frère **Tarek Aziz** et sa femme **Dounia** et sa
fille **Ghazel Baylassane***

*A mon très cher frère **Anis** et **Abdallah***

A toute ma belle et ma chère famille

*A mes chère binôme : **Khouloud** et **Kaouther***

A mes chers amis qui ont étaient toujours avec moi :

Maram wedjdane, Fatima Zohra** et **Dounia

A tous ceux qui m'aiment....A tous que j'aime

*Sans oublier tous les **professeurs** que ce soit du primaire, du
Moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.*

Merci

Rayenne

Table de matières:	Pages
Remerciements.....	ii
Dédicace :.....	iii
Table de matières :	vi
Table des figures :	xi
Liste des tableaux :	xii
Liste des Abrevitions :	xiii
Introduction	1
Chapitre I: Généralité sur les actinobactéries	5
I.1. Historique	5
I.2. Définition	5
I.3. Caractéristique générale	6
I.4. Taxonomie et critères de classification des actinobactéries	6
I.4.1. Systématique des actinobactéries.....	6
I.4.2. Evolution des critères d'identification.....	9
I.4.3. Critères chimiques (chimio taxonomique).....	9
I.4.3.1. Acides aminés.....	10
I.4.3.2. Glucides.....	10
I.4.3.3. Acides gras.....	10
I.4.3.4. Les acides nucléiques.....	11
I.4.4. Critères physiologique.....	11
I.4.5. Critères moléculaire.....	11
I.4.5.1. Séquençage de l'ADN ribosomique 16S.....	11
I.4.5.2. Hybridations ADN-ADN	12
I.4.5.3. Pourcentage de guanine-cytosine (G+C).....	13
I.5. Cycle de vie des actinomycètes.....	13
I.6. Ecologie et distribution dans la nature.....	14
I.6.1. Le sol.....	15

I.6.2.	Eaux douces et marines.....	16
I.6.3.	Air.....	17
I.6.4.	Thermophile.....	17
I.7.	Physiologie et métabolisme.....	17
I.7.1.	La température.....	17
I.7.2.	Le pH.....	17
I.7.3.	L'oxygène.....	18
I.7.4.	L'humidité.....	18
I.7.5.	L'activité de l'eau (Aw).....	18
I.7.6.	Tolérance pour NaCl.....	19
I.8.	Les actinobactéries hyper-halophiles.....	19
I.8.1.	Halophilie et halotolérance.....	19
I.8.2.	Mécanisme d'adaptation en milieu salin	20
I.9.	Importances des actinomycètes.....	20
I.9.1.	En biotechnologie.....	21
I.9.2.	En agronomie.....	21
Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.		23
II.1.	Généralité sur les environnements salins et hyper-salins.....	23
II.2.	Origine des environnements hyper-salins.....	23
II.2.1.	Sol.....	23
II.2.2.	Eau.....	24
II.2.3.	Les lacs salés.....	26
II.2.4.	Chotts et Sebkhass	27
II.2.5.	Sédiment.....	28
II.3.	Caractéristiques physico-chimiques des environnements hyper-salins.....	29
II.3.1.	Propriétés physico-chimiques du Sol.....	29

II.3.1.1. Le pH.....	29
II.3.1.2. La conductivité	30
II.3.1.3. L'humidité.....	30
II.3.1.4. Matière organique du sol salin.....	30
II.3.2. Propriétés physico-chimiques de l'eau saline.....	30
II.3.2.1. Le pH.....	30
II.3.2.2. La conductivité.....	31
II.3.2.3. La composition chimique.....	31
II.3.2.4. L'oxygène.....	31
II.3.3. Propriété physicochimique des sédiments.....	31
II.3.3.1. Origine naturelle... ..	31
II.3.3.2. Origine anthropique.....	32
II.3.3.2.1. Composition physique des sédiments.....	32
II.3.3.2.2. Composition géochimique des sédiments.....	32
II.4. Collecte des échantillons pour l'isolement des actinobactéries.....	32
II.4.1. Isolement des actinobactéries à partir du sol.....	33
II.4.2. Isolement des actinobactéries à partir de l'eau.....	33
II.5. Nouvelles actinobactéries isolées à partir des sols salins et hyper-salins.....	34
Chapitre III: Biodiversité métabolique de certaines actinobactéries halophiles nouvelles	57
III.1. Métabolisme général des actinobactéries	57
III.1.1. Le métabolisme primaire.....	57
III.1.2. Le métabolisme secondaire.....	58
III.2. Substances bioactives produites par les actinobactéries halophiles et halotolérantes.....	60
III.2.1. Antibiotiques.....	61

III.2.2. Les enzymes.....	62
III.2.2.1. Xylanases.....	64
III.2.2.2. Chitinases.....	64
III.2.2.3. Cellulases.....	64
III.2.2.4. Estérases.....	65
III.2.3. Les pigments.....	65
III.2.3.1. Les mélanines.....	66
III.2.3.2. Les caroténoïdes.....	66
III.2.4. Les substances anti-oxydantes.....	67
CONCLUSION ET PERSPECTIVE.....	69
Références bibliographiques.....	71
Annexe.....	101
Résumé.....	105

Table des figures :

Figure I. 1: Système de classification phylogénétique pour les actinobactérie.....	7
Figure I. 2: Classification du genre <i>Streptomyces</i> selon Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (2007)	8
Figure I. 3: Représentation schématique du cycle de vie des actinomycètes sporulant (Barka et al., 2016).....	14
Figure II. 1: Sols salés.....	24
Figure II. 2: Environnements Thalassoaha.....	25
Figure II. 3: Environnements Athalassohalin.....	25
Figure II. 4: Déclin des lacs salés Dans le monde.....	26
Figure II. 5: Exemple de chott et sebkha en Algérie.....	27
Figure II. 6: Principaux milieux de sédimentation.....	29
Figure III. 1: Métabolites secondaires bioactifs produits par les actinobactéries (Conn, 2005).....	59

Liste des tableaux :	Page
Tableau I. 1: Distribution des genres des actinomycètes dans la nature (Larpent et Sanglier, 1989).....	15
Tableau I. 2: Fréquence des divers genres d'actinomycètes dans le sol (Andriambololona, 2010).	16
Tableau II. 1: Milieux de culture et conditions nécessaires à l'isolement des différents nouvelles actinobactéries à partir du sol.....	35
Tableau II. 2: Milieux de culture et conditions nécessaires à l'isolement des différents nouvelles actinobactéries à partir du l'eau.	43
Tableau II. 3: Milieux de culture et les conditions d'incubation nécessaire à l'isolement de nouvelles actinobactéries.	50
Tableau III. 1: Différentes molécules bioactives produites par les actinobactéries halophiles et halotolérants nouvellement isolées.....	60
Tableau III. 2: Exemples d'antibiotiques produits par les nouvelles actinobactéries.	62
Tableau III. 3: Quelques actinobacteries nouvellement décrites productrices d'enzymes.....	63
Tableau III. 4: Quelques actinobacteries nouvelles productrices de pigments.....	66
Tableau III. 5: Exemples de molécules anti-oxydantes produites par des quelques espèces nouvelles d'actinobactéries.	67

LISTE DES ABREVIATIONS

A1+C agar : gélose pour déterminer les caractéristiques phénotypiques

ADN : Acide désoxyribonucléique

ADNr : Acide désoxyribonucléique ribosomique

ARN : acide ribonucléique

Aw : l'activité de l'eau

°C : degré Celsius

CCA : analogue de culture cellulaire

CCMS : cellulose-caséine-multi sels

Cm : centimètre

Ha : hectare

ISP2 : Gélose à l'extrait de levure et à l'extrait de malt

ISP3 : Gélose à la farine d'avoine

ISP 4 : Gélose aux sels inorganiques et à l'amidon

ISP 5 : Base de gélose à l'asparagine et au glycérol

Gélose CASO : caséine Soja Digérer Agar

Gélose R2A : Reasoner's 2A Agar

Gélose SGA : gélose au sang

GL 3 : globotriosylcér amide

G+C% : Pourcentage de Guanine Cytosine

GTY : triptone-extrait de levure

KCl : Le chlorure de potassium

km² : kilomètre carrée

LB : bouillon lysogène

m : mètre

Mbp : mille paires de base

µm : Micromètre

Mm: millimètre

MSG : milieu supplémenté avec les régulateurs de croissance

NaCl : clore de sodium

PCA : plate count agar (gélose pour dénombrement)

PCR : polymérase Chain Réaction

PH : Potentielle d'hydrogène

% : pourcentage

P/V : Pression/Volume

PYGV : peptone extrait de levure glucose vitamine K

S-G : milieu dépourvu de sérine et de glycine

TSA : gélose tryptone soja

Introduction

Introduction

Le sol et l'eau, sont deux matrices écologiques largement exploités pour leurs multiples ressources, notamment microbiennes. Les microorganismes qui y vivent, sont connus pour leurs capacités à produire des composés naturels biologiquement actifs (**Kumar *et al.*, 2010**). Parmi ces microorganismes les actinobactéries, jouent un rôle très important dans ces biosynthèses.

Généralement, les actinobactéries colonisent tous les sols et les eaux où ils jouent un important rôle de décomposeurs de la matière organique. Cette particularité essentielle, rend le sol fertile, contribuant ainsi à l'amélioration des récoltes (**Al-Zarban *et al.*, 2002**) Dans les eaux, ces microbes participent aussi dans la chaîne alimentaire et dans le cycle de la matière minérale.

L'importance des actinobactéries a été soulignée dans divers domaines tel que l'industriel, le médical, vétérinaire et dans l'agriculture et l'agro-alimentaire (**George *et al.*, 2012**). Plusieurs travaux de recherche se sont orientés actuellement vers la découverte de nouvelles molécules bioactifs à partir des écosystèmes telluriques et aquatiques salins (**Meklat *et al.*, 2014**); (**Li *et al.*, 2009**); (**Chang *et al.*, 2012**); (**Krishnamoorthy *et al.*, 2020**). Les actinobactéries, surtout celle qui ont une structure mycélienne sont réputées pour la production d'antibiotiques, en particulier le genre *Streptomyces* (**Sujatha *et al.*, 2005**). D'autres molécules bioactives sont également sécrétées par les actinobactéries telles que les enzymes, les vitamines, les immunosuppresseurs, les insecticides et les herbicides (**Genilloud *et al.*, 2011**); (**Bull, 2011**); (**Bull et Stach, 2007**); (**Ghanem *et al.*, 2000**).

Ces investigations s'orientent vers la découverte de nouveaux genres, ou de nouvelles espèces et souches d'actinobactéries halophiles et halotolérantes. Ces bactéries sont ensuite testées pour leurs aptitudes à synthétiser des biomolécules innovantes et intéressantes du point de vue biotechnologique (**Murphy *et al.*, 2010**). Les stratégies reposent essentiellement sur les techniques de screening, parfois à grande échelle, pour espérer trouver les souches sécrétant des composés très intéressants (**Huttner *et al.*, 2013**).

Dans notre travail de recherche bibliographique, nous nous sommes assigner l'objectif de regrouper 20 ans de travaux scientifiques, qui relatent la description de nouveaux représentants des actinobactéries isolés à partir des écosystèmes salins et hyper-salins du monde entier. Dans ce contexte, les démarches d'isolement et quelques

Introduction

caractères biochimiques et génétiques de ces nouvelles actinobactéries sont mis en exergue. Il est également question, de mettre l'accent sur les différents métabolites à intérêts biotechnologiques, produites par ces organismes.

Le mémoire est structuré en trois grands chapitres. Le premier, présente une description générale des actinobactéries dans les différents écosystèmes salins et hypersalins. La seconde partie présente la majorité des travaux récents sur l'isolement des nouvelles actinobactéries. Dans ce chapitre, nous avons cerné nos recherches, sur les 20 dernières années. La dernière section sera consacrée aux biomolécules bioactifs de ces actinobactéries.

Revue bibliographique

Chapitre I :

I.1. Historique

Les actinobactéries sont un groupe de bactéries productrices d'antibiotiques et bien d'autres molécules à utilité multiples. Ils sont devenus importants en biotechnologie (Meurant, 2012). Les actinobactéries ont été isolées pour la première fois par Cohn en 1875 à partir de sources humaines (Goodfellow et Williams, 1983). Ce n'est qu'en 1943 que Waksman a pu isoler un genre d'actinomycètes à partir du sol. Selon Waksman (1961), Ferdinand Cohn a été le premier à décrire les actinomycètes. En 1875 et 1878, le Harz l'a nommé *Actinomyces bovis*, une infection de la mâchoire bovine (Garrity *et al.*, 2007).

Ces microorganismes partagent des propriétés entre les bactéries et les champignons. Ils ont des caractéristiques de paroi cellulaire procaryotique mais des formes morphologiques fongiques. Les actinomycètes retenaient l'attention en raison de leur couleur et de leur odeur distinctives lorsqu'ils étaient cultivés sur des milieux au laboratoire et parce qu'ils étaient des agents pathogènes chez les animaux, les humains et les plantes. Le *Mycobacterium tuberculosis* est l'agent causal de la tuberculose chez l'homme. Les actinomycètes sont également à l'origine de nombreux composés utilisés pour traiter ou prévenir les maladies infectieuses (Dietz et Currie, 1996).

A partir des années 1940, de nombreuses recherches ce sont lancées dans leurs isollements à partir de nombreux habitats, comme les environnements terrestres, marins, aquatiques, aériens, en association avec des macrobiotiques et des organismes supérieurs et tout récemment, à partir des écosystèmes extrêmes (Wink *et al.*, 2017).

I.2. Définition

Les actinobactéries sont des bactéries à Gram positif avec généralement une teneur élevée en ADN G+C % qui constituent l'un des plus grands phylums bactériens (Barka *et al.*, 2015). Ce sont des bactéries à majorités filamenteuses qui se développent grâce à une combinaison d'extensions de pointe et de ramification des hyphes. C'est de là que vient leur nom, dérivé des mots grecs pour rayon (**aktis** ou **aktin**) et champignon (**mukēs**). De nombreux actinomycètes se reproduisent par sporulation. Les cellules sont sensibles aux agents antimicrobiens. Physiologiquement et écologiquement, la plupart des actinomycètes sont aérobies, mais il existe des exceptions. Ils peuvent être hétérotrophes ou chimioautotrophes, mais la plupart

sont chimiohétérotrophes et sont capables d'utiliser plusieurs sources de nutriments (**Barka et al., 2015**). Les actinomycètes sont connus pour leurs longs temps de génération. Principalement par rapport aux bactéries, ce qui fait de leur isolement une tâche Difficile à atteindre (**Djaballah, 2010**). La plupart des actinomycètes du sol sont strictement aérobies (**Goodfellow et Williams, 1983**). Il a été suggéré que *Streptomyces spp.* adaptable à la croissance dans les conditions micro-aérophiles (**van Keulen et al., 2003**), tandis que *S. coelicolor* possède des enzymes adaptées au métabolisme en conditions anoxiques ou microaérobies (**Wink et al., 2017**).

I.3. Caractéristique générale

Le diamètre du filament de l'actinomycète est beaucoup plus petit (1 à 2 μm) que celui des champignons, qui varie de 5 à 10 μm (**Leveau et Bouix, 1993**). La plupart des actinomycètes sont immobiles. Cependant, certains produisent des spores flagellées qui leur permettent de se propager dans les habitats aquatiques. Ils sont hétérotrophes, certaines espèces sont chimioorganotrophes, mésophiles et vivent dans la plage de pH de 5,0 à 9,0, la plupart modérément neutre (**Bouaziz, 2018**). Les actinomycètes n'ont pas de membrane nucléaire, ils ont des organites flagellaires similaires aux bactéries. La plupart d'entre eux sont sensibles au lysozyme et aux agents antibactériens (**HARIR, 2010**). Sensibilité au chlorure de sodium et à certains produits chimiques ; utilisation de sources de carbone et d'azote et dégradation de certains polymères tels que l'amidon, la caséine et la gélatine et production de mélanine (**Zerizer, 2014**).

I.4. Taxonomie et critères de classification des actinobactéries

I.4.1. Systématique des actinobactéries

La classification et la taxonomie des actinomycètes sont principalement basées sur critères phénotypiques, y compris morphologiques, chimiques et physiologie. La morphologie des colonies, les chaînes de spores, la couleur du mycélium de substrat et le mycélium aérien, les pigments diffusibles encore sont les facteurs les plus importants pour les différences entre genre. Ils sont cependant non-informatifs pour l'identification de l'espèce (**Mohammadipanah et Dehhaghi, 2017**).

Les actinomycètes sont classés dans le domaine Bacteria et dans le phylum des *Actinobacteria*. Selon le Bergey's manual, 2012. Le phylum *Actinobacteria* est subdivisée en 06 classes, 23 ordres, 53 familles et 222 genres (**Ruan, 2013**). En 1997,

un schéma de classification a été proposé pour les actinobactéries basées uniquement sur les données du séquençage du gène d'ADNr 16 S (voir figure 1). Dans ce système, les taxons phylogénétiquement voisins au niveau du genre ont été regroupés en familles, sous-ordres, ordres, sous-classes et classe (classe « *Actinobacteria* ») sans tenir compte des caractéristiques phénotypiques (Trujillo, 2016).

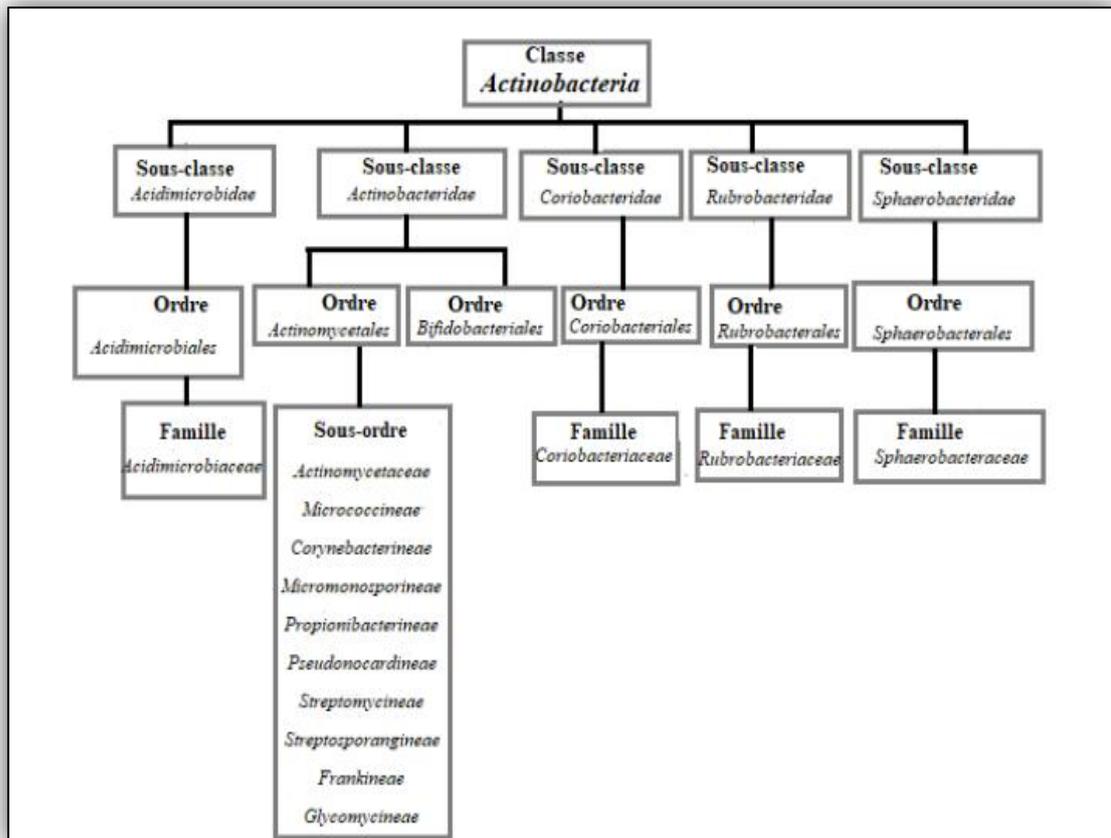


Figure I. 1: Système de classification phylogénétique pour les actinobactérie.

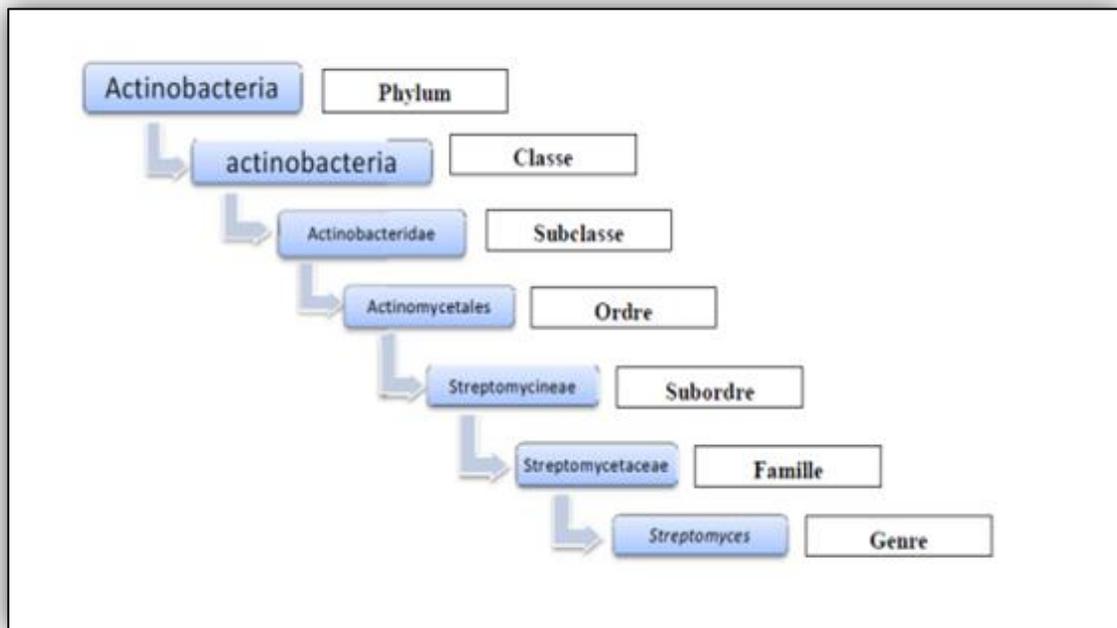


Figure I. 2: Classification du genre *Streptomyces* selon **Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (2007)**.

Les actinomycètes sont rattachés au phylum des *Actinobacteria*, à la classe des *Actinobacteria*, à la sous-classe des *Actinobacteridae* et à l'ordre des *Actinomycetales* créé par Buchanan en 1917(**Garrity et al., 2007**) **Bergey's manual**.

Selon la première édition du *Bergey's Manual of systematique bacteriology*, les *Actinobacteria* appartenaient à l'ordre des *Actinomycetales* et étaient subdivisées en 4 familles de *Streptomycetaceae*, *Actinomycetaceae*, *Actinoplanaceae* et *Mycobacteriaceae*.

La taxonomie des actinobactéries a considérablement changé au fil du temps accumulation d'informations. Dans la deuxième édition du *Bergey's Manual of systematique*, les *Actinobacteria* ont été inclus séparément dans le cinquième volume. Le phylum *Actinobacteria* est divisé en 6 classes : *Actinobacteria*, *Acidimicrobiia*, *Coriobacteriia*, *Nitriliruptoria*, *Rubrobacteria*, et *Thermoleophilia*. La classe *Actinobacteria* sont subdivisés en 16 ordres : *Actinomycetales*, *Actinopolysporales*, *Bifidobacteriales*, *Catenulisporales*, *Corynebacteriales*, *Frankiales*, *Glycomycetales*, *Jiangellales*, *Kineosporiales*, *Micrococcales*, *Micromonosporales*, *Propionibacteriales*, *Pseudonocardiales*, *Streptomycetales*, *Streptosporangiales* et *Incertae sedis*(**Garrity et al., 2007**) **Bergey's manual**.

Dans la dernière édition, la classification est entièrement basée sur la séquence de l'ADNr 16S. Dans ce manuel, les Actinobactéries comprennent 5 classes, 19 ordres, 50 familles et 221 genres. Cependant, de nombreux nouveaux taxons sont continuellement découverts, de sorte que cette liste est inévitablement incomplète (**Ludwig *et al.*, 2012**).

I.4.2. Evolution des critères d'identification

La systématique bactérienne a fait l'objet de techniques révolutionnaires au cours des 3 dernières décennies. L'application de nouvelles techniques fiables de biologie, de la biochimie, de la chimie, de la génétique, du numérique et de la moléculaire ont été à l'origine d'un changement rapide des points de vue sur la façon dont les bactéries pourraient être classées et identifiées (**Abbas, 2006**). Cette évolution est marquée par quatre périodes importantes, dont chacune a apporté Nouvelle taxonomie. Dans la **première période**, il n'y a que des critères macro et micro morphologiques, Distinguer les différents genres. Cette période a duré jusqu'au début des années 1960. (**Pridham *et al.*, 1958**). La **deuxième période** débute dans les années 1960 et voit taxonomie chimique basée sur l'analyse des composants cellulaires tels que les acides aminés (**Becker *et al.*, 1964**). La **troisième période**, qui a commencé dans les années 1970, a atteint son apogée entre 1980 et 1990. Elle était associée aux outils informatiques et aux tests physiologiques. Cette classification dite numérique est essentiellement basée sur l'analyse informatique des tests physiologiques en utilisant des logiciels (**Grund et Kroppenstedt, 1990**). Dans la **dernière période** ce sont les applications de méthodes d'analyse génétique et la recherche moléculaire, commencée dans les années 1980. Pour cela, plusieurs techniques ont été utilisées, telles que l'hybridation ADN-ADN, la détermination du coefficient de Chargaff ou récemment le pourcentage guanine-cytosine, le séquençage de l'ADN ribosomique 16 S et 23 S, etc.

I.4.3. Critères chimiques (chimio taxonomique)

L'étude chimiotaxonomique des constituants de leur paroi cellulaire des actinobactéries est nécessaire pour compléter l'identification. Cette étude est basée sur l'analyse de la composition cellulaire en acides aminés pariétaux, en glucides cellulaires, en phospholipides membranaires, en ménaquinones, en acides gras membranaires et en acides mycoliques pariétaux (**BOUDJELAL-BENCHEIKH, 2012**).

I.4.3.1. Acides aminés

La détermination de la forme isomérique de l'acide diaminopimélique (DAP) (forme LL ou DL) et présence ou non de glycine dans la paroi cellulaire. (**Lechevalier et al., 1977**) Les *Streptomyces* est genre apparentés contiennent la forme LL-DAP (acide 2,6- diaminopimélique) contrairement à l'ensemble des autres *Actinomycetale* (**Merouane, 2016**).

I.4.3.2. Glucides

Les glucides de la paroi cellulaire permettent une séparation en quatre groupes majeurs. Le spectre de sucres A (arabinose + galactose) est caractéristique des genres *Nocardia* et *Saccharopolyspora*. Le spectre glucidique B (madurose) est présent chez les genres *Actinomadura* et *Streptosporangium*. Les *Streptomyces* est genres apparentés ne synthétisent aucun glucide en quantité caractéristique (spectre C). Il en est de même pour les genres *Thermomonospora* et les *Thermoactinomyces*. La présence de xylose et d'arabinose (spectre D) est caractéristique des *Actinoplanes* et du genre *Micromonospora* (**Merouane, 2016**).

I.4.3.3. Acides gras

Les acides gras les plus communs, chez les actinomycètes appartiennent soit au groupe de molécules comportant de 12 à 20 atomes de carbone, soit au groupe des acides mycoliques à 20-90 atomes de carbone. La présence d'acides mycoliques est caractéristique des genres tels que *Nocardia*, *Mycobacterium* et *Rhodococcus* (**Merouane, 2016**).

I.4.3.4. Les acides nucléiques

Les déterminations portent sur le GC%, sur le spectre obtenu par électrophorèse des fragments de l'ADN, sur le taux d'hybridation ADN-ADN et sur la séquence de l'ARNr 16S. Une différence de plus de 10 % indique que les deux souches sont sans relation. Au-delà de 70 % de similitude, deux souches sont considérées comme appartenant à la même espèce (**Merouane, 2016**).

I.4.4. Critères physiologique

L'étude des caractères physiologiques a été utilisée également par les taxonomistes pour la différenciation des espèces d'actinomycètes. Ces caractères sont des tests de dégradation organiques (glucidiques, protidiques, lipidiques, polymères, Etc. Des tests de résistance aux différents agents chimiques (antibiotiques, divers autres agents), ainsi que la tolérance au pH, à la température, à la salinité, Etc. sont aussi appliquées. Lorsque le nombre des tests est très important, les résultats deviennent difficilement exploitables ce qui a amené les systématiciens à appliquer la taxonomie numérique aux actinomycètes. Cette taxonomie consiste à utiliser un nombre très important des caractères physiologie et vise à classer les espèces individuelles dans des groupes homogènes en utilisant l'outil informatique (**BOUDJELAL-BENCHEIKH, 2012**).

I.4.5. Critères moléculaire

Dès l'avènement de la biologie moléculaire vers le début des années 1980, les méthodes traditionnelles de classification ont commencé à être remplacées par les techniques moléculaires. L'analyse moléculaire a permis une amélioration et donne une bonne précision aux techniques d'identification. Qui reposent sur les analyses des séquences de l'ADN codant pour l'ARN ribosomique 16S (ADNr 16 S), l'hybridation ADN-ADN et la détermination du pourcentage de guanine-cytosine (GC%) pour déterminer la position taxonomique des actinobactéries (**Bouaziz, 2018**).

I.4.5.1. Séquençage de l'ADN ribosomique 16S

C'est une technique très fiable pour l'identification des actinomycètes (**Weisburg et al., 1991**). Stackebrandt et ces collaborateurs (1981, 1983), ont été les premiers à utiliser cette technique pour la taxonomie des actinomycètes. Le gène codant

pour l'ARN ribosomique 16 S est un gène chromosomique d'une taille de 1500 paires de bases, présent chez toutes les bactéries, dont la séquence est spécifique de chaque espèce et dont les extrémités 5' et 3' (15 premières et 15 dernières bases) sont conservées dans toutes les espèces bactériennes. L'étude de l'ADNr 16 S, utilise deux techniques de base : la PCR (Polymerase Chain Reaction) et le séquençage. Cette analyse de l'ADNr 16 S a été utilisée ces dernières années pour les groupes à un niveau supra-génique (famille, Ordre, et même Classe) (**Rainey et al., 1996**). L'étude de l'ADNr 16 S utilise deux techniques de base la PCR (polymérase Chain Réaction) et le séquençage. Le gène ADNr est amplifié par PCR, puis les séquences du produit sont analysées. Les séquences ainsi obtenues des différents taxons sont comparées entre elles ou bien avec des espèces de références répertoriées dans des banques de données génomiques accessibles sur Internet telles qu'Eu Taxon. Ainsi, le séquençage de l'ADNr 16 S constitue un outil très rapide pour l'identification des taxa. Le positionnement taxonomique des souches étudiées par rapport aux genres et aux espèces voisines (phylogénie) utilise des méthodes de calcul des distances d'évolution. Il est admis que deux genres ayant une homologie inférieure à 94 % sont différents, il en est de même pour deux espèces présentant une homologie inférieures à 97 %. Il faut cependant noter qu'un taux d'homologie compris entre 97 % et 100 % n'indique pas nécessairement que les espèces sont identiques, surtout si cette dernière fait partie d'un genre comptant un grand nombre d'espèces comme c'est le cas pour le genre *Streptomyces*. Le recours à l'hybridation ADN ADN s'avère donc nécessaire pour statuer définitivement sur des cas pareils. Dans ce contexte, ont proposé 98,2 % et 98,65 %, respectivement comme une limite de séparation entre les espèces, et ce, sans avoir recours à l'hybridation ADN-ADN (**Bouaziz, 2018**).

I.4.5.2. Hybridations ADN-ADN

L'analyse de l'hybridation ADN-ADN est indispensable pour l'identification définitive d'une espèce lorsque les séquences de l'ADNr 16S présentent des similarités supérieures au pourcentage du seuil de la détermination d'espèce nouvelle (**Bouaziz, 2018**). Les hybridations ADN-ADN, utilisées en bactériologie, sont réalisées à partir d'un mélange de deux ADN dénaturés provenant de deux bactéries différentes. En fonction des similitudes de séquence, deux types de duplex hétérologues peuvent se former : si les ADN des deux bactéries présentent des similarités importantes, il se

produit d'abord un appariement étroit au niveau d'un segment qui porte des bases complémentaires (site de nucléation), puis le duplex se complète de proche en proche. Si les ADN des deux bactéries ont des séquences très différentes, il peut se produire un appariement au niveau de quelques bases complémentaires situées dans une zone limitée, mais le reste des fragments ne s'associe pas ou seulement par quelques liaisons hydrogène éparses (Smaoui, 2010).

I.4.5.3. Pourcentage de guanine-cytosine (G+C)

Chez les bactéries, les valeurs du (G+C %) sont très dispersées et elles varient de 25 à 75. Pour les actinobactéries, ce coefficient est supérieur à 55 %, il est généralement compris entre 60 à 78 %. La détermination du (G+C%) est un critère important non seulement dans l'identification des genres, mais aussi des familles d'actinobactéries. Ceci a permis de différencier la lignée des actinobactéries de celle des autres bactéries. De même, d'autres bactéries non-mycéliennes telles que *Corynebacterium*, *Cellulomonas*, *Arthrobacter*, et même *Micrococcus*, sont considérées comme faisant partie de la lignée phylogénique des actinobactéries (Bouaziz, 2018).

I.5. Cycle de vie des actinomycètes

Le mode de croissance des actinomycètes implique généralement un cycle biologique complexe. La plupart des actinomycètes produisent un réseau des hyphes septées et ramifiées à la fois à la surface et à l'intérieur du substrat pour former un tapis dense d'hyphes (mycélium végétatif ou de substrat). Chez de nombreux actinomycètes, les hyphes végétatives se développent vers le haut et forment un mycélium aérien qui donne un aspect floconneux aux colonies. Généralement, le mycélium aérien forme des chaînes de spores par séptation. Une fois mûrées, elles sont libérées dans l'environnement (des exospores). Si les spores sont localisées dans un sporange, on peut parler de sporangiospores. Ces spores peuvent avoir des formes très variables (Prescott, 2018).

Les spores d'actinomycètes présentent une grande variété d'arrangements.

- ✓ Des spores isolées (*Micromonospora*).
- ✓ Deux à deux longitudinalement (*Microbispora*).
- ✓ En courtes chaînettes (*Actinomadura*).

- ✓ En longues chaînettes (*Streptomyces*) : les chaînettes de spores peuvent être ramifiées ou non, droites, flexibles ou en spirales. Elles peuvent être rayonnantes autour d'hyphes sporophores.

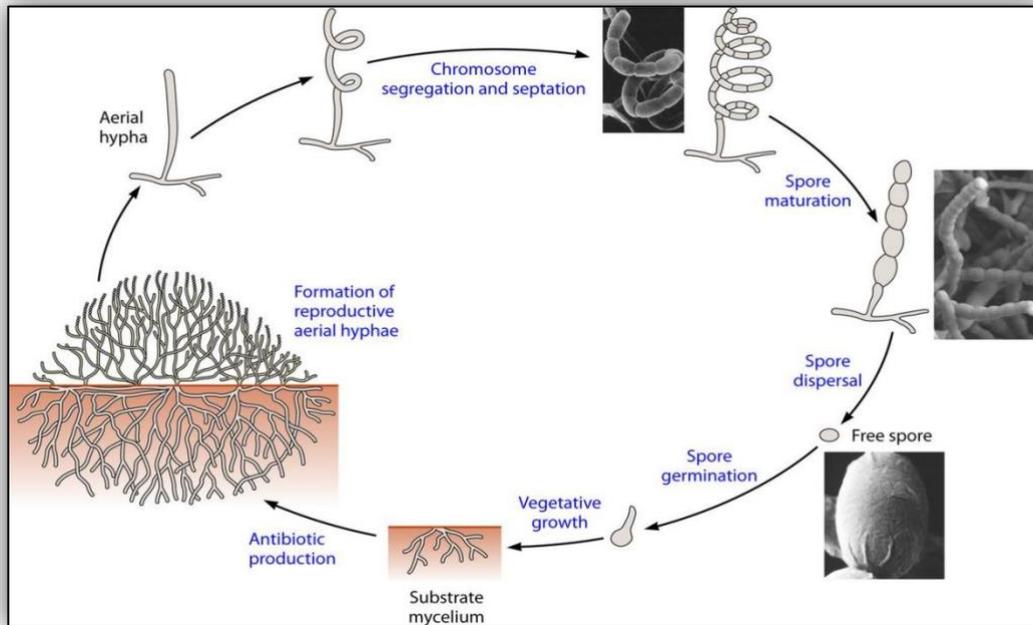


Figure I. 3: Représentation schématique du cycle de vie des actinomycètes sporulant (Barka *et al.*, 2015) .

I.6. Ecologie et distribution dans la nature

Les actinomycètes sont des microorganismes ubiquitaires, on les rencontre dans toutes les zones naturelles courantes (Tableau 01) (Waksman, 1959). Les métabolites bioactifs ont des fonctions écologiques importantes, aussi diverses que leurs structures chimiques (van Bergeijk *et al.*, 2020) . Ils ont également un rôle important dans la décomposition des composés xénobiotiques et le recyclage des nutriments (Trujillo, 2016).

Tableau I. 1: Distribution des genres des actinomycètes dans la nature (Larpent et Sanglier, 1989).

Actinomycètes	Habitats
<i>Actinoplanes</i>	Eau douce, la litière végétale, le sol.
<i>Frankia</i>	Nodules racinaires des non-légumineuses.
<i>Micromonospora</i>	Eau douce, les sédiments, les sols humides
<i>Nocardiaamarae</i>	Les boues activées.
<i>Rhodococcuscoprophilus</i>	Les déjections animales, l'eau, le sol.
<i>Saccharopolysporarectivirgula</i>	Moisi du foin.
<i>Streptomyces</i>	Le sol, la litière végétale, l'eau
<i>Thermoactinomyces</i>	Compost

I.6.1. Le sol

Les actinobactéries vivent principalement dans le sol (**Kuster, 1968**),et forment les groupes les plus abondants. Ils sont responsables du caractère « terreux » de l'odeur d'un sol frais (**Sprusansky et al., 2005**).

Ils sont répandus dans tous les sols à l'exception des sites exposés à des conditions extrêmes. Ils sont principalement présents dans les couches entre la surface du sol jusqu'à une profondeur de 2 m, c'est-à-dire dans la rhizosphère. Le genre *Streptomyces* est la plus commun dans le sol, couvrant à elle seule 95 % des souches d'actinomycètes isolées (**Nonomura, 1969**). Le tableau 2 montre la fréquence de divers actinomycètes dans le sol.

Tableau I. 2: Fréquence des divers genres d’actinomycètes dans le sol (Tokiniaina, 2010).

Genres	Pourcentage (%)
<i>Streptomyces</i>	95,34
<i>Nocardia</i>	1,98
<i>Micromonospora</i>	1,40
<i>Thermomonospora</i>	0,22
<i>Actinoplanes</i>	0,20
<i>Microbispora</i>	0,18
<i>Mycobacterium</i>	0,14
<i>Streptosporagium</i>	0,10
<i>Actinomadura</i>	0,10
<i>Microspolyspora</i>	0,10
<i>Pseudonocardia</i>	0,06
<i>Microellobosporia</i>	0,04

Les actinomycètes représentent une proportion élevée de 30 % de la biomasse microbienne dans les sols de la rhizosphère. Ils sont représentés par les genres *Streptomyces* et *Nocardia* (Yadav *et al.*, 2018). D'autres genres nommés *Frankia* et *Micromonospora* peuvent être présents. La symbiose est rencontrée dans certains genres capables de fixer l'azote atmosphérique par les actinonodules dans les arbres et arbustes (Barka *et al.*, 2015).

I.6.2. Eaux douces et marines

Les actinomycètes marins, en particulier ceux isolés des environnements côtiers (par exemple, les sédiments côtiers peu profonds), sont taxonomiquement liés à des genres terrestres connus et proviennent donc probablement des spores dormantes déposées dans ces environnements à partir des eaux de ruissellement terrestres. Ainsi, les procédures d'échantillonnage moléculaires (métagénomiques), ont également révélé la présence d'actinomycètes véritablement adaptés au milieu marin, tel que *Rhodococcus marinonascens* ainsi que le nouveau genre *Salinispora* (Wink *et al.*, 2017). Les actinobactéries sont bien représentés dans ces milieux hydriques et on peut facilement en isoler les souches *Microspora*, *Actinoplanes* et de *Streptosporangiu*, qui sont présents principalement dans les sédiments au fond des rivières ou des lacs. Ils

jouent un rôle important dans la décomposition des débris végétaux et donnent à l'eau une odeur et un goût terreux (Lacey, 1997).

I.6.3. Air

La présence d'actinomycètes dans l'air, sous forme de propagules, est proportionnelle aux poussières dispersées par le vent (Lacey, 1997).

I.6.4. Thermophile

Des actinomycètes ont été isolés entre 40 et 60 °C à partir de divers substrats ; sols variés, fumier, compost, foin, fourrages. Ce sont des souches plutôt thermotolérantes que thermophiles (Lacey, 1997).

Les actinomycètes sont bien adaptés à la vie dans le sol ou les milieux aquatique et vivre en symbiose avec des plantes, des champignons et des animaux comme hôte. Cela est dû à sa capacité à produire des molécules actives utiles comme les antimicrobiens pour lutter contre les bactéries ou les champignons pathogènes, ou des enzymes pour dégrader des biopolymères (van der Meij *et al.*, 2017).

I.7. Physiologie et métabolisme

I.7.1. La température

Les actinomycètes sont des microorganismes généralement mésophiles, avec une température optimale de croissance entre 25 et 30 °C, mais certains sont capables de se développer à des températures élevées avoisinant les 50 °C ou 65 °C et peuvent aller plus (Goodfellow et Williams, 1983). Ils sont capables de produire des enzymes actives dans des conditions de température extrêmes. La température optimale de croissance du genre *Thermoactinomyces* par exemple est de 50 à 60°C. Le genre *Thermomonospora* possède des spores qui résistent à une température de 90 °C pendant 30 minutes (Holt *et al.*, 1994)

I.7.2. Le pH

Les actinomycètes préfèrent un pH neutre ou peu alcalin (Omura, 1992). La croissance optimale se situe dans un intervalle compris entre 7 et 8, mais on peut observer une croissance à des valeurs de pH inférieures à 4 (McKinney, 2004). Les procédures d'isolement ont été traditionnellement basées sur ce caractère de neutralité.

Des travaux ont montré l'existence d'une large diversité d'actinomycètes acidophiles qui diffèrent morphologiquement des espèces neutrophiles (**Basilio et al., 2003**). Les souches acidophiles croissent à des valeurs de pH comprises entre 3.5 et 6.5 avec un pH optimal de croissance compris entre 4.5 et 5.5 telles que : *Streptacidiphillus jiangxiensis* (**Huang et al., 2004**) et *Streptacidiphilus orzae* (**Wang et al., 2006**).

I.7.3. L'oxygène

Selon le type respiratoire, les actinomycètes peuvent être séparés en deux groupes : les formes oxydatifs aérobies, qui se trouvent essentiellement dans le sol et les formes fermentatives anaérobies strictes ou facultatives, qui vivent dans les cavités naturelles de l'homme et des animaux (**Silini, 2012**).

I.7.4. L'humidité

L'humidité est un facteur important de la croissance et du développement microbiens (**Zvyagintsev et al., 2007**). Les actinomycètes ont été isolés dans des sols contenant des taux faibles jusqu'à modérés d'humidité, ce qui suggère qu'ils ne sont pas beaucoup influencés par les conditions semi-arides (**Oskay et al., 2004**). Selon (**Sayed et al., 2020**). Il a été démontré que les actinobactéries alcali-halotolérantes isolé à partir des sols hyperarides salés sont adaptés à la sécheresse. Des expériences sur des cultures d'actinomycètes pures indiquent que leur résistance au séchage est due à la résistance des spores, tandis que les hyphes végétatifs des procaryotes mycéliens exposés au séchage sont rapidement endommagés.

I.7.5. L'activité de l'eau (Aw)

La majorité des actinomycètes poussent dans des conditions humides mais peuvent se développer dans des endroits où l'activité de l'eau (Aw) est très basse (**Goodfellow et Williams, 1983**). La germination des spores de la plupart des actinomycètes peut être observée à des valeurs d'activité d'eaux supérieures ou égales à 0.67. L'activité de l'eau optimale pour la croissance et le développement des actinomycètes est égal à 0,98 (**Zvyagintsev et al., 2005**).

I.7.6. Tolérance pour NaCl

Selon leurs exigences en NaCl, les actinobactéries semblaient être l'un des taxons bactériens les plus courants dans les sols salins, étant dominants dans les sols à haute et basse salinité (Canfora *et al.*, 2014). L'abondance relative des actinobactéries est passée de 50,72 % à 19,75 % de la couche profonde (29-30 cm) à la couche supérieure (0-1 cm) (Tan *et al.*, 2019).

I.8. Les actinobactéries hyper-halophiles

La flore microbienne est très importante dans les environnements hypersalins. La concentration en sel de ces écosystèmes, dépasse les 3,5 % du sel total dissous. Ces écosystèmes hypersalins sont principalement représentés par sebkhas et chott (Abdelshafy Mohamad *et al.*, 2018). L'isolement des actinomycètes à partir d'environnements très salés et leur tolérance à des concentrations élevées en sel ont été décrits pour la première fois par (Tresner *et al.*, 1968). La première souche d'actinomycète halophile extrême a été isolée fortuitement par Gochnauer en 1975, à partir d'une contamination d'une culture d'halobactérie ensemencée sur un milieu à 25 % de NaCl (BOUDJELAL-BENCHEIKH, 2012).

I.8.1. Halophilie et halotolérance

Par définition, les organismes halophiles du grec «alos» signifiant «sel» et «phileine» signifiant «aimer» le sel. Ce sont des êtres vivants qui tolèrent ou ont besoin de sel pour leur croissance (Seck *et al.*, 2018). Les halophiles sont caractérisés en fonction de leurs besoins en sel pour leurs croissances. En revanche, les bactéries halotolérantes n'ont pas besoin de NaCl pour leur croissance, bien qu'ils poussent dans une salinité élevée et dans des environnements dépourvus de forte concentration de sel (Ismet, 2013). Selon leurs exigences en NaCl, les microorganismes sont divisés en deux groupes :

- ✓ **Les halophiles** : ont besoin de sel (NaCl) pour leurs croissances, cette concentration peut varier de 1-6 % (P/V) pour les faiblement halophiles, jusqu'à 15-30 % pour les bactéries halophiles extrêmes.
- ✓ **Les halotolérants** : acceptent des concentrations modérées de sels mais non obligatoires pour leurs croissances. On distingue, les légèrement tolérants (tolèrent de 6 à 8 % de NaCl (P/V)) ; les modérément tolérants (tolèrent de 18 à

20 % de NaCl (P/V)) et les extrêmement tolérants (se développent de 0 % jusqu'à saturation en NaCl) (Nanjani & Soni, 2012).

I.8.2. Mécanisme d'adaptation en milieu salin :

L'adaptation est le processus évolutif par lequel un organisme développe la capacité de vivre dans son habitat. Les changements environnementaux favorisent certaines populations et en obligent d'autres à développer des mécanismes tels que la compétition microbienne pour les nutriments et la production d'antibiotiques afin de survivre dans certaines conditions et au stress environnementaux (Gohel *et al.*, 2015). Pour s'adapter aux conditions salines, les bactéries halophiles ont développé diverses stratégies pour maintenir leur structure et leurs fonctions cellulaires. Il s'agit notamment de l'accumulation d'osmolytes comme l'éctoïne et l'hydroxyectoïne, ainsi que la glycine-bétaine (Vargas *et al.*, 2008). Ils survivent principalement à travers deux mécanismes : « riche en sel » et « faible teneur en sel, soluté organique » (Seck *et al.*, 2018). La stratégie « riche en sel » où l'équilibre osmotique, dans ce cas, il se produit une accumulation de concentrations élevées de sels inorganiques dans le milieu. Cela est dû à l'exclusion des ions Na⁺ d'autant que possible à partir des cellules, elle est basée sur le KCl plutôt que sur NaCl comme principal sel intracellulaire (Gunde-Cimerman *et al.*, 2018). La stratégie faible teneur en sel consiste à l'accumulation de matières organiques solutés osmotiques (glycine bétaine, ectoïne, glycérol, sucres simples, etc., souvent appelés « solutés compatibles») (Oren, 2013). Ils y à formation de molécules polaires très solubles, la plupart non chargés au pH physiologique et de faible poids moléculaire (Oren, 2013). Ces molécules agissent comme des protecteurs contre ce stress et peuvent stabiliser les bio-macro-molécules.

I.9. Importances des actinomycètes

La biodiversité des actinomycètes dans différents écosystèmes a donné naissance à une importante variété de composés bioactifs très avantageuses et rentable de point de vu commerciale (Bouaziz, 2018). Spécialement, il est question de divers agents antimicrobiens et d'autres substances industriellement importantes telles que des enzymes (Sharma *et al.*, 2014). Ce sont plusieurs secteurs qui en profitent.

I.9.1. En biotechnologie

Les actinomycètes sont les procaryotes les plus précieux sur le plan économique et biotechnologique (**Lam, 2006**). Une grande diversité métabolique et un potentiel biotechnologique a été relevé dans ces microorganismes halophiles et halotolérant. Il est remarqué que les actinomycètes halophiles sont une source inestimable de nouveaux produits d'intérêts industriels ayant des activités antimicrobiennes, cytotoxiques, neurotoxiques, antimitotiques, antivirales et antinéoplasiques (**Singh et al., 2006**).

I.9.2. En agronomie

Les actinomycètes représentent un pourcentage élevé de la biomasse microbienne du sol. Ils ont la capacité de produire une large variété d'hydrolases extracellulaires. Ces enzymes ont un rôle précieux dans la décomposition de la matière organique dans le sol. En plus, de leurs fonctions de décomposition très actives, les actinomycètes agissent en interactions avec les plantes et intéressent par conséquent, plusieurs chercheurs (**Valois et al., 1996**). Le genre *Frankia* est très connu en foresterie pour son rôle dans la fixation d'azote atmosphérique en symbiose dans les nodules racinaires de certains arbres dicotylédones (autres que les légumineuses) comme le casuarina, l'orme, l'aulne, etc. (**Becking, 1974**). Les actinomycètes ont trouvé une application dans la lutte contre quelques maladies des plantes, comme c'est le cas de la *kasugamycine*. Ces antibiotiques sont utilisés depuis longtemps et à grande échelle dans l'agriculture japonaise, notamment contre certaines maladies du riz (**BOUDJELAL-BENCHEIKH, 2012**). En outre, certains métabolites produits par les actinomycètes sont impliqués dans le processus de recyclage et participent largement dans les différents processus de bio remédiation. Elles sont capables de dégrader des composés organiques complexes tels que la chitine grâce à un potentiel enzymatique riche ainsi que des spores résistantes à la dessiccation (**Djinni, 2009**).

Chapitre II:

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

II.1. Généralité sur les environnements salins et hyper-salins

Les environnements salins et hyper-salins sont considérés comme étant des écosystèmes extrêmes. Ils peuvent être extrême pour un organisme ou essentiel pour la survie des autres organismes (**Madigan et Marrs, 1997**). Ce terme a été utilisé pour la première fois par **MacElroy** en **1974**. Ces biotopes sont connus par leurs propriétés géochimiques, leurs populations microbiennes et leur attirance esthétique uniques (**Paul et Mormile, 2017**). Ce type d'environnement est très répandu sur notre planète et aussi en Algérie (**Litchfield et Gillevet, 2002**).

Il existe principalement, deux types majeurs d'environnement hyper-salins représentés par le sol et l'eau. Les sols sont considérés comme salins lorsqu'elles contiennent une concentration en sels soluble supérieure à 0.2% (p/v) (**Kaurichev et al., 1980**). Pour les eaux, elles sont considérées comme salins lorsque la salinité dépasse 0.3% (p/v) et hyper-salées lorsque la salinité est supérieure à 3.3% (p/v) (**Edgerton et Brimblecombe, 1981**).

Les environnements hyper-salins tels que les lacs hyper-salins, étangs solaires, les chotts et les sebkhas, sont largement répandus dans le monde (**Oren, 2011**). Ils constituent le plus grand écosystème de la Terre. Ils sont riches d'une variété d'organismes des trois domaines de la vie (**Kirtel et al., 2018**).

La plupart des environnements hyper-salins proviennent de l'évaporation de l'eau de mer, favorisée par des débits, les températures élevées, les faibles précipitations, la faible humidité et la grande vitesse du vent (**McGenity et al., 2000**).

II.2. Origine des environnements hyper-salins

II.2.1. Sol

La salinité des sols est caractéristique des zones où l'évapotranspiration (l'eau transférée dans l'air à partir des plantes, du sol et d'autres surfaces) dépasse les précipitations. La salinisation des sols est donc plus courante dans les régions arides et semi-arides (**Ait Bachir et Asli, 2020**). Les facteurs majeurs responsables de la salinisation naturelle sont le dépôt de sels océaniques par le vent, les précipitations (eau de pluie), l'altération et le transport des roches mères (**Kirtel et al., 2018**) (**FigII. 1**).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

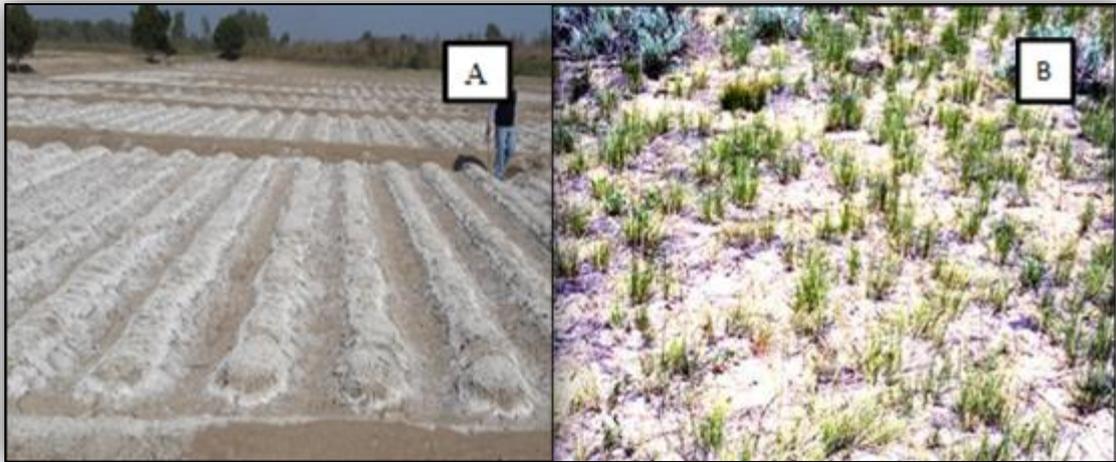


Figure II. 1: Sols salés.

Site 1 : <https://images.echocommunity.org/278463d0-b40b-4c61-a7d1-2517be890b23/tn-84-figure-2.jpg?w=1000&q=high> (A).

Site 2 : <https://www.salineagricultureworldwide.com/agriculture-en-sol-salin> (B).

II.2.2. Eau

Sur toute la surface de la terre, un pourcentage de 70,8 %, soit 362 millions de km² est représenté par des océans et des mers (**Edwards et Richardson, 2004**). La quantité de sels dissoute dans les mers ou océans a été estimée à 4.26×10^{16} tonnes (**Gavrieli et al., 1999**). Il y a deux types d'origine de sel dans les milieux hyper-salés : les thalassohalins et les athalassohalins (**Gerday (2007).**)

On dit thalassohalins (en grec thalasso signifié la mer) lorsque l'origine de sel est l'eau de mer. La constitution en sel de ces milieux est similaire à celle de l'eau de mer, dans laquelle l'ion de chlorure de sodium est le sel prédominant. Des exemples d'environnements thalassohalins sont : le Grand Lac Salé, Utah aux états unis et les marais salants en France et en Espagne (**Oren, 2002**) (**FigII. 2**).

- ✓ On dit athalassohalins lorsque l'origine de sel provienne de la dissolution d'évaporites par l'eau, dans laquelle les ions de potassium et magnésium sont les sels prédominants. Des exemples d'environnements athalassohalins sont : la Mer Morte, le Lac Rose salé au Sénégal et certaines sebkhas (**Oren, 2002**) (**FigII. 3**).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

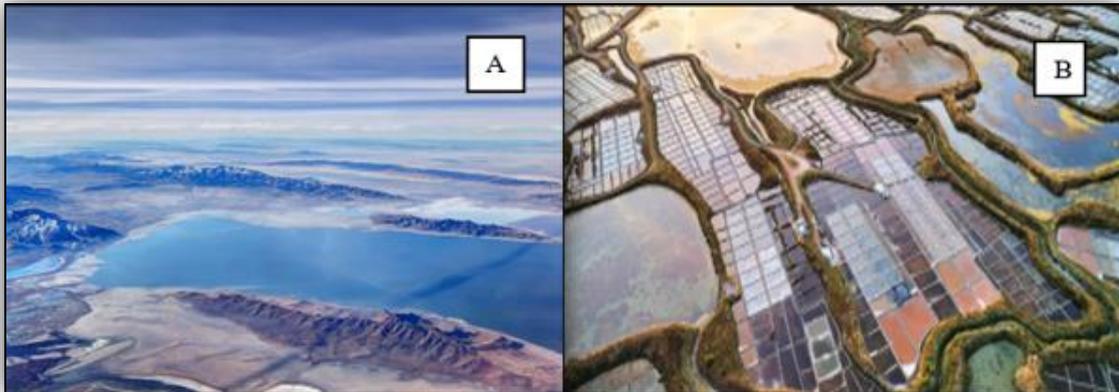


Figure II. 2: Environnements Thalassoaha.

Site3 : Grand Lac salé (États-Unis) : <https://voyageforum.info/images/posts/medium/1569086156-brlXymGCYhYOb5j.jpeg> (A).

Site4 : Marais de sel : <https://www.labaule-guerande.com/les-celebres-marais-salants-de-guerande.html> (B).



Figure II. 3: Environnements Athalassohalin.

Site5 : Mer Morte <https://www.timeout.fr/israel/fr/sites-et-monuments/la-mer-morte> (A).

Site6 : Lac rose au Sénégal : <https://www.guywilmotte.com/le-lac-rose-au-senegal-une-merveille> (B).

II.2.3. Les lacs salés

Les lacs salés sont des écosystèmes aquatiques intérieurs (**Donaire, 2000**) que l'on trouve dans toutes les zones continentales d'Asie, d'Amérique du Sud, d'Amérique du Nord, de l'Australie, de l'Europe et de l'Afrique (**Demnati et al., 2017**), (**Fig.7**). Elles sont isolées de la mer, ou étaient autrefois reliées à la mer, mais se sont asséchées avant d'être inondées à nouveau par des sources non marines (**Williams, 2002**). Ces écosystèmes uniques sont principalement limités aux zones arides (précipitations annuelles moyennes annuelles entre 25 et 200 mm) et semi-arides (précipitations annuelles entre 200 et 500 mm) (**Williams, 1998**).

De nombreux lacs salés sont des bassins de drainage endoréiques d'origine tectonique peuvent avoir des écoulements périodiques lors de moments de hauts niveaux d'eau élevés provoqués par des pluies intermittentes (**Britton et Crivelli, 1993**). Les rivières et les aquifères profonds servent de décharges naturelles pour les lacs salés (**Bryant et Rainey, 2002**).



Figure II. 4: Déclin des lacs salés Dans le monde.

Site7 : https://media.springernature.com/full/springerstatic/image/art%3A10.1038%2Fng3052/MediaObjects/41561_2017_Article_BFng3052_Fig1_HTML.jpg.

II.2.4. Chotts et Sebkhass

Différents termes locaux ont été donnés pour caractériser les zones humides salines (**Rosen, 1994**). En Afrique du Nord et plus particulièrement en Algérie, les lacs salés sont considérés comme des chotts et des sebkhas (**Demnati et al., 2017**). Les chotts et les sebkhas sont typiquement des lacs saisonniers qui s'assèchent en été et se ré-inondent en hiver (**Bouزيد et al., 2012**).

Le mot « sebkha » désigne des dépressions à fond plat, souvent inondables, où le sol salé interdit toute végétation. Souvent, ces dépressions lacustres sont l'endroit où l'eau du lac s'évapore, laissant derrière elle des sels dissous dans le bassin-versant. Parfois cependant ces sebkhas sont ou ont été en communication avec la mer (**Perthuisot, 1981**). Les sebkhas sont considérées comme des dépressions fermées qui sont périodiquement inondées et accumulent les sels (**Demnati et al., 2017**). En 2002, **Dubost** décrit le Chott comme une zone salée entourant la sebkha.

L'Algérie abrite les plus grands chotts d'Afrique du Nord. La taille et la profondeur sont très variables, et leur superficie varie de 76 à 850 000 ha (DGF 2004). La profondeur peut aller de 20 cm à 4 m. Il est important de noter qu'il existe de fortes fluctuations saisonnières et annuelles de la profondeur et de la surface (**DEMNETI, 2014**), ce qui rend le suivi à long terme extrêmement important (**Demnati et al., 2017**). (**FigII. 5**)

La différence entre chott et sebkha réside dans le fait que le chott est alimenté uniquement par les eaux de ruissellement, alors que la sebkha est alimentée en plus par les eaux souterraines (**Ouabed, 2011**).



Figure II. 5: Exemple de chott et sebkha en Algérie.

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

Site8: Chott-Melrhir:

https://www.aps.dz/media/k2/items/cache/58bd1bb1cb534741b1537465cbd0d232_M.jpg (A).

Site9 : Sebkha d'Oran : <https://c8.alamy.com/zoomsfr/9/b17967a96ca24f6182ed2904337687e9/f01tp8.jpg>

(B).

II.2.5. Sédiment

Un sédiment est une accumulation par dépôt de particules de taille variable ayant subi, indépendamment les unes des autres un transport, ou provenant de la précipitation des minéraux d'un liquide. Les sédiments peuvent rester stables pendant de longues périodes, des millions d'années pour consolider les roches. Ils peuvent aussi être déplacés par des forces naturelles telles que le vent ou le ruissellement de l'eau, soit sur la surface, immédiatement après les pluies, ou transportés par les cours d'eau (**Site 10**).

Un sédiment se caractérise par la nature minéralogique de ses constituants, par leur taille, par leur état de surface et par leur éventuelle cimentation. De ces caractéristiques, on peut avoir des indications sur le mode de mise en place du sédiment et de son évolution postérieurement au dépôt (**Site 11**).

Les principaux milieux de sédimentation sont :

- ✓ Milieux continentaux : milieux aériens (sols), milieux aquatiques (lacs).
- ✓ Milieux marins
- ✓ Milieux intermédiaires (**Fig II.6**) (**Site 12**).

Les sédiments sont un réservoir inestimable de microorganismes divers. Concernant la colonisation normale des sédiments du milieu marin par la population actinomycétales, les avis sont controversés quand leur origine. Selon les uns, il existerait une flore d'actinomycètes spécifique aux sédiments marins caractérisée par sa halotolérance, son halophilie et une température optimale faible. Selon d'autres, les actinomycètes isolés de ces milieux correspondraient à des souches terricoles adaptées à la salinité marine (**Larpen et Sanglier, 1989**).

Les actinobactéries sont bien représentés dans les sédiments des fonds fluviaux ou lacustres où ils jouent un rôle important dans la décomposition des débris végétaux et donnent à l'eau son odeur de terre et sa saveur (**Xu et al., 1996**). Certaines

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

souches d'actinomycètes ont été retrouvées dans des sédiments situés à plus de 4 000 m de profondeur (Khattabi *et al.*, 2002). D'après Hans-Peter, 2005, un total de 600 souches d'actinomycètes isolées à partir de sédiments marins sont originaires de divers sites des océans Pacifique et Atlantique.

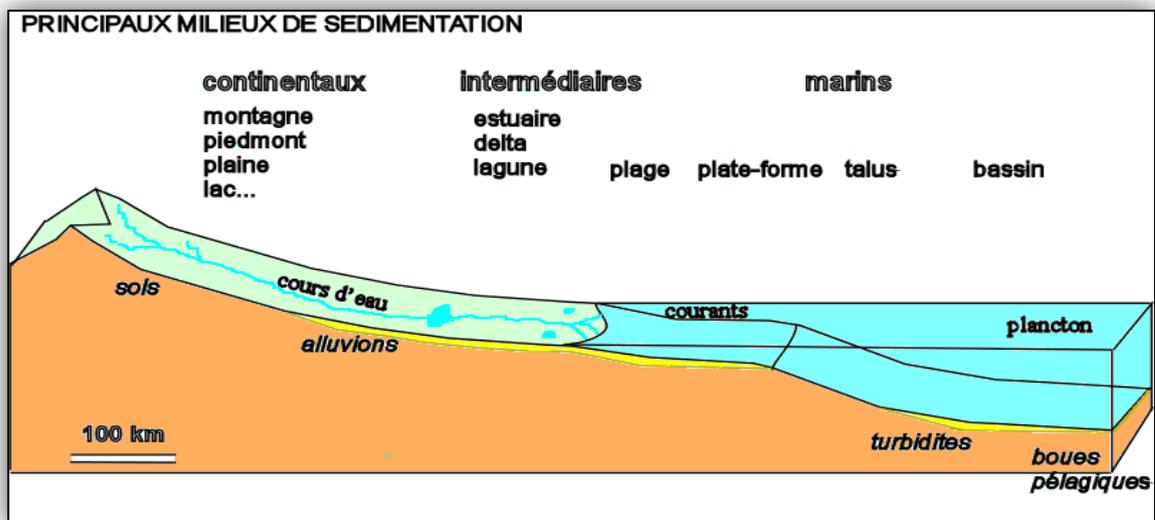


Figure II. 6: Principaux milieux de sédimentation.

https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours-sed/sed-2_fichiers/sed2-7.gif.

II.3. Caractéristiques physico-chimiques des environnements hyper-salins

II.3.1. Propriétés physico-chimiques du Sol

La qualité physico-chimique du sol est importante à connaître car elle conditionne la diversité de la microflore tellurique (Harouna Maidoukia, 2014).

II.3.1.1. Le pH

Le pH du sol c'est l'information la plus importante pour déterminer les caractéristiques du sol. Il indique si un sol est acide ou alcalin (Par exemple, la disponibilité des nutriments essentiels et la toxicité d'autres éléments peuvent être estimées en raison de leur relation connue avec le pH) (Thomas, 1996). Il est généralement inférieur à 8,5 (Dogar, 1980).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

II.3.1.2. La conductivité

La conductivité électrique donne une indication sur la teneur en électrolytes hydrosolubles cela indique le degré de la salinité d'un milieu. Elle se mesure moyennant un conductimètre à électrode (Boudoudou *et al.*, 2009).

II.3.1.3. L'humidité

L'humidité du sol, c'est la quantité d'eau qu'il contient. Elle dépend de la qualité du sol et de sa capacité à retenir l'eau (Site 4). Elle se détermine par la différence des pesées du sol séché à l'air ambiant et chauffé (Touhtouh *et al.*, 2014). Le pourcentage d'humidité est calculé d'après la relation : $H = \frac{PH - PS}{PH} \times 100$.

H : Humidité en pourcent (%).

PH : Poids humide de l'échantillon.

PS : Poids sec de l'échantillon (Lee et Hwang, 2002).

II.3.1.4. Matière organique du sol salin

Le sol salin contient une faible quantité de matière organique, généralement comprise entre 1 et 5%. Cette quantité de matière organique, dont le carbone organique constitue à peu près la moitié, est très importante pour le fonctionnement du sol. Leur rôle est représenté par leur forte capacité de rétention d'eau et permet donc d'augmenter la réserve utile du sol (Site 5). La détermination de la matière organique est réalisée en incinérant les échantillons de sol dans un four à moufle à 450°C pendant 16 heures. La matière organique est représentée par la différence entre le poids sec et celui de la cendre (Djaballah, 2010).

II.3.2. Propriétés physico-chimiques de l'eau saline

II.3.2.1. Le pH

La précipitation du calcium ou du sulfate de calcium et celle du magnésium sous la forme de sépiolite, influencent le pH final du milieu car la formation de la sépiolite génère des ions H⁺ et la précipitation du carbonate supprime l'alcalinité du milieu (DasSarma et Arora).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

II.3.2.2. La conductivité

La conductivité électrique représente la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est proportionnelle à la minéralisation de l'eau. Plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés plus la conductivité est élevée (**Reggam *et al.*, 2015**).

II.3.2.3. La composition chimique

Le principal sel, présent en quantité quasi inépuisable dans les mers, les océans, les lacs salés et dans les mines de sel, est le chlorure de sodium. La majorité des eaux hyper-salines contiennent 8 à 10 fois plus de sels dissous totaux que l'eau de mer (**Caumette, 1998**).

II.3.2.4. L'oxygène

Les systèmes hyper-salés sont des environnements anoxiques en dehors de la surface des eaux, car les températures élevées et la forte salinité limitent la solubilisation de l'oxygène et engendrent des zones favorables à la prolifération d'une flore anaérobie (**Por, 1980**).

II.3.3. Propriété physicochimique des sédiments

Les sédiments constituent des particules solides qui peuvent être d'origine naturelle ou anthropique.

II.3.3.1. Origine naturelle

Les particules peuvent être soit endogènes ou exogènes au cours d'eau. Les particules endogènes sont principalement constituées des matières organiques essentiellement composées des organismes aquatiques appartenant aux règnes animal ou végétal (plancton, plantes supérieures, algues). Les particules exogènes sont principalement des particules minérales provenant d'une part de l'érosion éolienne des sols et d'autre part de l'érosion hydrique du bassin-versant et des phénomènes de ruissellement. Elles peuvent également être de nature organique, principalement des feuilles d'arbres transportées par le vent dans le canal ou cours d'eau.

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

II.3.3.2. Origine anthropique

Dans ce cas, les particules peuvent être de nature organique ou minérale et proviennent des activités industrielles, urbaines ou agricoles.

II.3.3.2.1. Composition physique des sédiments

Les sédiments sont principalement composés d'eau interstitielle et de particules solides. L'eau interstitielle peut représenter jusqu'à 90 % du volume sédimentaire non compacté et jusqu'à 50 % des formations plus profondes et plus compactées. Comme le sol, les particules solides se composent principalement de sable, de limon, d'argile, de matière organique, d'oxydes de fer et de manganèse. La granulométrie des sédiments varie selon la zone géographique (Palou, 2009).

II.3.3.2.2. Composition géochimique des sédiments

On parle particulièrement des argiles. Dans le sens minéralogique du terme, les argiles proviennent de la décomposition lente de minéraux comme le feldspath, les micas, les amphiboles et les pyroxènes. Ce sont des silicates d'alumine, plus ou moins hydratés, de formule générale $(N \text{ SiO}_2 \text{ Al}_2 \text{ O}_3 \text{ M H}_2\text{O})$, dont le rapport moléculaire $\text{SiO}_2 \text{ Al}_2 \text{ O}_3$ varie entre deux et cinq. (Palou, 2009). Les argiles représentent une structure cristalline disposée en feuillets à écartements caractéristiques. Les feuillets sont constitués d'un empilement de couches tétraédriques de SiO_2 et de couches octaédriques d' $\text{Al}_2 \text{ O}_3$. La classification des Argiles se fait en fonction de trois critères :

- ✓ la Structure des feuillets.
- ✓ l'espacement des feuillets.
- ✓ substitution des charges sein des feuillets (Palou, 2009).

II.4. Collecte des échantillons pour l'isolement des actinobactéries

Les actinomycètes sont difficiles à isoler par les méthodes traditionnelles. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte lors du processus d'isolement (Khanna *et al.*, 2011). Les chercheurs doivent être accoutumés avec toutes les connaissances sur la physiologie et les taxonomies des actinobactéries et autres microorganismes. Les composants, la concentration des milieux, le pH, les différents inhibiteurs, la température de culture, sont des facteurs parmi les plus déterminants pour un bon

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

isolement des actinobactéries. Les procédures d'isolement doivent être sans cesse renouvelées et améliorées (Jiang *et al.*, 2016). Le choix de nouvelles niches écologiques non explorées auparavant, reste un facteur essentiel dans une nouvelle et innovante démarche d'isolement (Zhang *et al.*, 2007).

II.4.1. Isolement des actinobactéries à partir du sol

Le sol demeure un réservoir inépuisable de nouvelles actinobactéries. Le nombre et les types d'actinobactéries présents dans le sol varient considérablement selon plusieurs facteurs comme la présence de nutriments dans le sol, l'aération, le pH, la température, la salinité, l'humidité et la teneur en matière organique (Jiang *et al.*, 2016). Avant de commencer toute analyse microbiologique des sols, il est important de choisir une stratégie d'échantillonnage adéquate. L'emploi d'inhibiteurs spécifiques dans les milieux est d'une importance capitale dans l'isolement des actinobactéries. En effet, les actinobactéries sont très lentes à pousser et les autres germes comme les *Bacillus* par exemple, à croissance rapide, gênent fortement la sélection de ces bactéries. Le pH élevé ou bas, l'aérobiose ou l'anaérobiose, la salinité élevée, sont aussi des facteurs importants (Paul, 2007). Les échantillons du sol subissent quelque fois des prétraitements afin d'augmenter le nombre des actinobactéries, pour cela, deux prétraitements sont généralement appliqués : Le traitement par la chaleur : Un chauffage de l'échantillon à 110 °C pendant quelques minutes après éparpiller l'échantillon sur le papier aluminium pour permettre un bon traitement (BOUDEMAGH et BENSOUICI, 2014), permet d'inhiber les autres bactéries et favoriser les actinobactéries. Le traitement par carbonate de calcium (Kämpfer, 2006). Permet de favoriser les *Streptomyces*.

II.4.2. Isolement des actinobactéries à partir de l'eau

Les échantillons d'eau sont prélevés manuellement. Elles sont prélevées dans des flacons stériles de 1 litre propres rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans les flacons. Les flacons sont transportés par la suite dans une glacière (Ibrahimi, 2020). Afin d'obtenir une analyse aussi représentative que possible de l'échantillon d'eau, les échantillons doivent être stockés dans l'obscurité et dans une glacière à 4 °C. Cette méthode est généralement utilisée lorsque l'analyse est effectuée dans les 24 heures suivant l'échantillonnage. Si

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

l'analyse en 24 heures n'est pas possible, dans ce cas, l'échantillon d'eau doit être stabilisé avec un agent de conservation chimique : le thiosulfate de sodium (**Hébert et Légaré, 2000**). Les milieux et les conditions requises pour l'isolement des actinobactéries à partir de l'eau, sont généralement les mêmes que celles du sol.

II.5. Nouvelles actinobactéries isolées à partir des sols salins et hyper-salins.

Les sols salins et hyper-salins renferment une biodiversité très variées et interminables de la flore actinomycète. Dans cette recherche bibliographique nous présentons les travaux relativement récents, sur la mise en évidence de nouveaux genres et de nouvelles espèces d'actinobactéries dans les écosystèmes telluriques salins et hyper-salins. Nous avons choisi de recenser les résultats de 20 ans de recherches sur ces bactéries du monde salin et hyper-salin car ces écosystèmes ont été avant cela, longtemps négligés par les chercheurs, à cause des conditions extrêmes qui reflètent ces biotopes. (Le tableau II. 1), synthétise les milieux et les conditions d'isolement de ces nouvelles actinobactéries.

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

Tableau II. 1: Milieux de culture et conditions nécessaires à l'isolement des différents nouvelles actinobactéries à partir du sol.

Genre	Espèce	Milieu de culture	NaCl	Condition d'incubation	Référence
<i>Zhihengliuella</i>	<i>Z.halotolerans</i>	un bouillon marin (Difco 2216, MB)	15 %	à 28 °C pendant 2 jours	(Zhang <i>et al.</i> , 2007)
<i>Egibacter</i>	<i>E.rhizosphaerae</i>	Bouillon R2A	12 %	à 30 °C	(Zhang <i>et al.</i> , 2016)
<i>Nocardiopsis</i>	<i>N.compostus</i>	gélose CASO gélose SGA	25 %	pendant 14 jours à 28 °C	(Kämpfer <i>et al.</i> , 2002)
	<i>N.alba</i>	gélose CASO gélose SGA	25 %	pendant 14 jours à 28 °C	(Li <i>et al.</i> , 2004)
	<i>N.salina</i>	ND	10 %	28 °C	
	<i>N.ansamitocini</i>	Gélose R2A	12 %	30 °C	(Zhang <i>et al.</i> , 2016).
<i>Saccharomonospora</i>	<i>S.paurometabolica</i>	ISP2 et Gélose inclinée ISP5	10 %	35 et 37 °C	(Li <i>et al.</i> , 2003a)
	<i>S.saliphila</i>	n ISP 5 et ISP 2	10 %	28 °C	(Yoon <i>et al.</i> , 2010).
<i>Prauserella</i>	<i>P.halophila</i>	gélose amidon-caséine	20 %	28 °C	(Li <i>et al.</i> , 2003 b).
	<i>P.alba</i>	gélose amidon-caséine	20 %	28 °C	
<i>Streptomonospora</i>	<i>S.alba</i>	gélose amidon-caséine	20 %	28 °C	(Li <i>et al.</i> , 2003).
	<i>S.tuzyakensis</i>	ND	ND	ND	(Tatar <i>et al.</i> , 2013).
	<i>S.algeriensis</i>	ND	10-15 %	28 - 37 °C	(Meklat <i>et al.</i> , 2014).
<i>Nesterenkonia</i>	<i>N.halotolerans</i>	ISP 5	ND	28 °C	(Li <i>et al.</i> , 2004).
	<i>N.xinjiangensis</i>	ISP5	ND	28 °C	(Li <i>et al.</i> , 2008)
	<i>N.halophila</i>	MSG	0.5-30 %	28 °C	
	<i>N.flava</i>	LB	10 %	40°C	(Luo <i>et al.</i> , 2008).
<i>Microbacterium</i>	<i>M.halotolerans</i>	ISP5	15 %	28-30 °C	(Li <i>et al.</i> , 2005).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

<i>Isoptericola</i>	<i>I.halotolerans</i>	Agar modifiés glycérol-asparagine	10 %	28 °C	(Zhang <i>et al.</i> , 2005).
<i>Amycolatopsis</i>	<i>A.jejuensis</i>	Gélose à l'extrait de levure	2 %	10-30 °C	(Lee <i>et al.</i> , 2006).
	<i>A.halotolerans</i>	ISP2	7%	10-37 °C	
	<i>A.cihanbeyliensis</i>	Agar marin	10 %	28 °C	(Tatar <i>et al.</i> , 2013).
<i>Thermobifida</i>	<i>T.halotolerans</i>	ISP2	ND	45 °C	(Yang <i>et al.</i> , 2008).
<i>Brevibacterium</i>	<i>B.album</i>	ISP5	5%	28-45°C	(Tang <i>et al.</i> , 2008a).
<i>Saccharopolyspora</i>	<i>S.jiangxiensis</i>	ISP3	11%	28°C	(Zhang <i>et al.</i> , 2009).
<i>Kocuria</i>	<i>K.halotolerans</i>	ISP5	10%	37 °C	(Tang <i>et al.</i> , 2009 a).
	<i>K.dechangensis</i>	S-G	5%	35°C	(Wang <i>et al.</i> , 2015).
<i>Nocardioides</i>	<i>N.daedukensis</i>	ND	0-0.5%	30°C	(Yoon <i>et al.</i> , 2010).
<i>Actinopolyspora</i>	<i>A.erythraea</i>	ISP4	15%	37°C	(Tang <i>et al.</i> , 2011).
	<i>A.alba</i>	ISP4	10-25%	20-45°C	
<i>Glycomyces</i>	<i>G.halotolerans</i>	ISP 4	5%	37°C	(Guan <i>et al.</i> , 2011).
	<i>G.tarimensis</i>	ISP 4	5%	37°C	(Ling-Ling <i>et al.</i> , 2015).
<i>Micromonospora</i>	<i>M.halotolerans</i>	ISP 3	5 %	28°C	(Carro <i>et al.</i> 2013).
<i>Haloactinopolyspora</i>	<i>H.alkaliphila</i>	TSA	2.5-5.0 %	30°C	(Zhang <i>et al.</i> , 2014).
<i>Phytoactinopolyspora</i>	<i>P.halotolerans</i>	CCMS	5-8 %	28-37 °C	(Ji <i>et al.</i> , 2018).
<i>Streptomyces</i>	<i>S.triticiradicis</i>	ISP5	9%	28°C	(Yu <i>et al.</i> , 2020).

ND : Non déterminé. (Annexe 01)

Les résultats regroupés dans (le Tableau II. 1), montrent les conditions d'isolement et les nouvelles actinobactéries isolées à partir des sols salins. Les détails de cette communauté sont les suivantes :

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

❖ Le genre *Zhihengliuella*

Le genre *Zhihengliuella* est un nouveau genre d'actinobactéries, trouvé dans les sols salins du nord-ouest de la Chine dans la province de Qinghai. Dans ce genre, une nouvelle espèce a été décrites. Il s'agit de l'espèce *Z.halotolerans*. C'est un actinomycète aérobie caractérisé par des cellules courtes en forme de tige avec des colonies de couleur jaune et une surface lisse. Leur croissance optimale était à 28 °C à un pH compris entre 6 et 10 et un pourcentage d'NaCl à 15 % (**Zhang et al., 2007**).

❖ Le genre *Egibacter*

Le genre *Egibacter* est un autre genre découvert dans les échantillons de sol rhizosphériques de *Tamarix hispida* Willd, Karamay, province du Xinjiang, nord-ouest de la Chine. *.rhizosphaerae* est une autre espèce nouvelle également identifiée dans cet échantillon salin. Leurs cellules sont des bâtonnets, non-mobiles et ne produit pas de spores. Elle contenait de l'acide méso-diaminopimélique (peptidoglycane de type A1 γ), avec du glucose, de la glucosamine, du ribose et du mannose comme sucres principaux. Sa teneur en G +C% est de 72.1 %, NaCl optimale 12 % et a 30 °C (**Zhang et al., 2016 a**).

❖ Le genre *Nocardiopsis*

Quatre nouvelles espèces halophiles et halotolérantes ont été identifiées au genre *Nocardiopsis*. Ces espèces nécessitent pour leurs croissances des concentrations en NaCl allant de 10 à 25 %. *N. compostus* et *N. alba* ont été prélevés à partir d'une région à proximité d'une installation de compostage à Kassel-Niederzwehren, en Allemagne. Ils ont un mycélium aérien de couleur blanc à blanc cassé et un mycélium végétatif de couleur jaune brun ou incolore, leur spores sont lisses, de forme irrégulière et allongés (**Kämpfer et al., 2002**). Pour les deux dernières *N.salina* et *N.ansamitocini* ont été prélevées à partir d'un échantillon de sol de la province du Xinjiang en Chine. *N. salina* a un mycélium aérien abondants et un mycélium de substrat fragmentés. Elle porte des hyphes végétatifs long ; bien développées et fragmentés, les chaines de spores sont longues ou courtes (**Li et al., 2004 b**). *N. ansamitocini* est capable de produire l'antibiotique ansamitocine P-3. La bactéries présente des mycéliums de substrat non

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

fragmentés et des hyphes aériens blancs avec de longues chaînes de spores, sa teneur en G+C % est 70,2 % (**Zhang et al., 2016**).

❖ Le genre *Saccharomonospora*

Ce genre comprend 2 espèces nouvelles *S. paurometabolica* et *S. saliphila*. Elles ont été isolées à partir de deux régions différentes, l'une d'un échantillon de sol salin prélevé dans la province du Xinjiang, en Chine et l'autre d'un échantillon de sol boueux prélevé à Gulbarga, dans la province du Karnataka, en Inde. Ces isolats partagent les mêmes caractéristiques : un mycélium aérien bien développé et une bonne sporulation où les spores sont simples, non-mobile avec une surface ridée ou lisse et une croissance optimale de 28 à 37 °C. Ces bactéries halophiles sont capables de pousser à un pourcentage de NaCl égale le 10 % sur le milieu ISP2 (**Li et al., 2003a ; Yoon et al., 2010**).

❖ Le genre *Prauserella*

Il comprend 2 espèces *P.halophila* et *P.alba* qui sont originaires de la province du Xinjiang à l'ouest de la Chine. Ces deux nouvelles actinobactéries sont caractérisés par un mycélium du substrat fragmenté et un mycélium aérien bien développé. Le mycélium aérien forme de longues chaînes de spores avec des chaînes de spores courtes ou longues ramifiées à maturité, qui sont droites à flexueuses. Les spores sont immobiles et la croissance est optimale à une concentration de 20 % de NaCl à 28 °C de température (**Li et al., 2003 b**).

❖ Le genre *Streptomonospora*

Trois nouvelles espèces *S.alba*, *S.tuzyakensis* et *S.algeriensis* ont été récoltées dans différents échantillons de sol salin. Leur croissance optimale est observée à un pourcentage de NaCl compris entre 10 et 20 % et une température de 28 à 37° C. *S.algeriensis*, est isolée à partir d'un échantillon de sol prélevé dans un habitat hypersalin de la province d'El-Djelfa (centre-nord de l'Algérie). Cette bactérie est caractérisée par la production d'un mycélium aérien pauvre qui forme de courtes chaînes de spores (**Meklat et al., 2014**). La Deuxième, espèces nouvelles (*S.tuzyakensis*) a été isolée à partir du sol prélevé dans le lac Tuz (Salt), à Konya, en Turquie. Leur paroi cellulaire est contient l'acide méso-diaminopimélique et l'hydrolysate

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

de cellules entières contiennent du galactose, du glucose et du ribose (**Tatar et al., 2013**).

Finalement, *S.alba* un halophile, qui a été isolé d'un échantillon de sol salin prélevé dans la province du Xinjiang, en Chine. Elle est caractérisée par un mycélium aérien qui est formé de courtes chaînes de spores non-mobiles, droites à flexueuses avec des surfaces ridées et un mycélium du substrat (**Li et al., 2003**).

❖ Le genre *Nesterenkonia*

Dans ce genre, 4 nouvelles espèces ont été décrites. Elles ont été isolées à partir d'un échantillon de sol salin prélevé dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine à l'exception de *N.flava* qui a été isolée à partir des effluents d'une papeterie à Wuhan, en Chine. Les milieux d'isolement ont été tous additionnés d'NaCl à des concentrations compris entre 0.5-30%. La croissance optimale de ces bactéries a été remarquée à la température de 28 °C. *N.halophila* est une actinobactérie non-mobile, modérément halophile et alcalitolérante, sa teneur en G+C% était de 68,4 % (**Li et al., 2008**). *N.halotolerans* est caractérisée par des cellules de forme cocci mobiles, des colonies circulaires opaques. Son G+C % est de 64,4%. Tandis que *N.xinjiangensis* est caractérisée par des cellules bâtonnets non-mobiles et une teneur de G+C % de 66.7 % (**Li et al., 2004**). Finalement, *N.flava*, est une bactérie à Gram positif, non-mobile, en forme de bâtonnet, non sporulée avec une teneur en G+C de 65,5 % en moles (**Luo et al., 2008**).

❖ Le genre *Microbacterium*

Représenté par l'espèce *M.halotolerans* isolé d'un sol salin de la province du Qinghai en ouest de la Chine. Les propriétés morphologiques distinctives de cet isolat sont : des cellules court bâtonnet. Présentant des propriétés chimio-taxonomiques particulières avec un peptidoglycane de type (B2 β) additionné de résidus glycolyle. Sa teneur en G+C% est 66.5 mol%. Sa température optimale de croissance était de 28 à 30°C. Cette espèce pousse dans une concentration en NaCl de 15% (**Li et al., 2005**).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

❖ Le genre *Isoptericola*

Cette espèce non-mobile identifiée sous le nom *d'I.halotolerans* a été isolée à partir d'un échantillon de sol salin de la province de Qinghai, au nord-ouest de la Chine. Sa température optimale de croissance est 28 °C. Le pourcentage de sel (NaCl) nécessaire pour sa croissance est de 10%. Sa teneur en G+C% était de 72,8 % en moles (**Zhang et al., 2005**).

❖ Le genre *Amycolatopsis*

Dans ce genre, 3 nouvelles espèces à savoir *A.jejuensis*, *A.halotolerans* et *A.Cihanbeyliensis*, ont été isolées à des températures allant entre 10–37 °C et un pourcentage d'NaCl de 2 à 10%. Les deux premières sont isolées à partir d'une grotte naturelle sur l'île de Jeju, en République de Corée (**Lee et al., 2006**). Alors que la troisième est isolée depuis du sol prélevé à la mine de sel de Cihanbeyli dans la région centrale de l'Anatolie en Turquie (**Tatar et al., 2013**).

❖ Le genre *Thermobifida*

T.halotolerans est la seule espèce nouvelle isolée dans ce genre. Elle est caractérisé par : la présence de l'acide méso-diaminopimélique ; la cellule entière constitué de sucre galactose, xylose et glucose et une croissance à 45 °C (**Yang et al., 2008**).

❖ Le genre *Brevibacterium*

Une nouvelle actinobactérie dénommée *B.album* qui se présente sous forme de bâtonnet poussant uniquement dans les milieux qui contiennent 5 % de NaCl et à une température de 28-45°C. Elle a été isolée d'un sol salin dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Les sucres de leurs parois cellulaires, sont représentée par du galactose et les phospholipides étaient le phosphatidylglycérol et le diphosphatidylglycérol (**Tang et al., 2008a**).

❖ Le genre *Saccharopolyspora*

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

S.Jiangxiensis isolée du sol d'un champ d'herbe à partir de Jiangxi en Chine. La souche peut tolérer jusqu'à 11 % de NaCl et pousse à une température de 28°C sur le milieu ISP2 (Zhang *et al.*, 2009).

❖ Le genre *Kocuria*

Dans ce genre, 2 espèces nouvelles (*K.halotolerans* et *K.dechangensis*), ont été récemment décrites. La première a été isolée initialement à partir d'un échantillon de sol salin prélevé dans la réserve naturelle nationale de la forêt de Ganjiahu Suosuo dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Cette espèce présente un G+C% de 68,0 % en moles (Tang *et al.*, 2009 a). La deuxième a été isolée à partir de sols salins et alcalins dans le canton de Dechang, ville de Zhaodong, République populaire de Chine. Elle est caractérisée par sa forme cocci. Elle est strictement aérobique, non mobile, avec un G+C % de 61,2 mol (Wang *et al.*, 2015).

❖ Le genre *Nocardioides*

Une nouvelle espèce nommée *N.daedukensis* est originaire du sol de Corée. Elle est non-mobile en forme de bâtonnet ou de cocci. Elle se développe de manière optimale à un pH de 7, 0 à 8, 0 à une température de 30° C en présence de 0 à 0, 5 % de NaCl. Sa teneur en G+C était de 68,7 % en moles (Yoon *et al.*, 2010).

❖ Le genre *Actinopolyspora*

Les champs de sel autrefois réputés stériles, renferme une biodiversité insoupçonnée de bactéries. Deux nouvelles espèces dénommées *A.alba* et *A.erythraea* ont été isolées à partir d'un champ de sel dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. La croissance optimale de ces deux souches, est remarquée à des concentrations relativement élevées de sel, allant de 10 à 25 % à des températures mésophiles à thermophiles allant de 20-45°C. La teneur de G + C % est de 66,4 et de 68,3 respectivement (Tang *et al.*, 2011).

❖ Le genre *Glycomyces*

Deux actinobactéries nouvelles *G.halotolerans* et *G.tarimensis* ont été isolées d'un habitat hyper-salin de la province du Xinjiang, dans le nord-ouest de la Chine. Caractériser par leur croissance optimale dans les milieux qui contiennent 5 % de NaCl.

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

G.halotolerans, le modèle de sucre de leur cellule entière était composé de xylose et de galactose. Sa teneur en G + C % de l'ADN génomique était de 68,8 % en moles (**Guan et al., 2011**). *G.tarimensis* sa teneur en G+C de l'ADN était de 71,26 % en moles (**Ling-Ling et al., 2015**).

❖ Le genre *Micromonospora*

Les genres rares des actinobactéries offrent aussi des espèces nouvelles. Ainsi une souche nommée *M.halotolerans* est une nouvelle actinobactérie qui a été isolée à partir de la rhizosphère d'une plante *Pisum sativum* récoltée dans un sol salin en Espagne. Elle se caractérise par une croissance optimale à 28 °C et un de pH 7 et en présence de 5 % de NaCl (**Carro et al.2013**).

❖ Le genre *Haloactinopolyspora*

H.alkaliphila été isolée d'un échantillon de sol salin-alcalin de la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Elle forme des hyphes aériennes fragmentées et de courtes chaînes de spores qui ont une forme bâtonnets (**Zhang et al., 2014**).

❖ Le genre *Phytoactinopolyspora*

Tout récemment, une autre souche nouvelle nommée *P.halotolerans* a été isolée d'un échantillon de sol salin prélevé sur la rive sud du lac Aiding dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Cette nouvelle actinobactérie aérobie est caractérisée par une croissance optimale à une température entre 28-37°C et un pH entre 7-9, en présence de 5-8 % d'NaCl. La teneur en G+C% est de 68,7 % en moles (**Ji et al., 2018**).

❖ Le genre *Streptomyces*

Le genre le plus répandu des actinomycètes continue à donner des espèces nouvelles. Ainsi, *S.triticiradicis* est une actinobactérie a été isolée en 2020, à partir du sol salin de la rhizosphère du blé collecté à Zhumadian, province du henan chine la centrale. Cette souche possède une activité antifongique à large spectre. L'analyse du génome a révélé que cette souche possédait aussi, un potentiel biosynthétique diversifié (**Yu et al., 2020**).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

II.4. Nouvelles actinobactéries isolées à partir des eaux salines et hyper-salines.

Les eaux salines et hyper-salines sont aussi une source importante d'une variété d'actinobactéries nouvelles. Nous présentons dans cette recherche, une synthèse bibliographique, de 20 ans d'investigations sur la composante des eaux salines et hyper-salines en bactéries *Actinomycétales*. Le tableau 4, rapporte les conditions d'isolement et les milieux utilisés pour la l'isolement de ces nouvelles actinobactéries.

Tableau II. 2: Milieux de culture et conditions nécessaires à l'isolement des différents nouvelles actinobactéries à partir du l'eau.

Genre	Espèce	Milieu de culture	NaCl	Température	Référence
<i>Haloglycomyces</i>	<i>H.albus</i>	nutrient agar	8-12%	37 °C	(Guan <i>et al.</i> , 2009).
<i>Haloechothrix</i>	<i>H.alba</i>	CCMS	9-23%	37 °C	(Tang <i>et al.</i> , 2010).
<i>Phytoactinopolyspora</i>	<i>P.halophile</i>	CCMS	2-24 %	28-37 °C	(Zhang <i>et al.</i> , 2018).
<i>Nocardioides</i>	<i>N.aquaticus</i>	PYGV agar	15%	33.5 °C	(Lawson <i>et al.</i> , 2000).
<i>Friedmanniella</i>	<i>F.lacustris</i>	PYGV agar	6-8%	33.5 °C	
<i>Haloactinopolyspora</i>	<i>H.alba</i>	CCMS	7-23 %	37 °C	(Tang <i>et al.</i> , 2008).
<i>Nocardiopsis</i>	<i>N.valliformis</i>	agar plates containing DSMZ medium no. 852	5%	28 °C	(Yang <i>et al.</i> , 2008 a).
	<i>N.coralli</i>	ND	ND	ND	(Li <i>et al.</i> , 2021).
<i>Prauserella</i>	<i>P.salsuginis</i>	ISP5	5-15 %	15-45 °C	(Yan <i>et al.</i> , 2009).
	<i>P.flava</i>	ISP5	5-15 %	15-45 °C	
	<i>P.aidingensis</i>	ISP5	5-15 %	15-45 °C	
	<i>P.sediminis</i>	ISP5	5-20 %	15-45 °C	
<i>Saccharopolyspora</i>	<i>S.halophila</i>	ND	10-15%	28-37 °C	(Tang <i>et al.</i> , 2009).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

	<i>S.qijaojigensis</i>	ND	6-22%	20-40 °C	(Tang <i>et al.</i> , 2009b).
	<i>S.Lacisali</i>	YC	15%	37 °C	(Guan <i>et al.</i> , 2011).
	<i>S.halotolerans</i>	CCMS	10-15 %	28–37 °C	(Lv <i>et al.</i> , 2014).
	<i>S.aidengensis</i>	CCMS	6–22 %	20-40 °C	(Xia <i>et al.</i> , 2017 a).
<i>Actinopolyspora</i>	<i>A.xinjiangensis</i>	ND	10-15%	ND	(Guan <i>et al.</i> , 2010).
	<i>A.dayingensis</i>	GL3	13 %	37 °C	(Guan <i>et al.</i> , 2013).
<i>Amycolatopsis</i>	<i>A.halophila</i>	CCMS	1-15%	25–45 °C	(Tang <i>et al.</i> , 2010).
	<i>A.salitolerans</i>	GTY	5%	37 °C	(Guan <i>et al.</i> , 2012).
<i>Cellulomonas</i>	<i>C.phragmiteti</i>	gélose King's B	5-7%	15-37 °C	(Rusznayk <i>et al.</i> , 2011).
<i>Salinactinospora</i>	<i>S.qingdaonensis</i>	ISP2	9-12 %	37 °C	(Chang <i>et al.</i> , 2012).
<i>Streptomonospora</i>	<i>S.tuzyakensis</i>	ND	10%	37 °C	(Tatar <i>et al.</i> , 2013).
<i>Glycomyces</i>	<i>G.xiaoerkulensis</i>	ISP1	5%	35-37 °C	(Wang <i>et al.</i> , 2018).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

	<i>G. fuscus</i>	ISP 4	3%	37 °C	(Han et al., 2014).
	<i>G. albus</i>	ISP 4	5-7%	35 °C	
<i>Kocuria</i>	<i>K.coralli</i>	gélosé TSA	15 %	30 °C	(Li et al., 2020).
<i>Nesterekonia</i>	<i>N.suensis</i>	LB	5%	37 °C	(Govender et al., 2013).

ND : Non-déterminé. (Annexe01)

Les résultats regroupés dans (le Tableau II. 2), montrent les conditions d'isolement et les nouvelles actinobactéries isolées à partir des eaux salines. Les détails de cette communauté sont les suivantes :

❖ Le genre *Haloglycomyces*

H.albus est une actinobactérie halophile qui a été isolée d'un habitat hypersalin dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Sa croissance optimale est observée dans un milieu qui contient 8 à 12 % d'NaCl. La teneur en G+C % de son ADN génomique était de 60,8% en moles. Leurs paroi cellulaires contiennent dans leurs compositions les sucres suivant : ribose, xylose et glucose (Guan et al., 2009).

❖ Le genre *Haloechothrix*

Dans ce genre nous avons recensé *H.alba* qui est un actinomycète filamenteux halophile isolé d'un lac salé de la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Cette espèce nouvelle forme un mycélium aérien épineux sans spores. La composition chimique de sa paroi cellulaire est caractérisée par la présence de l'acide méso-diaminopimélique. Sa teneur en G+C% était de 68,1 % en moles (Tang et al., 2010).

❖ Le genre *Phytoactinopolyspora*

P.halophila a été isolée d'un échantillon de sol prélevé au bord d'un lac salin du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Sa croissance optimale a été observée à 28-37 °C et un pH de 7,0 - 8,0 et une concentration de 5 - 8 % d'NaCl. La teneur en G+C % était de 66,6 % en moles (Zhang et al., 2018).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

❖ Le genre *Nocardioides* et *Friedmanniella*

N.aquaticus et *F.lacustris* sont deux actinobactéries Gram-positives, non-mobiles et aérobies. Elles ont été isolées d'un échantillon d'eau du lac hypersalin Ekho, en Antarctique. Ces deux bactéries se différencient entre elles par leurs tolérances maximales à l' NaCl qui était de 15 % et 6 à 8 % des deux espèces respectivement. Leurs parois cellulaires contenaient de l'acide LL-diaminopimélique et avaient un seul résidu de glycine comme pont interpeptidique. Le premier isolat avait 69 % en moles de G+C %, le second avait 73 % en moles de G+C% (**Lawson et al., 2000**).

❖ Le genre *Haloactinopolyspora*

H.alba est une nouvelle actinobactérie halophile filamenteuse, qui a été isolée d'un lac salé de la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Cette bactérie pousse sur le milieu CCMS qui contient de 7 à 23 % d'NaCl et une température de 37°C. Elle est caractérisée par un mycélium aérien formé de longues chaînes de spores à maturité qui étaient cylindriques avec des surfaces lisses. La teneur en G+C% de son ADN génomique était de 68 % en moles. La paroi est constituée des sucres suivants : glucosamine, mannose, glucose, arabinose, galactose (**Tang et al., 2008**).

❖ Le genre *Nocardiopsis*

Le genre *Nocardiopsis* offre 2 nouvelles espèces d'actinobactéries. La première *N.valliformis* a été recueillie d'un sol de lac alcalin en Chine. Cette souche a produit un mycélium aérien et un mycélium de substrat abondant et de longues chaînes de spores sur son mycélium aérien (**Yang et al., 2008 a**). Alors que dans une investigation très récente, *N.coralli* est une deuxième nouvelle espèce appartenant à ce genre rare d'actinobactéries, qui a été récoltée à partir d'un corail *Galaxea astreata* collecté sur la côte de Wenchang, Hainan, en Chine. L'organisme forme d'abondants mycéliums de substrat fragmentés et des mycéliums aériens qui sont différenciés en spores non mobiles en forme de bâtonnets. Sa teneur en G+C% était de 71,3 % en moles (**Li et al., 2021**).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

❖ Le genre *Nesterekonia*

N.suensis est une actinobactérie non mobile et non sporulante qui a été isolée de la saumure hyper-saline de Sua au Botswana. Elle était alcalinophile et modérément halophile. Elle affiche une croissance optimale à une température de 35–37 °C, un pH 9 et dans 2,5 % d'NaCl. La teneur en G+C % était de 64,8 % en mole (**Govender et al., 2013**).

❖ Le genre *Prauserella*

Ce genre offre 4 nouvelles espèces isolées d'un lac salé dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Ces espèces sont aérobies, Gram positif, non-acido-résistant, non-mobile et la plupart ont un mycélium aérien blanc et un mycélium du substrat fragmenté.

P.salsuginis est une actinobactérie qui possède des colonies de différentes couleurs selon le milieu de culture. Sa teneur en G+C % est de 69,1 %. La deuxième, *P.flava* a un mycélium du substrat fragmenté avec une teneur en G+C% de 69,9 % en moles. *P.aidingensis*, présente une teneur en G+C % de 70,1 % en moles et possède le pouvoir de se développer à des concentrations élevées d' NaCl allant jusqu'à 15 ou 20%. *P.sediminis* est une deuxième souche nouvelle découverte dans ce genre. Ses caractéristiques sont détaillées dans la référence de (**Yan et al ., 2009**).

❖ Le genre *Saccharopolyspora*

Dans ce genre 5 espèces nouvelles ont été décrites. Elles ont été prélevées à partir d'un lac salin dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. *S.halophila* se développe à 28 et 37 °C, à un pH compris entre 7–8 et à des concentrations de 10–15% de NaCl (**Tang et al., 2009**). *S.qijaojigensis* a une croissance optimale à 20 et 40 °C, à un pH 5–8 et à une concentration de 6 à 22% d'NaCl. (**Tang et al., 2009b**). *S.lacisali* est une troisième espèce nouvelles isolée du même site. Ses caractéristiques sont citées dans la référence de (**Guan et al., 2011**). *S.halotolerans* se distingue des autres espèces par la composition de sa paroi cellulaire qui contient de l'acide méso-diaminopimélique et les phospholipides du type phosphatidyléthanamine, la phosphatidylcholine et phosphatidylglycérol (**Lv et al., 2014**). *S.aidengensis* a des propriétés distinctives qui se résument à une croissance à une concentration d' NaCl de

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

12 %, la production d'un mycélium aérien avec de longues chaînes de spores non-mobiles. Sa morphologie est spéciale de forme ovale ou sphérique avec une surface rugueuse ou lisse (**Xia et al., 2017 a**).

❖ Le genre *Actinopolyspora*

Ce genre englobe 2 nouvelles souches actinobactérienne d'aspect filamenteuse. La première dénommée *A.xinjiangensis*, a été isolée d'un habitat hyper-salin dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Le pourcentage de NaCl pour une croissance optimale est de 10 à 15 %. Leur caractéristique chimique est représentée par les sucres xylose, de glucose et d'arabinose (**Guan et al., 2010**). *A.dayingensis* a été isolé d'un habitat hyper-salin dans la province du Sichuan, en Chine. La croissance optimale se produit à 37 °C, à un pH 7,0 et en présence de 13 % de NaCl. Elle se caractérise par la présence de ces sucres : xylose, glucose, ribose et d'arabinose (**Guan et al., 2013**).

❖ Le genre *Amycolatopsis*

Comprends 2 espèces nouvelles. *A.halophila* a été prélevée d'un lac salé de la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Elle est développée entre 25–45 °C, à pH 6–8 et en présence de 1–15% de NaCl. Sa teneur en G+C était de 66,1 % en moles (**Tang et al., 2010**). *A.salitolerans* a été isolée d'un habitat hyper-salin du bassin du Tarim dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. L'isolat contenait de l'acide méso-diaminopimélique et du ribose, du glucose et du galactose comme principaux sucres de cellules entières (**Guan et al., 2012**).

❖ Le genre *Cellulomonas*

C. phragmiteti une bactérie alcali-tolérante qui a été isolée d'un échantillon de périphyton de roseau (*Phragmites australis*) provenant d'un étang de soude alcalin peu profond situé en Hongrie. Elle se caractérise par une croissance optimale à un pH de 8–9 et en présence de 5–7% d'NaCl. Leur cellule était bâtonnets, droits et mobiles (**Rusznayk et al., 2011**).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

❖ Le genre *Salinactinospora*

S. qingdaonensis est un actinomycète halophile d'aspect filamenteux, qui a été prélevée d'un Étang-Salé à Qingdao, en Chine. Sa croissance optimale était à 37 °C, pH 7–8 et 9–12% d' NaCl. Elle possède un mycélium de substrat ramifié jaune pâle à jaune foncé sans fragmentation et un mycélium aérien blanc abondant. Cette nouvelle souche se caractérise par de longues chaînes de spores en forme de bâtonnets avec des surfaces lisses (**Chang et al., 2012**).

❖ Le genre *Streptomonospora*

Les lacs salés sont une autre source d'actinobactéries. *S. tuzyakensis* a été isolée dans le lac Tuz (Salt), à Konya, en Turquie. Elle pousse de manière optimale à 37 °C et en présence de 10 % d' NaCl. Elle est caractérisée par la présence du galactose, du glucose et du ribose dans sa paroi. Le reste des caractéristiques sont détaillées dans la référence de (**Tatar et al., 2013**).

❖ Le genre *Glycomyces*

Trois espèces nouvelles ont été récoltées à partir du lac. La première, est dénommée *G. xiaoerkulensis* présentant les propriétés distinctives suivantes : aérobie, NaCl optimale 5 %, température optimale 35 à 37 °C et un GC% de 69,9 mol % isolée à partir de limon du lac xiaoerkule dans la province du xinjiang (**Wang et al., 2018**). Les deux autres souches *G. fuscus* et *G. albus*, ont été isolées d'un habitat hyper-salin dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Elles contenaient les sucres suivants : la xylose et le ribose. Toutes les autres caractéristiques distinctives sont dans la publication (**Han et al ., 2014**).

❖ Le genre *Kocuria*

k. coralli a été isolée à partir d'eau de mer prélevée sur le récif coralliens de Luhuitou à une profondeur de 4,2 m. Leur caractères distinctive étaient la croissance en milieu contient 15 % d'NaCl, des cellules de forme sphériques, des colonies jaune verdâtre pâle, convexes, lisses et circulaires. Sa teneur en G+C % était de 73,7 % en moles (**Li et al., 2020**).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

❖ Le genre *Nesterekonia*

N.suensis a été prélevée de la saumure très saline de Sua au Botswana. Elle pousse dans les conditions suivantes : 35–37 °C, pH 9 et 2,5 % de NaCl. La teneur en G+C% était de 64,8 % en moles (Govender *et al.*, 2013).

II.7. Nouvelles actinobactéries isolées à partir des sédiments marins

Les actinomycètes sont un groupe omniprésent et largement distribués dans les écosystèmes naturels du monde entier (Goodfellow et Haynes 1984). Les espèces marines ont fait l'objet de plusieurs études par les microbiologistes. La littérature parle des eaux marines mais aussi des sédiments marins. Dans ces derniers, une panoplie d'actinobactéries nouvelles ont été isolées. (Ghanem *et al.*, 2000 ; Claverías *et al.*, 2019 ; Das *et al.*, 2008 ; Jensen *et al.*, 2005 ; Sun *et al.*, 2010).

De plus, la description d'une actinobactéries des cératines comme *Rhodococcus marinonascens*, ainsi que d'autres espèces marines, montrent que certains actinomycètes sont indigènes au milieu marin. Cependant, les actinomycètes sont plus abondants dans les sols terrestres que dans les sédiments marins et présentent des degrés variables de tolérance au sel (Jensen *et al.*, 1991).

Tableau II. 3: Milieux de culture et les conditions d'incubation nécessaire à l'isolement de nouvelles actinobactéries.

Genre	Espèce	Milieu de culture	NaCl	Température	Référence
<i>Marinactinospora</i>	<i>M. thermotolerans</i>	ISP 5	0-5 %	10-55 °C	(Tian <i>et al.</i> , 2007).
<i>Spiractinospora</i>	<i>S.alimapuensis</i>	ND	ND	ND	(Claverías <i>et al.</i> , 2022).
<i>Kocuria</i>	<i>K.marina</i>	marine agar	15 %	28 °C	(Kim <i>et al.</i> , 2004).
<i>Aeromicrobium</i>	<i>A.halocynthiae</i>	A1+C agar	5-10 %	10-42 °C	(Kim <i>et al.</i> , 2010).
<i>Actinomadura</i>	<i>A.sediminis</i>	Kuster's agar medium	ND	28 °C	(He <i>et al.</i> , 2012).
<i>Streptomyces</i>	<i>S.chilikensis</i>	Colloidal chitin agar (CCA)	7.6 %	25.2 °C	(Ray <i>et al.</i> , 2013).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

<i>Nesterenkonia</i>	<i>N.natronophila</i>	Plate count agar (PCA)	12 %	10-38 °C	(Machin <i>et al.</i> , 2019).
<i>Corynebacterium</i>	<i>C.alimapuense</i>	ND	ND	ND	Claverías <i>et al.</i> , 2019).
<i>Pseudonocardia</i>	<i>P.abyssalis</i>	ND	ND	ND	(Parra <i>et al.</i> , 2021).
	<i>P.oceani</i>	ND	ND	ND	

ND : Non déterminé.

Les résultats regroupés dans (le Tableau II. 3), montrent les conditions d'isolement et les nouvelles actinobactéries isolées à partir des sédiments salins. Les détails de cette communauté sont les suivantes :

❖ Le genre *Marinactinospora*

M.thermotolerans est isolée à partir d'un sédiment marin prélevé dans le nord de la mer de Chine méridionale à une profondeur de 3865 m. Les propriétés distinctives de cette souche sont : un mycélium aérien abondant se différencie en longues chaînes de spores qui ont une surface ridée, la présence d'acide méso-diaminopimélique sur la paroi cellulaire et la présence de sucres glucose dans la cellule entière. La croissance s'est produite sur le milieu ISP2 avec 0–5% de NaCl et à 10–55 °C (Tian *et al.*, 2009).

❖ Le genre *Spiractinospora*

S.alimapuensis a été isolée à partir de sédiments marins collectés dans la baie de Valparaíso, au Chili. Elle est alcaliphile et formé un mycélium de substrat ramifié blanc jaunâtre sans fragmentation et un mycélium aérien était bien développé, formant des chaînes de spores ondulées ou en spirale (Claverías *et al.*, 2022).

❖ Le genre *Kocuria*

Dans ce genre *K.marina* a été isolée à partir de sédiments marins prélevés dans la baie de Troitsa du golfe de Pierre le Grand, en mer de Sibérie orientale. Cette souche pousse dans des milieux qui contiennent jusqu'à 15% de NaCl, Ce sont des Coccoïdes, aérobie, immobile, halotolérant. Elle utilise le glucose, le lactose, le mannose et le saccharose comme seules sources de carbone (Kim *et al.*, 2004).

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

❖ Le genre *Aeromicrobium*

A.halocynthiae une nouvelle actinobactérie marine qui a été isolée à partir du tissu de siphon d'un ascidien marin, l'*Halocynthia roretzi*, collecté au large de Gangneung, en Corée. Cette bactérie est Gram positive, aérobie, non sporulée, en forme de bâtonnet, non mobile, capable de croître à une température qui varie de 10 à 42 °C sur une large plage de pH (5,0–10,0) et d'NaCl (**Kim et al., 2010**).

❖ Le genre *Actinomadura*

Ce genre rare très recherché a été retrouvé dans les sédiments marins. Une nouvelle espèce *A.sediminis* a été retrouvée dans un échantillon de sédiment de mangrove prélevé à Dugong Creek, Little Andaman, en Inde. Elle produit du mycélium de substrat ramifié et des hyphes aériens qui se différencient en chaînes de spores courtes (**He et al., 2012**).

❖ Le genre *Streptomyces*

Le genre *Streptomyces* continue d'offrir des espèces nouvelles. Ainsi, *S.chilikensis* a été isolée des sédiments de la lagune d'eau saumâtre côtière estuarienne du lac Chilika, dans le district de Khurdha à Odisha, en Inde. Elle était halophile et tolérante aux milieux alcalins. Cette souche possède des capacités de dégradation très variés. Elle est capable d'hydrolyser la chitine, l'amidon, la tributyrine, la lécithine, le Tween 80, la cellulose, la gélatine et la caséine (**Ray et al., 2013**).

❖ Le genre *Nesterenkonia*

N. natronophila a été isolée d'un échantillon de sédiments de lac sodique (lac Magadi, Tanzanie). L'isolat s'est développé à 10–38 °C, à pH 7,5–12,0 et en présence de 1–12% de NaCl. Cette souche hétérotrophe est strictement aérobie, catalase-positif, oxydase-négatif et forme des colonies pigmentées de couleur orange (**Machin et al., 2019**).

❖ Le genre *Corynebacterium*

Dans ce genre *C.alimapuensis* a été isolée d'un échantillon de sédiment marin prélevé à 19,2 m de profondeur dans la baie de Valparaíso, au Chili. Cette

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

actinobactéries halophiles est caractérisée par une teneur en G+C % de son ADN génomique relativement faible qui est de 57,0 %. Cette espèce nouvelle est non mobile, non sporulée et aérobie stricte (Claverías *et al.*, 2019).

❖ Le genre *Pseudonocardia*

P.oceani et *P.abyssalis* sont deux espèces actinobactériennes nouvelles isolées à partir de sédiments prélevés dans les profondeurs de l'océan Austral. La première est caractérisée par une taille de son génome de 6,31 Mbp et une teneur en G+C de 73,44 mol %. Tandis que la deuxième est caractérisé par une taille du génome de 6,82 Mbp une teneur en G+C% de 73,98 mol% (Parra *et al.*, 2021).

II. 8. Discussion générale

Dans les écosystèmes telluriques salins et hyper-salins, plusieurs genres ont été isolés, durant ces vingt dernières années. Ce constat, indique que ce genre d'écosystème extrême, autrefois considéré stérile, offre des actinobactéries nouvelles. Les genres dominants rencontrés dans ces niches écologiques spéciales sont : *Nocardiopsis* et *Nesterenkonia*. Ce sont là, des genres autres que les *Streptomyces*, longtemps isolés à partir des écosystèmes non extrêmes qui sont considéré aujourd'hui comme étant des ressources relativement épuisées. Nous pouvons affirmer par ces résultats intéressant, que les actinobactéries rares, peuvent être trouvés dans ces écosystèmes rudes. Nos résultats, s'accordent parfaitement avec ceux de Li *et al.*, qui stipulent que beaucoup de nouveaux genres ; ont été isolés et décrits de ces écosystèmes, comparativement aux mêmes investigations dans des travaux plus anciens.

Les résultats qui concernent les nouvelles espèces sont tout à fait similaires. D'ailleurs, le genre *Streptomyces* qui est le plus répandu des actinobactéries quand il est isolé à partir des écosystèmes salins et hyper-salins, continu à donner de nouvelles espèces (Yu *et al.*, 2020).

Le milieu le plus utilisé pour l'isolement des actinomycètes halophiles, est le milieu ISP5 « Glycerol-Asparagine-Agar ». Le glycérol sert de source de carbone, tandis que l'asparagine est la source d'azote la plus utilisée. Selon Djallah (2010), le milieu ISP5 semble être le milieu le plus favorable pour la croissance des actinomycètes

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

halotolérants. Cependant, il serait d'après nous intéressant, de tester d'autres milieux d'isolement, afin d'augmenter les chances de réussite dans ce genre de recherche.

Les températures de croissance testées dans ces travaux varient entre 20°C à 45°C, avec une température de 28°C à 37°C comme température de choix. Cette plage nous semble insuffisante et d'autres températures doivent d'après nous être testées. En outre, la plus longue durée d'incubation utilisée dans ces études, est d'environ 14 jours. Cette période nous semble courte par rapport aux bactéries halophiles. Elle devrait à notre avis être prolonger à environ 30 jours (Meklat *et al.*, 2014).

Plusieurs genres nouveaux et espèces nouvelles ont été isolés à partir de l'eau de mer et les lacs salés, depuis ces treize dernières années. Le genre le plus dominant est *Saccharopolyspora* qui a été isolée par plusieurs chercheurs et ce, pendant plusieurs années. Le genre *Streptomyces* semble absent parmi les actinobactéries isolées. Il est à noter que, les travaux relatés dans cette synthèse bibliographique, ne sont surement pas complet. D'autres peuvent avoir été omis.

Le milieu d'isolement CCMS « cellulose-caséine-multisels» est le milieu de choix pour ce type d'isolement. (Tang *et al.*, 2009). La cellulose sert de source de carbone, tandis que la caséine reste toujours la meilleure source d'azote. Selon Tang *et al.*, (2010), il demeure un milieu d'isolement efficace, conçu et utilisé pour l'isolement des actinomycètes filamenteux halophiles à partir des environnements hyper-salins. Les autres milieux d'isolement comme l'ISP5 et l'ISP4, sont aussi employés.

La majorité des actinobactéries isolées à partir de ces écosystèmes poussent dans des températures comprises entre 15°C et 40°C. Il est à noter que la grande part des nouvelles actinobactéries ont été isolées dans les régions chinoises. Il serait très prometteur d'explorer d'autres pays comme l'Algérie par exemple.

En ce qui concerne les sédiments, la plus grande majorité des actinobactéries nouvelles isolées font partie des rares, autres que les *Streptomyces*. Cet écosystème spécial, continue d'offrir des actinobactéries inédites c'est le cas par exemple du genre *Spiractinospora* (Claverías *et al.*, 2022) et le genre *Pseudonocardia* (Parra *et al.*, 2021). Les bactéries isolées à partir de ces

Chapitre II: Actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins.

écosystème tolèrent des concentrations en Na Cl jusqu'à 15 % et des températures comprises entre 10 et 42°C.

Chapitre III:

Chapitre III: Biodiversité métabolique de certaines actinobactéries halophiles nouvelles

III.1. Métabolisme général des actinobactéries

La nature est considérée comme la principale source de molécules importantes sur le plan biotechnologique et pouvant être appliquées dans différents domaines. La production de produits naturels par les actinobactéries est en pleine expansion principalement à cause de leurs riches mécanismes métaboliques (**Girão et al., 2022**). Les actinobactéries halophiles sont très peu explorées. Ce n'est que récemment que les chercheurs se sont intéressés à leurs recherches, afin d'exploiter leurs propriétés physico-chimiques singulières et de découvrir de nouveaux métabolites bioactifs. La dégradation des composés organiques aliphatiques et aromatiques, la détoxification des polluants, la production de nouveaux enzymes et d'autres métabolites tels que les antibiotiques, les solutés compatibles et les polymères sont d'autres applications industrielles potentielles des actinobactéries halophiles et halotolérants (**Hamedi et al., 2013**).

Les actinobactéries, synthétisent plus de métabolites bioactives que les autres microorganismes (**solanki, 2008**). Ils se séparent en deux groupes physiologiques. Le plus important est composé de germes ayant un métabolisme oxydatif et habitant surtout le sol. Le second rassemble des bactéries fermentatives, hôtes des cavités naturelles de l'homme et des animaux (**Le minor, 1989**). Les formes oxydatives, aérobies, sont localisées principalement dans le sol à partir duquel elles sont disséminées. L'archétype de cette catégorie est le genre *Streptomyces* (**Reponen et al., 1998**).

Le métabolisme des actinobactéries peut être divisé en deux parties : le métabolisme primaire et le métabolisme secondaire (**Srub, 2008**). (**Annexe02**)

III.1.1. Le métabolisme primaire

Les métabolites primaires sont produits pendant la phase de croissance des bactéries (trophophase), quand l'ensemble des voies cataboliques et anabolique sont catalysées par des enzymes spécifiques et soumis à divers contrôles. Ces voies fournissent à la cellule les métabolites intermédiaires (**Larpent et Sanglier, 1989**). Le pouvoir réducteur et l'énergie produits par ces réactions sont utilisés pour former et assembler les monomères (Ex : acides aminés) en macromolécules (Ex : protéine) (**strub, 2008**). Les métabolites primaires jouent un rôle important dans la formation de

Chapitre III: Biodiversité métabolique de certaines actinobactéries halophiles nouvelles

la structure cellulaire et assurent son bon fonctionnement (**Theilleux, 1993**). Ils sont utilisés comme initiateur de construction des métabolites (**Rokem et al., 2007**).

III.1.2. Le métabolisme secondaire

La première définition du métabolisme secondaire date de 1891 et désignait les transformations aboutissant aux composés relativement peu importantes de la physiologie végétale (**Ginolhac, 2006**). Ce sont des substances généralement synthétisées plus tardivement dans le cycle de vie, alors que les micro-organismes vieillissent. Ils sont, en général, produits au cours de la phase stationnaire (**Horinouchi, 2002**). Le métabolisme secondaire se différencie du métabolisme primaire par le fait qu'il concerne des métabolites non directement impliqués dans la croissance et la vie de l'organisme (**Theilleux., 1993**).

Les métabolites secondaires sont les métabolites produits après la fin de la phase de croissance des bactéries (idiophase), ce métabolisme n'est pas indispensable à l'organisme producteur, bien qu'il joue vraisemblablement un rôle pour sa différenciation et sa survie dans le milieu naturel (**Grafe, 1988**). C'est un ensemble de voies qui permettent la synthèse de petites molécules qui ne sont pas nécessaires, mais qui peuvent apporter des avantages sélectifs sous certaines conditions. Le métabolisme secondaire est généralement l'opposé du métabolisme primaire, qui comprend toutes les voies cataboliques et anaboliques nécessaires à la survie et à la reproduction des cellules. Les métabolites secondaires sont diverses et peuvent avoir des structures chimiques diverses et complexes et des activités biologiques très diverses (**Drago, 2015**).

Pour trouver de nouveaux producteurs de composés bioactifs, l'exploration des écosystèmes exposés à des conditions environnementales extrêmes est une approche intéressante. Par conséquent, la recherche des dernières années est orientée vers le dépistage et l'isolement des actinomycètes des habitats inexploités (**Harir et al., 2018**). La diversité physiologique et la flexibilité métabolique des actinobactéries extrémophiles/extrémotolérantes leur permettent de survivre dans des conditions hostiles et défavorables. La forte abondance d'espèces actinobactériennes a été enregistrée dans tous les environnements extrêmes, les actinobactéries sécrètent de nombreuses métabolites secondaires (Fig.10), (**Qin et al., 2016**).

Chapitre III: Biodiversité métabolique de certaines actinobactéries halophiles nouvelles

Les métabolites secondaires qui proviennent à partir des *Streptomyces* sont classés les premiers et peuvent être séparés en quatre classes distinctes en fonction de leur activité biologique :

1. Agents antagonistes, comportant des antibiotiques, des antifongiques, des antiprotozoaires, et même des antiviraux.
2. Agents pharmacologiques tels que des antitumoraux et des inhibiteurs d'enzymes.
3. Agents agrobiologiques tels que des pesticides et des herbicides.
4. Composés à activité régulatrice, tels que des facteurs de croissance.

Les actinobactéries du genre *Micromonospora* occupe la seconde place, il produit plus de 300 substances antibiotiques à large spectre, ayant des activités biologiques intéressantes (Vobis, 1992). Récemment les recherches se sont orientés vers les actinomycètes dites rares, afin d'explorer d'autres genres pouvant produire des molécules innovantes autres de celles produites par les *Streptomyces*.

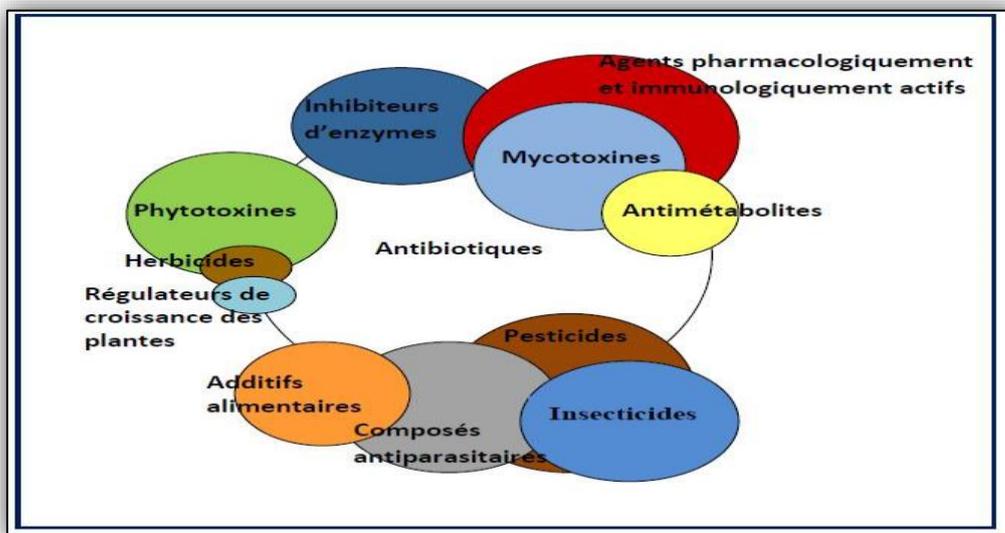


Figure III. 1: Métabolites secondaires bioactifs produits par les actinobactéries (Conn, 2005).

Chapitre III: Biodiversité métabolique de certaines actinobactéries halophiles nouvelles

III.2. Substances bioactives produites par les actinobactéries halophiles et halotolérantes.

Les molécules bioactives produites par les actinobactéries halophiles et halotolérantes nouvelles sont rassemblées dans (le tableau II. 1).

Tableau III. 1: Différentes molécules bioactives produites par les actinobactéries halophiles et halotolérants nouvellement isolées.

Métabolites bioactifs	Activité	Souche productrice	Référence
N.D	Antibactérienne	<i>Saccharopolyspora jiangxiensis</i>	(Krishnamoorthy et al., 2020)
	Anticancéreuse		
OT1	Antibactérienne Cytotoxique	<i>Nocardiopsis valliformis</i>	(Rathod et al., 2016)
marthiapeptide A	Antibactérienne Cytotoxique	<i>Marinactinospora thermotolerans</i>	(Xiao et al., 2012)
Marinactinones A-C, new γ -pyrones	Cytotoxique Inhibitrices de l'ADN Topoisomérase II		(Fazuo et al., 2011)
Mathermycin	Anticancéreuse		(Erquan et al., 2017)
Methylpendolmycin Pendolmycin	Promoteurs tumoraux		(Junying et al., 2012)
β -cryptoxanthin	Anticancéreuse	<i>Kocuria marina</i>	(Mitra et al., 2016)
Kocumarin	Antimicrobien		(Uzaira et al., 2018)
Natamycine. -3-Acetyl-amino-N-2-thienyl-propanamide (β -adenosine) - 2-minaline	Activité antifongique	<i>Streptomyces triticiradicis</i>	(Yu et al., 2020)
Nesterenkoniae	Anti-Allergic.	<i>Nesterenkonia flava</i>	(Xie et al., 2017)
N-acetyl chitoooligosaccharide	Anti-radicalaire, Anti-inflammatoire, Anti-proliférative.	<i>Streptomyces chilikensis</i>	(Himadri et al., 2020)
N.D	Anti-infectieux	<i>Amycolatopsis sp</i>	(Martina et al., 2018)
Gène IMA1 production de protéine	Activités pharmacologiques	<i>Saccharopolyspora sp.</i>	(Krishnamoorthy et al., 2020)

N.D : non-déterminé.

Chapitre III: Biodiversité métabolique de certaines actinobactéries halophiles nouvelles

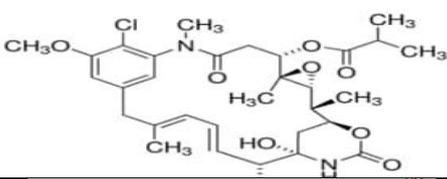
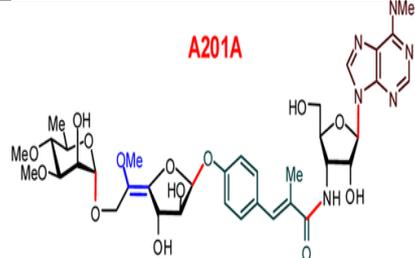
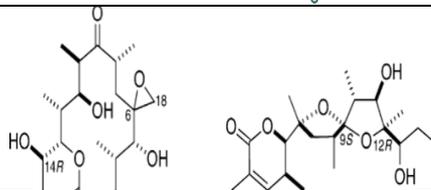
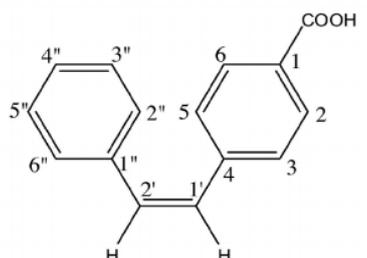
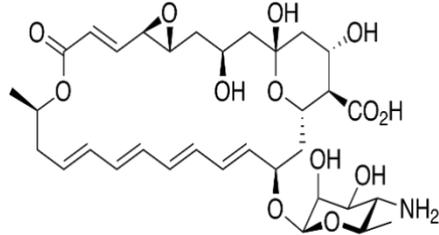
III.2.1. Antibiotiques

Étymologiquement, le terme « antibiotique » est dérivé des mots grec « anti » qui veut dire contre et « bio » qui signifie la vie, c'est-à-dire, « contre la vie ». Un antibiotique est une substance qui peut être naturelle, synthétique ou semi-synthétique (Mohammadipanah et Wink, 2016).

Les antibiotiques sont des substances chimiques qui agissent sur les bactéries de manière ciblée et inhibent leur croissance de façon sélective (Annexe03). Ce sont de deux types de mode d'action « bactériostatiques » quand ils peuvent empêcher le développement des cellules ou « bactéricides » quand bien les détruire complètement (hagop, 2006). Sur 8100 molécules qui ont été recensées vers la fin de l'année 1999, 45,6% ont été produites par le genre *Streptomyces*, 16 % par des actinobactéries autres que *Streptomyces*.

Chapitre III: Biodiversité métabolique de certaines actinobactéries halophiles nouvelles

Tableau III. 2: Exemples d'antibiotiques produits par les nouvelles actinobactéries.

Espèces	Antibiotiques	Source de tension	Structure	Référence
<i>Nocardioopsis ansamitocini</i>	ansamitocin P-3	prélevée à partir d'un échantillon de sol de la province du Xinjiang en Chine.		(Zhang <i>et al.</i> , 2016)
<i>Marinactinospora thermotolerans</i>	Antimicrobial Nucleoside Antibiotic A201A	isolée à partir d'un sédiment marin prélevé dans le nord de la mer de Chine méridionale à une profondeur de 3865 m.		(Qinghua <i>et al.</i> , 2012)
<i>Actinopolyspora erythraea</i>	Erythromycin congeners erythronolides H and I.	isolé à partir d'un champ de sel dans la province du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine.		(Huang <i>et al.</i> , 2009)
<i>Kocuria marina</i>	Kocumarin	isolée à partir de sédiments marins prélevés dans la baie de Troitsa du golfe de Pierre le Grand, en mer de Sibérie orientale.		(Uzaira <i>et al.</i> , 2018)
<i>Streptomyces triticiradicis</i>	Natamycine	isolée du sol de la rhizosphère du blé, province du Henan, Chine centrale.		(Yu <i>et al.</i> , 2020)

III.2.2. Les enzymes

Les enzymes sont des biocatalyseurs qui assurent le déroulement de toute réaction métabolique des organismes vivants en synthétisant ou en modifiant des molécules organiques essentielles des cellules vivantes (Boukahili *et al.*, 2020). En raison de leur rendement élevé, de leur rentabilité et de leur sensibilité à la manipulation génétique, les micro-organismes sont principalement préférés pour la production d'enzymes (Suriya *et al.*, 2016).

Chapitre III: Biodiversité métabolique de certaines actinobactéries halophiles nouvelles

Les actinobactéries constituent une part majeure de la population microbienne chargée de décomposer diverses biomolécules en produisant des enzymes extracellulaires. Ils sont également connus comme des bioproduites d'enzymes, avec des applications dans les industries du textile, des bioraffineries, de l'alimentation, des pâtes et papiers, de l'agriculture, des détergents et pharmaceutiques (Salwan et Sharma, 2018) ; ainsi que dans les domaines de la thérapie médicale, de la chimie bioorganique et de la biologie moléculaire. En général, les enzymes actinobactériennes sont plus stables et plus actives que les enzymes des autres organismes (Suriya *et al.*, 2016).

Les actinobactéries d'environnements extrêmes produisent également des enzymes aux propriétés inédites telles qu'une stabilité élevée et une spécificité de substrat (Salwan et Sharma, 2018). Les actinobactéries des écosystèmes salins et hyper-salins, sont d'excellents producteurs d'enzymes variées telles que des protéases, des chitinases (Vonothini *et al.*, 2008), des amylases, des cellulases, des xylanases et des lipases (Park *et al.*, 2002).

Tableau III. 3: Quelques actinobactéries nouvellement décrites productrices d'enzymes.

Espèces	Enzyme	Source de tension	Référence
<i>Thermobifida halotolerans</i>	Xylanase thermostable.	isolé à partir d'un échantillon de mine de sel prélevé dans la province du Yunnan, au sud-ouest de la Chine.	(Zhang <i>et al.</i> , 2012)
	GH9 endoglucanase thermostable (cellulase).		(Zhang <i>et al.</i> , 2011)
	Esterase		(Ribitsch <i>et al.</i> , 2012)
	GH11 xylanase.		(Zhang <i>et al.</i> , 2012)
<i>Amycolatopsis cihanbeyliensis</i>	Detergent additive of endoglucanase (cellulase).	isolée depuis du sol prélevé à la mine de sel de Cihanbeyli dans la région centrale de l'Anatolie en Turquie.	(Adıgüzel et Tunçer, 2017)
<i>Streptomyces chilikensis</i>	Chitinase	isolée des sédiments de la lagune d'eau saumâtre côtière estuarienne du lac Chilika,	(Lopamudra <i>et al.</i> , 2019)

III.2.2.1. Xylanases

Les Xylanase qui hydrolysent le xylane, qui est un des polysaccharides le plus abondant dans la nature, a des applications potentielles dans les industries de l'alimentation humaine et animale pour la production de d-xylose (un édulcorant artificiel), les industries du papier et de la pâte à papier, ainsi que dans la production de biocarburants processus à partir de la biomasse agricole (**Dodd et Cann 2009**). Ce dernier comprend des endo- et exo-xylanases qui sont différentes en termes de spécificité de substrat. Il existe peu d'actinobactéries thermophiles étudiées pour la production de xylanases thermorésistantes. *Thermomonospora halotolerans* est de l'étude membres actinobactériens produisant une xylanase thermostable dont la température optimale est de 60–70 °C et à un pH de 5,0 à 8,0 (**Qin et al., 2016**).

III.2.2.2. Chitinases

La chitine est l'un des glucides les plus répandus après la cellulose. La production de chitinases est corrélée à la propriété antifongique (**Kunz et al., 1992**) et au recyclage des déchets chitineux provenant des carapaces de crevettes et de la chitine de l'industrie des fruits de mer (**Mukherjee et Sen, 2004**). Les chitinases clivent les liaisons β -1,4 de la chitine en unités oligomères qui sont ensuite hydrolysés par les N-acétylglucosaminidases en monomère GlcNAc (**Tsujibo et al., 2003**). Les chitinases sont classées en fonction de leurs séquences d'acides aminés, de leurs propriétés structurelles et de leurs caractéristiques mécanistique dans les sous-familles 18 et 19 de la glycosyl hydrolases (**Metcalf et al., 2002**). La Chitinase produit par le genre *Streptomyces* et *Nocardiopsis* (**Salwan et Sharma, 2018**).

III.2.2.3. Cellulases

La cellulase est un complexe enzymatique qui décompose la cellulose en β -glucose. Ces enzymes sont classés en trois groupes principaux, l'endo-(1,4)- β -D-glucanase (EC 3.2.1.4), l'exo-(1,4)- β -D-glucanase (EC 3.2.1.91) et les β -glucosidases (EC 3.2.1.21). En conséquence, l'exo-glucanase catalyse aux extrémités de la chaîne cellulosique et le produit final serait être β -cellobiose, tandis que l'endo-glucanase produit des chaînes de glucane via une catalyse aléatoire de liaisons glycosidiques (**Hamed et al., 2017**).

Chapitre III: Biodiversité métabolique de certaines actinobactéries halophiles nouvelles

Cette enzyme est largement répandue dans la biosphère notamment chez les organismes fongiques et microbiens (**Ghribi, 2019**). Les enzymes cellulolytiques ont une importance applications intéressantes dans la production de biocarburants à partir de biomasse lignocellulosique, dans les extractions de couleur des jus, dans les détergents provoquant l'éclaircissement et l'adoucissement des couleurs. Les genres actinobactériens qui produisent producteurs de cet enzyme sont *Actinosynnema*, *Cellulomonas*, *Xylanimonas*, *Amycolatopsis*, *Thermobifida*, *Streptomyces* et *Thermoactinomyces* (**Salwan et Sharma, 2018**).

III.2.2.4. Estérases

Les estérases (EC 3.1.1.x) représentent un groupe diversifié d'hydrolases catalysant le clivage et la formation de liaisons ester. Ils sont largement distribués chez les animaux, les plantes et les micro-organismes (**Essoussi et al., 2012**). Cet enzyme produit par *Thermobifida halotolerans*. (**Ribitsch et al., 2012**).

III.2.3. Les pigments

Les pigments naturels ont un grand intérêt sur le marché de nos jours, en particulier les pigments microbiens. La capacité de produire différents pigments. Ces molécules colorées ont un certain nombre de propriétés bénéfiques comme anti-cancéreuses, immunosuppressives, antibiotiques, antiprolifératives, etc. En outre, ils sont utilisés dans le domaine des industries alimentaires, dans l'impression, en textiles, en pharmaceutiques, etc. Les membres du phylum actinobactérien sont capables de produire différents pigments soit par voie intracellulaire dans le mycélium et les spores, soit par voie extracellulaire dans son milieu environnant. Les actinobactéries se caractérisent par la production de divers pigments sur des milieux naturels ou synthétiques et sont considérées comme une caractéristique culturelle importante dans la description de ces organismes (**Ramasamy et al., 2021**).

Chapitre III: Biodiversité métabolique de certaines actinobactéries halophiles nouvelles

Tableau III. 4: Quelques actinobactéries nouvelles productrices de pigments.

Espèces	pigments	Source de tension	Référence
<i>Streptomyces triticiradicis</i>	2-minaline	isolée du sol de la rhizosphère du blé .collecté à Zhumadian. province du henan chine centrale	(Yu <i>et al.</i> , 2020)
<i>Kocuria marina</i>	β -cryptoxanthin (pigment caroténoïde) (β -CRX).	Isolé à partir du sédiment marin.	(Mitra <i>et al.</i> , 2016)

III.2.3.1. Les mélanines

Les mélanines sont les pigments naturels qui sont présentes chez les animaux, les plantes et dans la plupart des micro-organismes. Ils sont des pigments de couleur foncée chargés négativement, de haut poids moléculaire qui sont formés par polymérisation phénolique et / ou indolique composé. La mélanine obtenue à partir de microbes présente de grands avantages biotechnologiques sur la mélanine des animaux et des plantes (Ramasmay *et al.*, 2021).

III.2.3.2. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des molécules lipidiques appartenant à la famille des terpènes. Les terpènes représentent une grande classe de composés à fonctions très variées. L'appartenance à cette catégorie est alors établie sur les critères de structure et de biosynthèse. Les caroténoïdes sont des composés à structure généralement hydrocarbonée. Il existe une variété importante de caroténoïdes, spécialement parmi ceux synthétisés par les bactéries. On compte plus de 700 structures différentes .La couleur est l'élément caractéristique de ces molécules, elles peuvent varier du jaune au rouge (Stephanie, 2005). Les actinomycètes sont connus pour favoriser la croissance des poissons juvéniles, des crevettes. Parmi les pigments isolés des actinomycètes halophiles, on trouve des pigments caroténoïdes jaune-rouge qui sont produits par des halophiles comme c'est le cas de *Nesterenkonia halobia* (Hamedi *et al.*, 2013).

Chapitre III: Biodiversité métabolique de certaines actinobactéries halophiles nouvelles

III.2.4. Les substances anti-oxydantes

Les substances antioxydantes sont les substances capables de retarder ou d'inhiber le processus d'oxydation (**Dekkers et al., 1996**). Les actinomycètes d'origines marines sont des fournisseurs potentielle de ces métabolites bioactives (**Mohankumer et al., 2012**).

Les antioxydants produits par les actinobactéries thermophiles et alcalinophiles ont de multiples usages dans le domaine médical. Elles ont été utilisés dans le traitement du cancer, des maladies cardiaques et des troubles neuro-dégénératifs tels que les maladies d'Alzheimer et de Parkinson. L'acide férulique est un de ces composés (**Qin, 2016**). D'autres molécules à activités anti-oxydantes sont obtenues à partir des actinobactéries isolées des sédiments marins (**Nagaseshu et al., 2016**).

Tableau III. 5: Exemples de molécules anti-oxydantes produites par des quelques espèces nouvelles d'actinobactéries.

Molécules	Espèces	Source de tension	Références
N.D	<i>Saccharopolyspora jiangxiensis</i>	isolé du sol d'un champ d'herbe à partir de jiangxi en chine.	(Krishnamoorthy et al., 2020)
β -cryptoxanthin (β -CRX)	<i>Kocuria marina</i>	Isolé à partir du sédiment marin.	(Mitra et al., 2016)
(Z)-I-(I-hydroxypenta-2-4-dien-I-yl oxy) anthracene9, 10-dione	<i>Nocardiosis alba</i>	isolées à partir d'échantillons d'air à proximité d'une installation de compostage.	(Avilala et al., 2013)

N.D : non-déterminé.

***CONCLUSION ET
PERSPECTIVE***

CONCLUSION ET PERSPECTIVE

La recherche bibliographique réalisée dans ce mémoire, nous permet de fournir certaines informations qui concernent 20 ans de recherches sur les actinobactéries des écosystèmes salins et hyper-salins. Ces écosystèmes autres-fois considérés pauvres en bactéries, regorgent en réalité de nouvelles actinobactéries halophiles. Ces bactéries ont été isolées à partir des sols salins, des eaux de mer et d'océans, des lacs salés et des sédiments de mers. Ces actinobactéries sont une source importante de molécules bioactives.

Dans ce travail de synthèse, plus de 80 articles scientifiques ont été détaillés et analysés. Les tests physico-chimiques des différents échantillons salins, décrivent les propriétés et les caractéristiques de ces environnements particuliers. Ces caractères ont permis aux chercheurs de réaliser les isollements *in-vitro*, dans les conditions de culture le plus fidèlement possible à *in-vivo*. Ce sont particulièrement, les concentrations en NaCl, la composition chimique des milieux d'isolement et les températures d'incubation, qui conditionnent le bon déroulement du screening, afin de sélectionner les espèces *Actinomycetales* halophiles et halotolérantes. Les genres les plus répandus dans ces écosystèmes sont : *Nesterenkonia*, *Nocardiopsis* (qui proviennent du sol) ; *Saccharopolyspora* (à partir d'eau) et *Pseudonocardia* (à partir du sédiment). Le genre *Streptomyces* reste mal isolé, à partir de ces niches extrêmes.

Les biomolécules produites par ces bactéries sont différents. On cite à titre d'exemple les antibiotiques (ansamitocin P-3) l'antibiotique A201A, l'erythronolides H, le Kocumarin et la Natamycine). Parmi les enzymes, nous citons les Xylanases, les Chitinases, les endoglucanases et les Estérases. Certains pigments notamment (2-minaline et β -cryptoxanthin), ont été produits par ces bactéries. Plusieurs antioxydants (β -cryptoxanthin (β -CRX) (Z)-I-(I-hydroxypenta-2-4- dien-I-yl) oxy) anthracene 9, 10-dione), font partie de la liste. Certaines souches nouvelles, ont présenté des activités anticancéreuses, antibactériennes, antifongiques, antiallergiques très intéressantes

À l'issu de cette recherche nous concluons que l'exploration de nouveaux écosystèmes, est voix très prometteuse, pour la découverte de nouvelles actinobactéries. Ces bactéries innovantes, conduisent certainement à la mise en évidence de nouveaux produits naturels bioactifs, très important en biotechnologies.

Certainement nos travaux de recherches ne sont pas complets. Des oublies de certains travaux peuvent exister et pourrons faire l'objet d'autres recherches complémentaires dans le proche avenir. Il serait intéressant de poursuivre ces études dans ces écosystèmes, car ces bactéries cachent encore des aptitudes métaboliques très recherchées.

Références
bibliographiques :

A

- **Abbas, I. H.** (2006). A biological and biochemical studies of actinomycetes isolated from Kuwait saline soil-Kuwait. *J. Appl. Sci. Res*, 2(10), 809-815
- **Abdelshafy Mohamad, O. A., Li, L., Ma, J.-B., Hatab, S., Rasulov, B. A., Musa, Z., Liu, Y.-H., et Li, W.-J.** (2018). Halophilic Actinobacteria biological activity and potential applications. In *Extremophiles in Eurasian ecosystems: ecology, diversity, and applications* (pp. 333-364). Springer.
- **Adigüzel, A. O., Tunçer, M.** (2017). Production, purification, characterization and usage of a detergent additive of endoglucanase from isolated halotolerant *Amycolatopsis cihanbeyliensis* mutated strain Mut43. *Biocatalysis and Biotransformation*, 35, 197-204.
<https://doi.org/10.1080/10242422.2017.1315106>
- **Ait Bachir, A., Asli, A.** (2020). Les microorganismes halophiles: source de biomolécules. Mémoire de Master : Biotechnologie Microbienne. Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 1-7p.
- **Al-Zarban, S. S., Al-Musallam, A. A., Abbas, I., Stackebrandt, E., & Kroppenstedt, R. M.** (2002). *Saccharomonospora halophila* sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from marsh soil in Kuwait. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52(2), 555-558.
- **Anandan, R., Dharumadurai, D., Manogaran, G. P.** (2016). An Introduction to Actinobacteria. . In Dharumadurai.D and Jiang Y(eds). *Actinobacteria - Basics and Biotechnological Applications* .(3-37). IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/62329>.
- **Anandan, R., Dharumadurai, D., Manogaran, G. P.**(2016). Au Introduction to Actinobacteria. In : Dhanasekaran D., Jiang Y. (eds) *Actinobacteria : Basics and Biotechnological Applications*. Intech, Rijeka, pp.3-37.
- **Anibou, M. B.** (2008). Actinomycetes from Moroccan habitats : isolation and screening for cytotoxic activities. *World. J. Microbiol. Biotechnol*, 2019-2025.
- **Avilala., janardhan., arthala., Praveen., kumar., buddolla., Viswanath, D. V. R., Saigopal., and Golla.** (2013).inomyrnasimh .Production of bioactive Compounds by actinomycetes and ther antioxidant Properties,vol ID 217030,8P

B

- **Barka, E. A., Vatsa, P., Sanchez, L., Gaveau-Vaillant, N., Jacquard, C., Meier-Kolthoff, J. P., Klenk, H.-P., Clément, C., Ouhdouch, Y., et van Wezel, G. P.** (2015). Taxonomy, Physiology, and Natural Products of

Références bibliographiques

- Actinobacteria. *Microbiology and molecular biology reviews* : MMBR, 80(1), 1-43. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00019-15>
- **Barka, E.A. (2016).** Taxonomy, physiology, and natural products of Actinobacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. Vol. 80 n°1. P 3-4.
 - **Basilio, A., Gonzalez, I., Vicente, M., Gorrochategui, J., Cabello, A., Gonzalez, A., et Genilloud, O. (2003).** Patterns of antimicrobial activities from soil actinomycetes isolated under different conditions of pH and salinity. *Journal of applied microbiology*, 95(4), 814-823.
 - **Becker, B., Lechevalier, M. P., Gordon, R. E., et Lechevalier, H. (1964).** Rapid differentiation between *Nocardia* and *Streptomyces* by paper chromatography of whole-cell hydrolysates. *Applied Microbiology*, 12(5), 421-423.
 - Becking, J. (1974). Family III. Frankiaceae Becking 1970. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* (Buchanan, RE and Gibbon, NE (eds.)), 8th ed. The Williams and Wilkins Co.: Baltimore. pp. 701-706.
 - **Berdy, J. (2005).** Bioactive microbial metabolites. *Journal of Antibiotics*., (58):1-26.
 - **Blunt, J. W., Copp, B. R., Keyzers, R. A., Munro, M. H. G., Prinsep, R. (2016).** Marine natural products. *Nat. Prod. Rep.* vol. 33, p.382-431.
 - **Bouaziz, S. (2018).** Recherche de souches bactériennes locales productrices de substances antimicrobiennes : isolement, sélection, identification des souches actives et caractérisation partielle des substances bioactives. Thèse de Doctorat. Ouargla : Université Kasdi Merbah-Ouargla. 4-13p.
 - **BOUDEMAGH, A., et BENSOUICI, K. (2014).** The effect of thermic pretreatment and antibiotics on the selective isolation of the culturable actinomycetes from the algerian desert soil. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 25-32.
 - **BOUDJELAL-BENCHEIKH, F. (2012).** *Taxonomie et antagonisme des actinomycètes halophiles d'origine saharienne et caractérisation des composés bioactifs sécrétés par Actinoalloteichus sp. AH97*
 - **Boudoudou, H., Hassikou, R., Ouazzani Touhami, A., Badoc, A., et Douria, A. (2009).** Paramètres physicochimiques et flore fongique des sols de rizières marocaines. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 148, 17-44.
 - **Boukahili, A. B., Chachoua, H., Hamames, M. (2020).** Caractéristiques des actinomycètes et de certains de leurs métabolites bioactifs (antibiotiques et enzymes). Mémoire de Master : Microbiologie Appliquée. OUM EL-BOUAGHI : Université Larbi Ben M'hidi, 28 p.

Références bibliographiques

- **Bousseboua, H.** (2002). Element de microbiologie generale. Université Mentouri Constantine. Algérie.170.172-191.
- **Britton, R., & Crivelli, A.** (1993). Wetlands of southern Europe and North Africa: mediterranean wetlands. In *Wetlands of the world: Inventory, ecology and management Volume I* (pp. 129-194). Springer.
- **Bryant, R. G., & Rainey, M.** (2002). Investigation of flood inundation on playas within the Zone of Chotts, using a time-series of AVHRR. *Remote Sensing of Environment*, 82(2-3), 360-375.
- **Bull, A. T.** (2011). Actinobacteria of the extremobiosphere. in *Extremophiles Handbook*, ed K. Springer, 1203–1240.
- **Bull, A. T., & Stach, J. E.** (2007). Marine actinobacteria: new opportunities for natural product search and discovery. *Trends in microbiology*, 15(11), 491-499.
- **Bycroft, B. W.** (1988). - Dictionnaire of antibiotics and related substances. London: Chapman and Hall, 944 p.

C

- **Canfora, L., Bacci, G., Pinzari, F., Lo Papa, G., Dazzi, C., et Benedetti, A.** (2014). Salinity and bacterial diversity: to what extent does the concentration of salt affect the bacterial community in a saline soil? *PLoS One*, 9(9), e106662.
- **Carro, L., Pukall, R., Spröer, C., Kroppenstedt, R. M., et Trujillo, M. E.** (2013). *Micromonospora halotolerans* sp. nov., isolated from the rhizosphere of a *Pisum sativum* plant. *Antonie van Leeuwenhoek*, 103(6), 1245-1254. <https://doi.org/10.1007/s10482-013-9903-7>
- **Caumette, P.** (1998). LES BACTERIES HALOPHILES: LA VIE DANS LES CONDITIONS EXTREMES DE SALINITE. *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 84(4), 11-21.
- **Chang, X., Liu, W., et Zhang, X.-H.** (2012). *Salinactinospora qingdaonensis* gen. nov., sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from a salt pond. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 62(Pt_4), 954-959.
- **Chang, X., Liu, W., Zhang, X. H.** (2012). *Salinactinospora qingdaonensis* gen. nov., sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from a salt pond. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 62(4), 954–959. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.031088-0>
- **Claverías, F. P., Serna-Cardona, N., Cumsille, A., Zamora-Leiva, L., Riesco, R., et al.** (2022). *Spiractinospora alimapuensis* gen. nov., sp. nov., isolated from marine sediment of Valparaíso Bay (Chile) and proposal for reclassification of two species of the genus *Nocardioopsis*. *International Journal*

Références bibliographiques

- of Systematic and Evolutionary Microbiology, 72(1).
<https://doi.org/10.1099/ijsem.0.005207>
- **Claverías, F. P., Serna-Cardona, N., Cumsille, A., Zamora-Leiva, L., Riesco, R., et al.** (2022). *Spiractinospora alimapuensis* gen. nov., sp. nov., isolated from marine sediment of Valparaíso Bay (Chile) and proposal for reclassification of two species of the genus Nocardioopsis. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 72(1).
<https://doi.org/10.1099/ijsem.0.005207>
 - **Claverías, F., Gonzales-Siles, L., Salvà-Serra, F., Inganäs, E., Molin, K., et al.** (2019). *Corynebacterium alimapuense* sp. nov., an obligate marine actinomycete isolated from sediment of Valparaíso bay, Chile. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 69(3), 783-790.
<https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003237>
 - **Conn, V. M. (2005).** Molecular Interactions of Endophytic Actinobacteria in Wheat and Arabidopsis. Thèse de Doctorat: Biotechnologie médicale. Australie: Flinders University, 35-43p.
 - **Cuq, J .L.** (2008). Microbiologie alimentaire. Chapitre les agents antimicrobiens, p: 125-130.

D

- **Das, P., Mukherjee, S., Sen, R.** (2008). Improved bioavailability and biodegradation of a model polyaromatic hydrocarbon by a biosurfactant producing bacterium of marine origin. *Science Direct* , 72(9), 1229–1234.
<https://doi:10.1016/j.chemosphere.2008.05>
- **DasSarma, S., & Arora, P.** (2002). Halophiles. e LS. 2001. In.
- **Davies, J., Mazel, D.** (1997). Comment la résistance vient aux bactéries. *Biofutur*. 170: 14-17.
- **Delaunay S., Rondags, E., Germain, P.** (2003). Production d'antibiotiques par biotechnologies. *Techniques de l'ingénieur. Opérationsunitaires, génie de la réactionchimique*. J 6 008 1-12.
- **Demain, A.** (2006). Bacterial Pharmaceutical Products in Procaryotes. 812-833.
- **Demain, A. L.**(1999).Phamaceutically active secondary metabolites of microorganisms.
- **Demain, A. L., Lancini, G.** (2006). Bacterial pharmaceutical products. *The Prokaryotes Symbiotic associations, Biotechnology, Applied Microbiology.*; vol. 1, p.812- 833.
- **Demain, A. L., Lancini, G.** (2006). Bacterial Pharmaceutical Products in Procaryotes, 1, 812– 833.

Références bibliographiques

- **DEMNATI, F.** (2014). Biodiversité et enjeux socio-économiques des lacs salés (Chotts et Sebkhass) d'Algérie. Cas du Chott Merouane et Melghir. Diplôme de Magister : Agronomie. Biskra: Université de Biskra - Mohamed Khider, 6-16 p.
- **Demnati, F., Samraoui, B., Allache, F., Sandoz, A., et Ernoul, L.** (2017). A literature review of Algerian salt lakes: values, threats and implications. *Environmental Earth Sciences*, 76(3), 1-15.
- **Dietz, A., & Currie, S.** (1996). Actinomycetes. In *Maintaining cultures for biotechnology and industry* (pp. 85-99). Elsevier.
- **Djaballah, C.** (2010). Biodiversité des Actinomycètes halophiles et halotolérants isolés de la sebkha de Ain M'lila. Mémoire de Magister : Microbiologie. Constantine: Université Mentouri Constantine, 4-9p.
- **Djinni, I.** (2009). Etude taxonomique de souches d'actinomycètes halophiles modérées production de substances antimicrobiennes isolées dans la région de Bejaia. Thèse de Magister : Microbiologie Appliquée. Bejaia : Université. A. Mira de Bejaia. 50-60 p. <http://www.univ-bejaia.dz/xmlui/bitstream/handle/123456789/10588/Etude%20taxonomique%20de%20souches.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- **Dodd, D., Cann, I. K. O.** (2009). Enzymatic deconstruction of xylan for biofuel production. *GCB Bioenergy*, 1(1), 2–17. <https://doi:10.1111/j.1757-1707.2009.01004.x>
- **Dogar, A. M.** (1980). *Méthode d'analyse chimique des sols salés alcalin*. I.N.A.. ELHARRACH, Alger.
- **Donaire, J. J. S.** (2000). *Descriptive and functional wetland typology and classification*. Observatorio Medioambiental.
- **Drago, H.** (2015). Métabolisme secondaire de Streptomyces ambofaciens: exploration génomique ET étude du groupe de genes dirigeant la synthèse du sphydrofurane. Biochimie, Biologie moléculaire. Université Paris saud-Pris XI, 2015. Français. NNT: 2015 PA 112052.

E

- **Edgerton, M. E., et Brimblecombe, P.** (1981). Thermodynamics of halobacterial environments. *Canadian Journal of Microbiology*, 27(9), 899-909.
- **Edwards, M., et Richardson, A. J.** (2004). Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, 430(7002), 881-884.
- **Erquan, C., Qi, C., Shaoming, C., Bing, X., Jianhua, Ju., Huan, W.** (2017). Mathermycin, a Lantibiotic from the Marine *Actinomycete Marinactinospora*

Références bibliographiques

thermotolerans SCSIO 00652. Applied and Environmental Microbiology, 83(15). <https://doi.org/10.1128/AEM.00926-17>

- **Essoussi, I., Boujmil, R., Nouioui, I., Abbassi-Ghozzi, I., Hamza, A., et al.** (2012). Genetic Diversity and Esterase-Profilng of Actinobacteria Isolated from Sahara Desert Stones and Monuments. Geomicrobiology Journal, 29(1), 23-28. <https://doi:10.1080/01490451.2010.521367>

F

- **Fazuo, W., Xinpeng, T., Caiguo, H., Qingxin, L., Si, Z.** (2011). Marinactinones A–C, new γ -pyrones from marine *actinomycete* *Marinactinospora thermotolerans* SCSIO 00606 The Journal of Antibiotics, 64, 189–192. <https://www.nature.com/articles/ja2010153>

G

- **Garrity, G. M., Lilburn, T. G., Cole, J. R., Harrison, S. H., Euzéby, J., et Tindall, B. J.** (2007). Taxonomic outline of the Bacteria and Archaea, Release 7.7 March 6, 2007; Part 1-The “Archea”, Phyla “Crenarchaeota” and “Euryarchaeota”. *Taxonomic Outline*, 551, 73.
- **Gavrieli, I., Beyth, M., et Yechieli, Y.** (1999). The Dead Sea-A terminal lake in the Dead Sea rift: a short overview. *Microbiology and biogeochemistry of hypersaline environments*. CRC Press, Boca Raton, 121-127.
- **Genilloud, O., González, I., Salazar, O., Martín, J., Tormo, J. R., et Vicente, F.** (2011). Current approaches to exploit actinomycetes as a source of novel natural products. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 38(3), 375-389.
- **George, M., Anjumol, A., George, G., et Hatha, A. M.** (2012). Distribution and bioactive potential of soil actinomycetes from different ecological habitats. *Afr J Microbiol Res*, 6(10), 2265-2271.
- **Gerday , C., Glansdort, J. N.** (2007). Physiology and biochemistry of extremophiles. . 450. . <https://doi.org/> <https://doi:10.1128/9781555815813>
- **Ghanem, N. B., Sabry, S. A., El-Sherif, Z. M., Abu El-Ela, G. A.**(2000) Isolation and enumeration of marine actinomycetes from seawater and sediments in Alexandria. *The Journal of General and Applied Microbiology* , 46(3), 105-111 <https://doi.org/10.2323/jgam.46.105>
- **Ghanem, N. B., Sabry, S. A., El-Sherif, Z. M., et El-Ela, G. A. A.** (2000). Isolation and enumeration of marine actinomycetes from seawater and sediments in Alexandria. *The Journal of general and applied microbiology*, 46(3), 105-111.

Références bibliographiques

- **Ginolhac, A.** (2006). Metagenomique et bioinformatique : Etude des polyketides synthèses bactériennes. Thèse de doctorat. Lyon : Université Claude Bernard - Lyon I, 146 p. <https://www.theses.fr/2006LYO10128>
- **Girão, M., Ribeiro, I., Carvalho, M. F.** (2022). Actinobacteria from Marine Environments: A Unique Source of Natural Products. Springer Link, 1–45. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-6132-7_1
- **Gohel, S. D., Sharma, A. K., Dangar, K. G., Thakrar, F. J., et Singh, S. P.** (2015). Antimicrobial and biocatalytic potential of haloalkaliphilic actinobacteria. In *Halophiles* (pp. 29-55). Springer.
- **Goodfellow, M., et Haynes, J.** (1984). Actinomycetes in marine sediments. *Biological, biochemical and biomedical aspects of actinomycetes*, 453-472.
- **Goodfellow, M., et Williams, S.** (1983). Ecology of actinomycetes. *Annual review of microbiology*, 37, 189-216.
- **Govender, L., Naidoo, L., Setati, M. E.** (2013). *Nesterenkonia suensis* sp. nov., a haloalkaliphilic actinobacterium isolated from a salt pan. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 63(1), 41-46. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.035006-0>
- **Grafe, U., Eritt, I., Fleck, W., F.** (1988). On the role of A-factor in cytodifferentiation of anthracycline producing strains of streptomyces griseus. *Actinom.* vol 18.p: 220-246.
- **Grund, E., et Kroppenstedt, R.** (1990). Chemotaxonomy and numerical taxonomy of the genus *Nocardiopsis* Meyer 1976. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 40(1), 5-11.
- **Guan, T. W., Liu, Y., Zhao, K., Xia, Z. F., Zhang, X. P.** (2010). *Actinopolyspora xinjiangensis* sp. nov., a novel extremely halophilic actinomycete isolated from a salt lake in Xinjiang, China. *Antonie van Leeuwenhoek*, 98(4), 447–453. <https://doi.org/10.1007/s10482-010-9458>
- **Guan, T. W., Xia, Z. F., Tang, S. K., Wu, N., Chen, Z. J., et al.** (2012). *Amycolatopsis salitolerans* sp. nov., a filamentous actinomycete isolated from a hypersaline habitat. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 62(1), 23–27. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.030031-0>
- **Guan, T. W., Zhao, H. P., Che, Z. M., Zhang, X. P., Zhang, L. L.** (2013). *Actinopolyspora dayingensis* sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from a hypersaline lake. *Antonie van Leeuwenhoek*, 104(5), 787–792. <https://doi.org/10.1007/s10482-013-9988-z>
- **Guan, T.-W., Tang, S.-K., Wu, J.-Y., Zhi, X.-Y., Xu, L.-H., et al.** (2009). *Haloglycomyces albus* gen. nov., sp. nov., a halophilic, filamentous actinomycete of the family Glycomycetaceae. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(6), 1297-1301. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.006270-0>

Références bibliographiques

- **Guan, T.-W., Xia, Z.-F., Xiao, J., Wu, N., Chen, Z.-J., et al.** (2011). *Glycomyces halotolerans* sp. nov., a novel actinomycete isolated from a hypersaline habitat in Xinjiang, China. *Antonie van Leeuwenhoek*, 100(1), 137-143. <https://doi.org/10.1007/s10482-011-9574-1>
- **Gunde-Cimerman, N., Plemenitaš, A., et Oren, A.** (2018). Strategies of adaptation of microorganisms of the three domains of life to high salt concentrations. *FEMS Microbiology Reviews*, 42(3), 353-375.

H

- **Hagop, D.** (2006). La péniciline I découverte d'antibiotique. Culture science chimie. <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-organique/chimie-pharmaceutique/la-penicilline-i-decouverte-d-un-antibiotique>
- **Hamedi, J., Mohammadipanah, F., Ventosa, A.** (2013). Systematic and biotechnological aspects of halophilic and halotolerant actinomycetes. *Extremophiles*. 17.1-13. <https://doi.org/10.1007/s00792-012-0493-5>
- **Han, X. X., Luo, X. X., Zhang, L. L.** (2014). *Glycomyces fuscus* sp. nov. and *Glycomyces albus* sp. nov., actinomycetes isolated from a hypersaline habitat. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 64(7), 2437–2441. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.061788-0>
- **Harir, M.** (2018). Caractérisation des molécules bioactives produites par des souches d'actinobactéries isolée des sols semi arides d'Algérie. Thèse de Doctorat. Université d'Oran1, Ahmed Ben Bella. P : 4-12. <https://theses.univ-oran1.dz/document/TH4825.pdf>
- **Harouna Maidoukia, A. R., Alkama, M.** (2014). Etude de quelques activités enzymatiques des actinomycètes isolé de deux écosystèmes extrêmes dans le sud Algérien. Mémoire de Master : Microbiologie Générale et biologie moléculaire des microorganismes. Constantine: Université Constantine I, 1-18p.
- **He, J., Xu, Y., Sahu, M. K., Tian, X.-P., Nie, G.-X., Xie, Q., et al.** (2012). *Actinomadura sediminis* sp. nov., a marine actinomycete isolated from mangrove sediment. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 62(Pt_5), 1110-1116. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.032979-0>
- **He, J., Xu, Y., Sahu, M. K., Tian, X.-P., Nie, G.-X., Xie, Q., Zhang, S., Sivakumar, K., et Li, W.-J.** (2012). *Actinomadura sediminis* sp. nov., a marine actinomycete isolated from mangrove sediment. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 62(Pt_5), 1110-1116.
- **Hébert, S., et Légaré, S.** (2000). Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau. Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq no ENV-2001-0141, rapport n QE-123, 3.

Références bibliographiques

- **Himadri, T. B., Abhik, M., Smruti, R. D., Soubhagyalaxmi, J., Lopamudra, R.** (2020). Production of N-acetyl chitooligosaccharide by novel *Streptomyces chilikensis* strain RC1830 and its evaluation for anti-radical, anti-inflammatory, anti-proliferative and cell migration potential. *Science Direct*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100428>
- **Holt, J. G., Krieg, N. R., et Sneath, P. H.** (1994). *Bergey's manual of determinative bacteriology*.
- **Horinouchi, S.** (2002). A microbial hormone, A-factor, as a master switch for morphological differentiation and secondary metabolism in *Streptomyces griseus*. *Frontiers in Bioscience* 7, 2045-2057.
- **Huang, S. X., Zhao, L. X., Tang, S. K., Jiang, C. L., Duan, Y., Shen, B.** (2009). Erythronolides H and I, New Erythromycin Congeners from a New Halophilic Actinomycete *Actinopolysporasp. YIM90600*. *Organic Letters*, 11(6), 1353–1356. <https://doi:10.1021/ol900143j>
- **Huttner, A., Harbarth, S., Carlet, J., Cosgrove, S., Goossens, H., Holmes, A., Jarlier, V., Voss, A., et Pittet, D.** (2013). Antimicrobial resistance: a global view from the 2013 World Healthcare-Associated Infections Forum. *Antimicrobial resistance and infection control*, 2(1), 1-13.

I

- **Ibrahimi, M.** (2020). *Extraction et caractérisation de nouveaux antibactériens produits par les actinobactéries prédatrices d'origine marine*. These de Doctorat. Université de Poitiers; Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.
- **Ismet, A.** (2013). Isolation, classification, phylogenetic analysis and scanning electron microscopy of halophilic, halotolerant and alkaliphilic actinomycetes isolated from hypersaline soil. *African Journal of Microbiology Research*, 7(4), 298-308.

J

- **Jensen, P. R., Wight, R. D., Fenical, W.** (1991). Distribution of actinomycetes in near-shore tropical marine sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(4), 1102–1108. <https://doi:10.1128/aem.57.4.1102-1108.1991>
- **Jensen, P. R., Gontang, E., Mafnas, C., Mincer, T. J., Fenical, W.** (2005). Culturable marine actinomycete diversity from tropical Pacific Ocean sediments. *Environmental Microbiology*, 7(7), 1039–1048. <https://doi:10.1111/j.1462-2920.2005.00785.x>

Références bibliographiques

- **Ji, Y., Chunyu, W. X., Li, E. Y., Ding, Z. G., Yin, M., et al.** (2018). Phytoactinopolyspora halotolerans sp. nov., une actinobactérie halotolérante isolée d'un sol salin du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. *Antoine van Leeuwenhoek*, 111 (1), 27-34.
- **Jiang, Y., Li, Q., Chen, X., et Jiang, C.** (2016). Isolation and cultivation methods of Actinobacteria. *Actinobacteria-basics and biotechnological applications*, 39-57.
- **Junying, Ma., Dianguang, Z., Yongxiang, S., Bo, W., Hongbo, H., et al.** (2012). Characterization of a Single Gene Cluster Responsible for Methylpendolmycin and Pendolmycin Biosynthesis in the Deep Sea *Bacterium Marinactinospora thermotolerans*. *chemistry-europe.onlinelibrary*, 13(4), 547-552. <https://doi.org/10.1002/cbic.201100700>

K

- **Kämpfer, P.** (2006). The family Streptomycetaceae, part I: taxonomy. *The prokaryotes*, 3, 538-604.
- **Kämpfer, P., Busse, H.-J., et Rainey, F. A.** (2002). Nocardiosis compostus sp. nov., from the atmosphere of a composting facility. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52(2), 621-627.
- **Kaurichev, I., Panov, N., Stratonóvich, M., Grechin, I., Sávich, V., Ganzhara, N., et Mershin, A.** (1980). Prácticas de edafología.
- **Khanna, M., Solanki, R., et Lal, R.** (2011). Selective isolation of rare actinomycetes producing novel antimicrobial compounds. *Int J Adv Biotechnol Res*, 2(3), 357-375.
- **Khattabi, A., Hilali, L., Dari, K., Assobhei, O., et Gavini, F.** (2002). Isolement de microorganismes d'origine marine (Maroc) antagonistes de *Yersinia ruckeri* et *Yersinia pseudotuberculosis*. *Rev Biol Biotech*, 2, 28-32.
- **Kim, S. B., Nedashkovskaya, O. I., Mikhailov, V. V., Han, S. K., Kim, K.-O., et al.** (2004). *Kocuria marina* sp. nov., a novel actinobacterium isolated from marine sediment. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(5), 1617-1620. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02742-0>
- **Kim, S. H., Yang, H. O., Sohn, Y. C., et Kwon, H. C.** (2010). *Aeromicrobium halocynthiae* sp. nov., a taurocholic acid-producing bacterium isolated from the marine ascidian *Halocynthia roretzi*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60(12), 2793-2798. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.016618-0>
- **Kirtel, O., Versluys, M., Van den Ende, W., et Öner, E. T.** (2018). Fructans of the saline world. *Biotechnology advances*, 36(5), 1524-1539.

Références bibliographiques

- **Krishnamoorthy, M., Dharmaraj, D., Rajendran, K., Karuppiah, K., Balasubramanian, M., et Ethiraj, K.** (2020). Pharmacological activities of coral reef associated actinomycetes, *Saccharopolyspora* sp. IMA1. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 28, 101748.
- **Krishnamoorthy, M., Dharmaraj, D., Rajendran, K., Karuppiah, K., Balasubramanian, M., Ethiraj, K.** (2020). Pharmacological activities of coral reef associated actinomycetes, *Saccharopolyspora* sp. IMA1. *biocatalysis-and-agricultural-biotechnology*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101748>
- **Kumar, C. G., Mongolla, P., Joseph, J., Nageswar, Y., et Kamal, A.** (2010). Antimicrobial activity from the extracts of fungal isolates of soil and dung samples from Kaziranga National Park, Assam, India. *Journal de Mycologie Médicale*, 20(4), 283-289.
- **Kunz, C., Ludwig, A., Bertheau, Y., Boller, T.** (1992). Evaluation of the antifungal activity of the purified chitinase 1 from the filamentous fungus *Aphanocladium album*. *FEMS Microbiology Letters*, 90(2), 105–109. <https://doi:10.1111/j.1574-6968.1992.tb05135.x>
- **Kuster, E.** (1968). Taxonomy of soil actinomycetes and related organisms. *Ecology of soil bacteria. Liverpool University press, Liverpool*, 322-336.
- **Lacey, J.** (1997). Actinomycetes in compost. *Annals of agricultural and environmental medicine*, 4(1).

L

- **Lam, K. S.** (2006). Discovery of novel metabolites from marine actinomycetes. *Current opinion in microbiology*, 9(3), 245-251.
- **Larpent, j. p., Sanglier J. J.** (1989). *biothechnologie des antibiotiques*. Masson, paris. p :124-355
- **Law, J. W. F., Letchumanan, V., Tan, L. T. H., Ser, H .L., Goh B.H., Lee L.H.** (2020). The Rising of “Modern Actinobacteria” Era. *Progress in microbes & molecular biology*, 3 (1). <https://doi.org/10.3687/pmmb.a0000064>.
- **Lawson, P. A., Collins, M. D., Schumann, P., Tindall, B., Hirsch, P., et Labrenz, M.** (2000). New LL-diaminopimelic Acid-containing Actinomycetes from Hypersaline, Heliothermal and Meromictic Antarctic Ekho Lake: *Nocardioides aquaticus* sp. nov. And *Friedmanniella lacustris* sp. nov. *Systematic and applied microbiology*, 23(2), 219-229. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10930074/>
- **Le Minor, L., Veron, M.** (1989). *Bacteriologie medicale*. 2ème édition. Medecine. Sciences Flammarion.

Références bibliographiques

- **Lechevalier, M. P., De Bievre, C., et Lechevalier, H.** (1977). Chemotaxonomy of aerobic actinomycetes: phospholipid composition. *Biochemical Systematics and Ecology*, 5(4), 249-260.
- **Lee, J. Y., et Hwang, B. K.** (2002). Diversity of antifungal actinomycetes in various vegetative soils of Korea. *Canadian Journal of Microbiology*, 48(5), 407-417.
- **Lee, S. D.** (2006). *Amycolatopsis jejuensis* sp. nov. And *Amycolatopsis halotolerans* sp. nov., novel actinomycetes isolated from a natural cave. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56(3), 549-553. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63881-0>
- Leveau, J.-Y., & Bouix, M. (1993). Microbiologie industrielle: les micro-organismes d'intérêt industriel.
- **Li, F., Xie, Q., Zhou, S., Kong, F., Xu, Y., Ma, Q., et al.** (2021). *Nocardiopsis coralli* sp. nov. A novel actinobacterium isolated from the coral *Galaxea astreata*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 71(6), 004817. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004817>
- **Li, J., Zhang, S.** (2020). *Kocuria coralli* sp. nov., a novel actinobacterium isolated from coral reef seawater. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(2), 785-789. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003825>
- **Li, W.-J., Xu, P., Zhang, L.-P., Tang, S.-K., Cui, X.-L., Mao, P.-H., et al.** (2003c). *Streptomonospora alba* sp. nov., a novel halophilic actinomycete, and emended description of the genus *Streptomonospora* Cui et al. 2001. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(5), 1421-1425. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02543-0>
- **Li, W.-J., Chen, H.-H., Kim, C.-J., Park, D.-J., Tang, S.-K., et al.** (2005). *Microbacterium halotolerans* sp. nov., isolated from a saline soil in the west of China. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(1), 67-70. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63239-0>
- **Li, W.-J., Chen, H.-H., Zhang, Y.-Q., Schumann, P., Stackebrandt, E., et al.** (2004a). *Nesterenkonia halotolerans* sp. nov. And *Nesterenkonia xinjiangensis* sp. nov., actinobacteria from saline soils in the west of China. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(3), 837-841. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02935-0>
- **Li, W.-J., Park, D.-J., Tang, S.-K., Wang, D., Lee, J.-C., et al.** (2004b). *Nocardiopsis salina* sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from saline soil in China. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(5), 1805-1809. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63127-0>

Références bibliographiques

- **Li, W.-J., Tang, S.-K., Stackebrandt, E., Kroppenstedt, R. M., Schumann, P., et al.** (2003a). *Saccharomonospora paurometabolica* sp. nov., a moderately halophilic actinomycete isolated from soil in China. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(5), 1591-1594. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02633-0>
- **Li, W.-J., Xu, P., Tang, S.-K., Xu, L.-H., Kroppenstedt, R. M., et al.** (2003b). *Prauserella halophila* sp. nov. And *Prauserella alba* sp. nov., moderately halophilic actinomycetes from saline soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(5), 1545-1549. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02611-0>
- **Li, W.-J., Zhang, Y.-Q., Schumann, P., Liu, H.-Y., Yu, L.-Y., et al.** (2008). *Nesterenkonia halophila* sp. nov., a moderately halophilic, alkalitolerant actinobacterium isolated from a saline soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58(6), 1359-1363. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.64226-0>
- **Li, Y., Tang, S. K., Chen, Y. G., Wu, J. Y., Zhi, X. Y. , et al.** (2009). *Prauserella salsuginis* sp. nov., *Prauserella flava* sp. nov., *Prauserella aidingensis* sp. nov. et *Prauserella sediminis* sp. nov., isolé d'un lac salé. *Journal international de microbiologie systématique et évolutive* , 59 (12), 2923-2928.
- **Li, Y., Tang, S.-K., Chen, Y.-G., Wu, J.-Y., Zhi, X.-Y., Zhang, Y.-Q., et Li, W.-J.** (2009). *Prauserella salsuginis* sp. nov., *Prauserella flava* sp. nov., *Prauserella aidingensis* sp. nov. and *Prauserella sediminis* sp. nov., isolated from a salt lake. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(12), 2923-2928.
- **Litchfield, C., et Gillevet, P.** (2002). Microbial diversity and complexity in hypersaline environments: a preliminary assessment. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28(1), 48-55.
- **Lopamudra, R., Ananta, N. P., Samir, R. M., Ajit, K. P., Tapan, K. A., et al.** (2019). Purification and characterization of an extracellular thermo-alkali stable, metal tolerant chitinase from *Streptomyces chilikensis* RC1830 isolated from a brackish water lake sediment. *Science Direct*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00311>
- **Lopamudra, R., Ananta, N.P., Samir, R.M., Ajit, K.P., Tapan, K.A., et al.** (2019). Purification and characterization of an extracellular thermo-alkali stable, metal tolerant chitinase from *Streptomyces chilikensis* RC1830 isolated from a brackish water lake sediment. *Science Direc*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00311>
- **Ludwig, W., Euzéby, J., et Whitman, W. B.** (2012). Taxonomic outline of the phylum Actinobacteria. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology– Actinobacteria*, 5, 29-31.

Références bibliographiques

- **Luo, H.-Y., Miao, L.-H., Fang, C., Yang, P.-L., Wang, Y.-R., et al.** (2008). *Nesterenkonia flava* sp. nov., isolated from paper-mill effluent. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58(8), 1927-1930. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.65618-0>
- **Lv, L. L., Zhang, Y. F., Xia, Z. F., Zhang, J. J., Zhang, L. L.** (2014). *Saccharopolyspora halotolerans* sp. nov., un actinomycète halophile isolé d'un lac hypersalin. *Journal international de microbiologie systématique et évolutive*, 64 (Pt_10), 3532-3537.
- **Lv, L.-L., Zhang, Y.-F., & Zhang, L.-L.** (2015). *Glycomyces tarimensis* sp. nov., an actinomycete isolated from a saline-alkali habitat. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65(Pt_5), 1587-1591

M

- **Machin, E. V., Asem, M. D., Salam, N., Iriarte, A., Langleib, M., et al.** (2019). *Nesterenkonia natronophila* sp. nov., an alkaliphilic actinobacterium isolated from a soda lake, and emended description of the genus *Nesterenkonia*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 69(7), 1960-1966. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003409>
- **Madigan, M., & Mairs, B.** (1997). Extremophiles. Scientific. American. In.
- **Manivasagan, P., Venkatesan, J., Sivakumar, K., Kim, S. K.** (2014). Pharmaceutically active secondary metabolites of marine actinobacteria. *Microbiol .Res.* vol. 169, p.262- 278.
- **Mariat, F., Sebald, M.** (1990). Les actinomycetes. Dans : Bactériologie médicale. Le Minor. Edition Médecine-Science. Flammarion. France.
- **Martina, A., Mohammad, A., Helena S. O., Michael, G., Alan, T. B., et al.** (2018). Comparative genomics reveals phylogenetic distribution patterns of secondary metabolites in *Amycolatopsis* species. *BMC Genomics*, 426. <https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-018-4809-4>
- **McGenity, T. J., Gemmell, R. T., Grant, W. D., et Stan-Lotter, H.** (2000). Origins of halophilic microorganisms in ancient salt deposits: Minireview. *Environmental Microbiology*, 2(3), 243-250.
- **McKinney, R. E.** (2004). *Environmental pollution control microbiology: a fifty-year perspective*. CRC Press.
- **Meklat, A., Bouras, N., Riba, A., Zitouni, A., Mathieu, F., et al.** (2014). *Streptomonospora algeriensis* sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from soil in Algeria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 106(2), 287-292. <https://doi.org/10.1007/s10482-014-0195-3>

Références bibliographiques

- **Meklat, A., Bouras, N., Riba, A., Zitouni, A., Mathieu, F., Rohde, M., Schumann, P., Spröer, C., Klenk, H.-P., et Sabaou, N.** (2014). *Streptomonospora algeriensis* sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from soil in Algeria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 106(2), 287-292.
- **Merouane, F.** (2016). Extraction, purification et caractérisation des lectines produites par la souche *Micromonospora aurantiaca* GF44c, et tests biologiques.
- **Metcalf, A.C., Krsek, M., Gooday, G.W., Prosser, J.I., Wellington, E.M.H.** (2002). Molecular Analysis of a Bacterial Chitinolytic Community in an Upland Pasture. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(10), 5042–5050. <https://doi:10.1128/aem.68.10.5042-5050.2002>
- **Meurant, G.** (2012). *Actinomycetes in Biotechnology*. Elsevier.
- **Mitra, R., Samanta, A.K., Chaudhuri, S., Dutta, D.** (2016). Impact of carbon source on β -cryptoxanthin production by *Kocuria marina* DAGII: a classical approach. *Science Direct*, 3(10), 3269-3275. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.10.008>
- **Mitra, R., Samanta, A.K., Chaudhuri, S., Dutta, D.** (2016). Impact of carbon source on β -cryptoxanthin production by *Kocuria marina* DAGII: a classical approach. *Science Direct*, 3(10), 3269-3275. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.10.008>
- **Mohammadipanah, F. Wink, J.** (2016). Actinobacteria from arid and desert habitats: diversity and biological activity . *Front. Microbiol.* 6: 1541.
- **Mohammadipanah, F., et Dehghani, M.** (2017). Classification and taxonomy of Actinobacteria. In *Biology and biotechnology of Actinobacteria* (pp. 51-77). Springer.
- **Mukesh, S.** (2014). Actinomycetes : Source, Identification, and Their Applications. *International Journal Current Microbiology and Applied Sciences*, 2(3), 801-832.
- **Mukherjee, G., Sen, S.** (2004). Characterization and identification of chitinase producing *Streptomyces venezuelae* P10. *Indian J. Exp. Biol.* 42 (5), 541. <http://hdl.handle.net/123456789/23448>
- **Murphy, B. T., Narendar, T., Kauffman, C. A., Woolery, M., Jensen, P. R., et Fenical, W.** (2010). Saliniquinones A–F, new members of the highly cytotoxic anthraquinone- γ -pyrones from the marine actinomycete *Salinispora arenicola*. *Australian journal of chemistry*, 63(6), 929-934.

N

- **Nanjani, S. G., et Soni, H. P.** (2012). Diversity and eps production potential of halotolerant bacteria from Veraval and Dwarka. *IOSR J. Pharm. Biol. Sci*, 2(2), 20-25.
- **Nonomura, H.** (1969). The distribution of actinomycetes in soil. VI. A selective plate culture isolation method for Microbispora and Streptosporangium strains Part I. *J. Ferm. Technol.*, 47, 463-469.

O

- **Omura, S.** (1992). *The search for bioactive compounds from microorganisms*. Springer Science & Business Media.
- **Oren, A.** (2002). Diversity of halophilic microorganisms: environments, phylogeny, physiology, and applications. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28(1), 56-63.
- **Oren, A.** (2011). Diversity of halophiles. In *Extremophiles handbook*.
- **Oren, A.** (2013). Life at high salt and low oxygen: how do the Halobacteriaceae cope with low oxygen concentrations in their environment? In *Polyextremophiles* (pp. 531-548). Springer.
- **Oskay, A. M., Üsame, T., et Cem, A.** (2004). Antibacterial activity of some actinomycetes isolated from farming soils of Turkey. *African journal of biotechnology*, 3(9), 441-446.
- **Oskay, A., Mustafa., Tamer Ü., Azeri, C.** (2004). Antibacterial activity of some actinomycetes isolated from farmingsoils of Turkey. *Afr J Biotechnol* ; vol. 3, n°9, p.441-446.
- **Ouabed, F.** (2011). Contribution à l'étude de la biodiversité florale et microbienne au niveau de trois écosystèmes hypersalés du sud Algérien (Chotts et Sebkha). Mémoire de Magister : Ecologie et Environnement (ED). Alger : Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 89p. <file:///C:/Users/lenovo/Desktop/TH6795.pdf>
- **Oxoby, M.** (2002). Etudes sur la synthèse totale des antibiotiques naturels de la famille des angucyclinones, Thèse de docteur : chimie organique de l'universitéBordeaux I, école doctorale des sciences chimiques. 3-12 p.

P

- **Palou, S.-K.** (2009). Caractérisation physicochimique des sédiments de dragage du lac est de la lagune de Lomé. *Mémoire de DUIT, Université de Lomé, Lomé*.

Références bibliographiques

- **Park, J. O., El-Tarabily, K. A., Ghisalberti, E. L., Sivasithamparam, K.** (2002). Pathogenesis of *Streptovorticillium albireticuli* on *Caenorhabditis elegans* and its antagonism to soil-borne fungal pathogens. *Letters in Applied Microbiology*, 35, 361–365. <https://doi:10.1046/j.1472-765x.2002.01194.x>
- **Parra, J., Soldatou, S., Rooney, L. M., et Duncan, K. R.** (2021). *Pseudonocardia abyssalis* sp. nov. And *Pseudonocardia oceani* sp. nov., two novel actinomycetes isolated from the deep Southern Ocean. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 71(9). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8549268/>
- **Paul, E.** (2007). Soil microbiology, ecology, and biochemistry in perspective. In *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (pp. 3-24). Elsevier.
- **Paul, V. G., et Mormile, M. R.** (2017). A case for the protection of saline and hypersaline environments: a microbiological perspective. *FEMS microbiology ecology*, 93(8).
- **Perthuisot, J.-P.** (1981). Les vicissitudes conceptuelles sur la genèse d'un bassin salin: la Sebkhah el Melah (Tunisie). *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 1(39), 49-58.
- **Por, F.** (1980). A classification of hypersaline waters, based on trophic criteria. *Marine Ecology*, 1(2), 121-131.
- **Prescott, L. M., Willey, J. M., Sherwood, L. M., Woolverton, C. J.** (2018). *Microbiologie* (France ed.).
- **Pridham, T., Hesseltine, C., et Benedict, R.** (1958). A guide for the classification of streptomycetes according to selected groups. Placement of strains in morphological sections. *Applied Microbiology*, 6(1), 52-79.

Q

- **Qin, S., Li W. J., Dastager, S. G. Hozzein W. N.** (2016). Actinobacteria in special and extreme habitats: Diversity, function roles and environmental adaptations. *Lausanne : Frontiers Media*. <https://doi.org/10.3389/978-2-88945-013-8>.
- **Qinghua, Z., Jun, L., Junying, M., Minghe, L., Bo, W., et al.** (2012). Discovery and Engineered Overproduction of Antimicrobial Nucleoside Antibiotic A201A from the Deep-Sea Marine *Actinomycete Marinactinospora thermotolerans* SCSIO 00652. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 56(1). <https://doi.org/10.1128/AAC.05278-11>
- **Qinghua, Z., Jun, L., Junying, M., Minghe, L., Bo, W., et al.** (2012). Discovery and Engineered Overproduction of Antimicrobial Nucleoside Antibiotic A201A from the Deep-Sea Marine *Actinomycete Marinactinospora*

Références bibliographiques

thermotolerans SCSIO 00652. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 56(1).
<https://doi.org/10.1128/AAC.05278-11>

R

- **Rabiha, B., Halima, B.** (2013). Le métabolisme secondaire chez les Actinomycètes. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme des études supérieures en biologie: Microbiologies. Jijel: Université de Jijel, 58p.
- **Rainey, F. A., Ward-Rainey, N., Kroppenstedt, R. M., et Stackebrandt, E.** (1996). The genus *Nocardiopsis* represents a phylogenetically coherent taxon and a distinct actinomycete lineage: proposal of *Nocardiopsaceae* fam. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 46(4), 1088-1092.
- **Ramasamy, B., Thangavel, S., Joseph, J., Manikkam, R., Venugopal, G.** (2021). Protocols in Actinobacterial Research. illustrée: Springer US. https://books.google.dz/books?id=83GAzgeEACAAJ&dq=Protocols+in+Actinobacterial+Research.&hl=fr&sa=X&redir_esc=y
- **Rathod, D., Golinska, P., Wypij, M., Dahm, H., Rai, M.** (2016). A new report of *Nocardiopsis valliformis* strain OT1 from alkaline Lonar crater of India and its use in synthesis of silver nanoparticles with special reference to evaluation of antibacterial activity and cytotoxicity. *Springer Link*, 205, 435–447.
- **Ray, L., Suar, M., Pattnaik, A. K., & Raina, V.** (2013). *Streptomyces chilikensis* sp. nov., a halophilic streptomycete isolated from brackish water sediment. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63(Pt_8), 2757-2764. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.046284-0>
- **Reggam, A., Bouchelaghem, H., & Houhamdi, M.** (2015). Qualité physico-chimique des eaux de l'Oued Seybouse (Nord-Est de l'Algérie): caractérisation et analyse en composantes principales. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(5), 1417-1425.
- **Reponen, T. A., Gazonko, S. V., Grinshpun, S. A., Willeke, K., Cole, E. C.** (1998). Characteristics of Airborne Actinomycete Spores. *Appl Environ Microbiol*, 64 (10): 3807–3812.
- **Ribitsch, D., Acero, E. H., Greimel, K. J., Dellacher, A., Zitzenbacher, S., et al.** (2012). A New Esterase from *Thermobifida halotolerans* Hydrolyses Polyethylene Terephthalate (PET) and Polylactic Acid (PLA). MDPI[en ligne], 4(1), 617-629. (Page consultée le 13/04/2022) <https://doi.org/10.3390/polym4010617>
- **Ribitsch, D., Acero, E. H., Greimel, K. J., Dellacher, A., Zitzenbacher, S., et al.** (2012). A New Esterase from *Thermobifida halotolerans* Hydrolyses

Références bibliographiques

- Polyethylene Terephthalate (PET) and Polylactic Acid (PLA). *MDPI*, 4(1), 617-629. <https://doi.org/10.3390/polym4010617>
- **Rokem, J. S., Lantz, A. E., Nielsen, J.** Systems biology of antibiotic production by microorganisms. *Nat Prod Rep.* (2007); vol. 24, p.1262–87.
 - **Rosen, M. R.** (1994). The importance of groundwater in playas: a review of playa classifications and the sedimentology and hydrology of playas.
 - **Ruan, J.** (2013). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Volume 5 and the study of Actinomycetes systematic in China. *Wei sheng wu xue bao= Acta microbiologica Sinica*, 53(6), 521-530.
 - **Rusznayk, A., Tóth, E. M., Schumann, P., Spröer, C., Makk, J., et al.** (2011). *Cellulomonas phragmiteti* sp. nov., a cellulolytic bacterium isolated from reed (*Phragmites australis*) periphyton in a shallow soda pond. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 61(7), 1662–1666. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.022608-0>

S

- **Salwan, R., Sharma, V.** (2018). The Role of Actinobacteria in the Production of Industrial Enzymes. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, 165–177. doi:10.1016/b978-0-444-63994-3
- **Sanglier, J. J., Wellington, E. M. H., Kamoun, A., Kelly, C., Mercer, D. K., Prinzi, S. Trigo, C.** (1993). Novel bioactive compounds from Actinomycetes. *Res. Microbiol.* vol 144, p :661-663.
- **Sayed, A. M., Hassan, M. H., Alhadrami, H. A., Hassan, H. M., Goodfellow, M., et Rateb, M. E.** (2020). Extreme environments: microbiology leading to specialized metabolites. *Journal of applied microbiology*, 128(3), 630-657.
- **Seck, E. H., Dufour, J.-C., Raoult, D., et Lagier, J.-C.** (2018). Halophilic & halotolerant prokaryotes in humans. *Future Microbiology*, 13(07), 799-812.
- **Sharma, M., Dangi, P., et Choudhary, M.** (2014). Actinomycetes: source, identification, and their applications. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(2), 801-832.
- **Silini, S.** (2012). Contribution à l'étude de la biodégradation de la méthyléthylcétone en réacteur batch par les actinomycètes isolés à partir des boues activées de la station d'épuration d'El-Atmania.
- **Singh, L. S., Baruah, I., et Bora, T.** (2006). Actinomycetes of Loktak habitat: isolation and screening for antimicrobial activities. *Biotechnology*, 5(2), 217-221.
- **Singh, L. S., Baruah, I., Bora, T. C.** (2006). Actinomycetes of Loktak habitat: isolation and screening for antimicrobial activities. *Biotechnology*. 5(2):217–221

Références bibliographiques

- **Smaoui, S.** (2010). *Purification et caractérisation de biomolécules à partir de microorganismes nouvellement isolés et identifiés*
- **Solanki, R., Khanna, M., Lal, R.** (2008). Bioactive compounds from marine actinomycetes. *Ind. J. Microbiol.*; 48, 410-431.
- **Sprusansky, O., Stirrett, K., Skinner, D., Denoya, C., et Westpheling, J.** (2005). The bkdR gene of *Streptomyces coelicolor* is required for morphogenesis and antibiotic production and encodes a transcriptional regulator of a branched-chain amino acid dehydrogenase complex. *Journal of bacteriology*, 187(2), 664-671.
- **Stephanie, S.** (2005). Biosynthèse de caroténoïdes aromatiques hydroxylés par des bactéries non photosyn-thétiques : Des carotènes aux xanthophylles. Thèse de doctorat: Biochimie. Bretagne occidentale : Université de Bretagne occidentale - Brest, 174p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00193188>
- **Strub C.** (2008). Modélisation et optimisation de la production de thiolutine chez *Saccharothrix algeriensis*. Thèse de doctorat. France : Université de Toulouse INP-ENSAT. France. 174p.
- **Sujatha, P., Raju, K. B., et Ramana, T.** (2005). Studies on a new marine streptomycete BT-408 producing polyketide antibiotic SBR-22 effective against methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. *Microbiological research*, 160(2), 119-126.
- **Sun, J. Y., Zhang, Q., Canagaratna, M. R., et al.** Highly time- and size-resolved characterization of submicron aerosol particles in Beijing using an Aerodyne Aerosol Mass Spectrometer, *Atmos. Environ.*, 44, 131–140, 2010.
- **Suriya, J., Bharathiraja, S., Manivasagan, P., Kim, S. K.** (2016). Enzymes From Rare Actinobacterial Strains. *Advances in Food and Nutrition Research*, 79, 67-98. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2016.08.002>

T

- **Tang, S. K., Wang, Y., Guan, T. W., Lee, J. C., Kim, C. J., Li, W. J.** (2010). *Amycolatopsis halophila* sp. nov., un actinomycète halophile isolé d'un lac salé. *Journal internationale de microbiologie systématique et évolutive*, 60 (5), 1073-1078.
- **Tang, S. K., Wang, Y., Zhang, H., Lee, J. C., Lou, K., et al.** (2010). *Haloethinotrix alba* gen. nov., sp. nov., un actinomycète filamenteux halophile du sous-ordre des Pseudonocardineae. *Journal internationale de microbiologie systématique et évolutive*, 60 (9), 2154-2158.
- **Tang, S.-K., Tian, X.-P., Zhi, X.-Y., Cai, M., Wu, J.-Y., et al.** (2008). *Haloactinospora alba* gen. nov., sp. nov., a halophilic filamentous actinomycete of the family Nocardioseae. *International Journal of Systematic and*

Références bibliographiques

- Evolutionary Microbiology*, 58(9), 2075-2080.
<https://doi.org/10.1099/ijs.0.65531-0>
- **Tang, S.-K., Wang, Y., Cai, M., Zhi, X.-Y., Lou, K., Xu, L.-H., et al.** (2009). *Saccharopolyspora halophila* sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from a saline lake in China. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(3), 555-558. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.65705-0>
 - **Tang, S.-K., Wang, Y., Klenk, H.-P., Shi, R., Lou, K., et al.** (2011). *Actinopolyspora alba* sp. nov. and *Actinopolyspora erythraea* sp. nov., isolated from a salt field, and reclassification of *Actinopolyspora iraqiensis* Ruan et al. 1994 as a heterotypic synonym of *Saccharomonospora halophila*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 61(7), 1693-1698. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.022319-0>
 - **Tang, S.-K., Wang, Y., Lou, K., Mao, P.-H., Xu, L.-H., et al.** (2009a). *Kocuria halotolerans* sp. nov., an actinobacterium isolated from a saline soil in China. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(6), 1316-1320. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.006627-0>
 - **Tang, S.-K., Wang, Y., Schumann, P., Stackebrandt, E., Lou, K., Jiang, C.-L., et al.** (2008a). *Brevibacterium album* sp. nov., a novel actinobacterium isolated from a saline soil in China. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58(3), 574-577. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.65183-0>
 - **Tang, S.-K., Wang, Y., Wu, J.-Y., Cao, L.-L., Lou, K., Xu, L.-H., et al.** (2009b). *Saccharopolyspora qijiaojingensis* sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from a salt lake. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(9), 2166-2170. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.009860-0>
 - **Tatar, D., Guven, K., Inan, K., Cetin, D., Belduz, A. O., et al.** (2016). *Streptomonospora tuzyakensis* sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from saline soil. *Antonie van Leeuwenhoek*, 109(1), 35-41. <https://doi.org/10.1007/s10482-015-0607-z>
 - **Tatar, D., Guven, K., Inan, K., Cetin, D., Belduz, A. O., et al.** (2016). *Streptomonospora tuzyakensis* sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from saline soil. *Antonie van Leeuwenhoek*, 109(1), 35-41. <https://doi.org/10.1007/s10482-015-0607-z>
 - **Tatar, D., Sazak, A., Guven, K., Cetin, D., et Sahin, N.** (2013). *Amycolatopsis cihanbeyliensis* sp. nov., a halotolerant actinomycete isolated from a salt mine. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63(Pt_10), 3739-3743. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.050963-0>
 - **Theilleux, J., Leveau, J. Y., Mouix, M.** (1993). Les actinomycètes in Microbiologie industrielle : Les microorganismes d'intérêt industrie. Lavoisier Tech et Doc, Apria, V 612p, pp 425.

Références bibliographiques

- **Thomas, S. C.** (1996). Asymptotic height as a predictor of growth and allometric characteristics in Malaysian rain forest trees. *American journal of Botany*, 83(5), 556-566.
- **Tian, X.-P., Tang, S.-K., Dong, J.-D., Zhang, Y.-Q., Xu, L.-H., et al.** (2009). *Marinactinospora thermotolerans* gen. nov., sp. nov., a marine actinomycete isolated from a sediment in the northern South China Sea. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(5), 948-952. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.005231-0>
- **Tokiniaina, A.** (2010). *ETUDES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES DES METABOLITES SECONDAIRES DES ACTINOMYCETES TELLURIQUES Cas de la forêt d'ANKAFOBE UNIVERSITE D'ANTANANARIVO*].
- **Touhtouh, D., Moujahid, Y., El Faleh, E., et Halimi, R.** (2014). Caractérisations physicochimiques de trois types de sols du Sais, Maroc (Physicochemical characterizations of three types of soils of Sais, Morocco).
- **Tresner, H., Hayes, J. A., et Backus, E.** (1968). Differential tolerance of streptomycetes to sodium chloride as a taxonomic aid. *Applied Microbiology*, 16(8), 1134-1136.
- **Trujillo, M. E.** (2016). Actinobacteria. *eLS*, 1-16.
- **Trujillo, M. E.** (2016). Actinobacteria. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0020366.pub2>
- **Tsujibo, H., Kubota, T., Yamamoto, M., Miyamoto, K., Inamori, Y.** (2003). Characterization of chitinase genes from an alkaliphilic actinomycete *Nocardopsis prasina* OPC-131. *Appl. Environ. Microbiol*, 69 (2), 894-900. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.2.894-900.2003>

U

- **Uzaira, B., Mena, F., Khan, B. A., Mohammad, F. V., Ahmad, V. U., et al.** (2018). Isolation, purification, structural elucidation and antimicrobial activities of *kocumarin*, a novel antibiotic isolated from *actinobacterium Kocuria marina* CMG S2 associated with the brown seaweed *Pelvetia canaliculata*. *Science Direct*, 206, 186-197. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.10.007>
- **Uzaira, B., Mena, F., Khan, B. A., Mohammad, F. V., Ahmad, V. U., et al.** (2018). Isolation, purification, structural elucidation and antimicrobial activities of *kocumarin*, a novel antibiotic isolated from *actinobacterium Kocuria marina* CMG S2 associated with the brown seaweed *Pelvetia canaliculata*. **Science Direct**, 206, 186-197. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.10.007>
- **Uzaira, B., Mena, F., Khan, B.A., Mohammad, F.V., Ahmad, V.U., et al.** (2018). Isolation, purification, structural elucidation and antimicrobial activities of *kocumarin*, a novel antibiotic isolated from *actinobacterium Kocuria marina*

Références bibliographiques

CMG S2 associated with the brown seaweed *Pelvetia canaliculata*. *Science Direct* 206, 186-197. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.10.007>

V

- **Valois, D., Fayad, K., Barasubiye, T., Garon, M., Dery, C., Brzezinski, R., et Beaulieu, C.** (1996). Glucanolytic actinomycetes antagonistic to *Phytophthora fragariae* var. *rubi*, the causal agent of raspberry root rot. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(5), 1630-1635.
- **Van Bambeke, F., Tulkens, P.** (2007). Pharmacologie et pharmacothérapie anti-infectieuse. Unité de Pharmacologie Cellulaire et Moléculaire. Université catholique de Louvain-Bruxelles. P: 1-3.
- **Van Bambeke, F., Tulkens, P.** (2007). Pharmacologie et pharmacothérapie anti-infectieuse. Unité de Pharmacologie Cellulaire et Moléculaire. Université catholique de Louvain-Bruxelles. P: 1-3.
- **van Bergeijk, D. A., Terlouw, B. R., Medema, M. H., et van Wezel, G. P.** (2020). Ecology and genomics of Actinobacteria: new concepts for natural product discovery. *Nature Reviews Microbiology*, 18(10), 546-558.
- **van der Meij, A., Worsley, S. F., Hutchings, M. I., et van Wezel, G. P.** (2017). Chemical ecology of antibiotic production by actinomycetes. *FEMS Microbiology Reviews*, 41(3), 392-416. <https://doi.org/10.1093/femsre/fux005>
- **van Keulen, G., Jonkers, H. M., Claessen, D., Dijkhuizen, L., et Wösten, H. A.** (2003). Differentiation and anaerobiosis in standing liquid cultures of *Streptomyces coelicolor*. In: Am Soc Microbiol.
- **Vargas, C., Argandoña, M., Reina-Bueno, M., Rodríguez-Moya, J., Fernández-Aunión, C., et Nieto, J. J.** (2008). Unravelling the adaptation responses to osmotic and temperature stress in *Chromohalobacter salexigenis*, a bacterium with broad salinity tolerance. *Saline Systems*, 4(1), 1-9.
- **Vobis, G.** (1992). In: Eds. Balows A., Truper H.G., Dworkin M., Harder W., *The Prokaryotes: A Handbook of the Biology of Bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, Applications*, Springer, New York. Vol. 2, pp. 1029–1060.
- **Vonothini, G., Murugan, M., Sivakumar, K., Sudha, S.** (2008). Optimization of protease production by an actinomycete Strain, P.S-18A isolated from an estuarine shrimp pond. *African journal of Biotechnology* [En ligne], 7(18), 3225-3230. (Page consultée le 01/06/2022)

W

- **Waksman, S.** (1959). The Actinomycetes—nature, occurrence and activities, vol I. *Williams and Wilkins Company, Baltimore, MD.*
- **Wang, K., Zhang, L., Liu, Y., Pan, Y., Meng, L., et al.** (2015). *Kocuria dechangensis* sp. nov., an actinobacterium isolated from saline and alkaline soils. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65(Pt_9), 3024-3030. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.000372>
- **Wang, L., Huang, Y., Liu, Z., Goodfellow, M., et Rodríguez, C.** (2006). *Streptacidiphilus oryzae* sp. nov., an actinomycete isolated from rice-field soil in Thailand. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56(6), 1257-1261.
- **Wang, Y., Luo, X. X., Xia, Z. F., Wan, C. X., Alim, A., et al.** (2018). *Glycomyces xiaoerkulensis* sp. nov., isolated from Xiaoerkule lake in Xinjiang, China. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 68(9), 2722–2726. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.002842>
- **Weisburg, W. G., Barns, S. M., Pelletier, D. A., et Lane, D. J.** (1991). 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. *Journal of bacteriology*, 173(2), 697-703.
- **Williams, W. D.** (1998). Salinity as a determinant of the structure of biological communities in salt lakes. *Hydrobiologia*, 381(1), 191-201.
- **Williams, W. D.** (2002). Environmental threats to salt lakes and the likely status of inland saline ecosystems in 2025. *Environmental conservation*, 29(2), 154-167.
- **Wink, J., Mohammadipanah, F., et Hamedi, J.** (2017). *Biology and biotechnology of actinobacteria*. Springer.

X

- **Xia, Z. F., Luo, X. X., Wan, C. X., Zhang, L. L.** (2017a). *Saccharopolyspora aidingensis* sp. nov., an actinomycete isolated from a salt lake. *International journal of 94 systematic and evolutionary microbiology* , 67(3), 687–691. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001696>
- **Xiao, Z., Hongbo, H., Yuchan, C., Jiaheng, T., Yongxiang, S., et al.** (2012). Marthiapeptide A, an Anti-infective and Cytotoxic Polythiazole Cyclopeptide from a 60 L Scale Fermentation of the Deep Sea-Derived *Marinactinospira thermotolerans* SCSIO 00652. *Journal of Nature Products*. 75(12), 2251–2255. <https://doi.org/10.1021/np300554f>

Références bibliographiques

- **Xie, C. H., Liu, Q., Xia, J. M., Gao, Y., Yang, Q., et al.** (2017). Anti-Allergic Compounds from the Deep-Sea-Derived *Actinomyces Nesterenkonia flava* MCCC 1K00610. *MDPI*, 15(3), 71. <https://doi.org/10.3390/md15030071>
- **Xu, L., Li, Q., & Jiang, C.** (1996). Diversity of soil actinomycetes in Yunnan, China. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(1), 244-248.

Y

- **Yadav, A. N., Verma, P., Kumar, S., Kumar, V., Kumar, M., Kumari Sugitha, T. C., Singh, B. P., Saxena, A. K., et Dhaliwal, H. S.** (2018). Chapter 2 - Actinobacteria from Rhizosphere: Molecular Diversity, Distributions, and Potential Biotechnological Applications. In B. P. Singh, V. K. Gupta, & A. K. Passari (Eds.), *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 13-41). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63994-3.00002-3>
- **Yang, L.-L., Tang, S.-K., Zhang, Y.-Q., Zhi, X.-Y., Wang, D., et al.** (2008). *Thermobifida halotolerans* sp. nov., isolated from a salt mine sample, and emended description of the genus *Thermobifida*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58(8), 1821-1825. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.65732-0>
- **Yang, R., Zhang, L.-P., Guo, L.-G., Shi, N., Lu, Z., et Zhang, X.** (2008). *Nocardiopsis valliformis* sp. nov., an alkaliphilic actinomycete isolated from alkali lake soil in China. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58(7), 1542-1546. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.65090-0>
- **Yoon, J.-H., Park, S., Kang, S.-J., Lee, J.-S., Lee, K. C., et Oh, T.-K.** (2010). *Nocardioides daedukensis* sp. nov., a halotolerant bacterium isolated from soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60(6), 1334-1338. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.015354-0>
- **Yu, Z., Han, C., Yu, B., Zhao, J., Yan, Y., et al.** (2020). Taxonomic Characterization, and Secondary Metabolite Analysis of *Streptomyces triticiradicis* sp. nov.: A Novel Actinomycete with Antifungal Activity. *MDPI*[en ligne], 8(1), 77. (Page consultée le 03/05/2022) <https://doi.org/10.3390/microorganisms8010077>
- **Yu, Z., Han, C., Yu, B., Zhao, J., Yan, Y., et al.** (2020). Taxonomic Characterization, and Secondary Metabolite Analysis of *Streptomyces triticiradicis* sp. nov.: A Novel Actinomycete with Antifungal Activity. *MDPI*[en ligne], 8(1), 77. (Page consultée le 03/05/2022) <https://doi.org/10.3390/microorganisms8010077>

Références bibliographiques

- Yu, Z., Han, C., Yu, B., Zhao, J., Yan, Y., *et al.* (2020). Taxonomic characterization, and secondary metabolite analysis of *Streptomyces triticiradicis* sp. nov.: A novel actinomycete with antifungal activity. *Microorganisms*, 8(1), 77. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7023189/>

Z

- Zerizer , H. (2014). *Les genres d'actinomycètes (hors mycobactéries) impliqués dans les infections dans la région de Constantine*. Université Constantine .
- Zhang, F., Chen, J. J., Ren, W. Z., Lin, L. B., Zhou, Y., *et al.* (2012b). Cloning, expression, and characterization of an alkaline thermostable GH11 xylanase from *Thermobifida halotolerans* YIM 90462T. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* , 39, 1109–1116. <https://doi.org/10.1007/s10295-012-1119-8>
- Zhang, F., Chen, J. J., Ren, W. Z., Nie, J. X., Ming, H., *et al.* (2011a). Cloning, expression and characterization of an alkaline thermostable GH9 endoglucanase from *Thermobifida halotolerans* YIM 90462T. *bioresource-technology* , 102, 10143-10146. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.08.019>
- Zhang, F., Hu, S. N., Chen, J. J., Lin, L. B., Wei, Y. L., *et al.*(2012). Purification and partial characterisation of a thermostable xylanase from salt-tolerant *Thermobifida halotolerans* YIM 90462T. *process-biochemistry* 47, 225-228. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.10.032>
- Zhang, G. D., Yang, J., Min, Y., Yu-Rong, Z., Yu-Zhou, F., *et al.* (2018). *Phytoactinopolyspora halophila* sp. nov., a halophilic actinomycete isolated from a saline soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 69(2), 384-389. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003153>
- Zhang, J., Wu, D., et Liu, Z. (2009). *Saccharopolyspora jiangxiensis* sp. nov., isolated from grass-field soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(5), 1076-1081. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.65863-0>
- Zhang, Y. G., Liu, Q., Wang, H. F., Park, D. J., Guo, J. W., *et al.* (2016). *Nocardiopsis ansamitocini* sp. nov., a new producer of ansamitocin P-3 of the genus *Nocardiopsis*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology* , 66 <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000703>
- Zhang, Y.-G., Liu, Q., Wang, H.-F., Park, D.-J., Guo, J.-W., *et al.* (2016). *Nocardiopsis ansamitocini* sp. nov., a new producer of ansamitocin P-3 of the genus *Nocardiopsis*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66(1), 230-235. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000703>

Références bibliographiques

- **Zhang, Y.-G., Liu, Q., Wang, H.-F., Zhang, D.-F., Zhang, Y.-M., et al.** (2014). *Haloactinopolyspora alkaliphila* sp. nov., and emended description of the genus *Haloactinopolyspora*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(Pt_6), 1945-1951.
- **Zhang, Y.G., Liu,Q., Wang,H.F., Park,D.J., Guo,J.W. et al.** (2016). *Nocardiopsis ansamitocini* sp. nov., a new producer of ansamitocin P-3 of the genus *Nocardiopsis*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology* [en ligne], 66. (Page consultée le 13/04/2022) <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000703>
- **Zhang, Y.-G., Wang, H.-F., Yang, L.-L., Zhou, X.-K., Zhi, X.-Y., Duan, Y.-Q., Xiao, M., Zhang, Y.-M., et Li, W.-J.** (2016). *Egibacter rhizosphaerae* gen. nov., sp. nov., an obligately halophilic, facultatively alkaliphilic actinobacterium and proposal of *Egibacteraceae* fam. nov. and *Egibacterales* ord. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66(1), 283-289.
- **Zhang, Y.-Q., Schumann, P., Li, W.-J., Chen, G.-Z., Tian, X.-P., et al.** (2005). *Isoptericola halotolerans* sp. nov., a novel actinobacterium isolated from saline soil from Qinghai Province, north-west China. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(5), 1867-1870. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.63641-0>
- **Zhang, Y.-Q., Schumann, P., Yu, L.-Y., Liu, H.-Y., Zhang, Y.-Q., Xu, L.-H., Stackebrandt, E., Jiang, C.-L., et Li, W.-J.** (2007). *Zhihengliuella halotolerans* gen. nov., sp. nov., a novel member of the family Micrococcaceae. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 57(5), 1018-1023.
- **Zhang,F., Chen,J.J., Ren,W.Z., Nie,J.X., Ming,H., et al.** (2011). Cloning, expression and characterization of an alkaline thermostable GH9 endoglucanase from *Thermobifida halotolerans* YIM 90462T. *bioresource-technology* , 102, 10143-10146. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.08.019>
- **Zhang, F., Hu,S.N., Chen,J.J., Lin,L.B., Wei,Y.L., et al.(2012a)**. Purification and partial characterisation of a thermostable xylanase from salt-tolerant *Thermobifida halotolerans* YIM 90462T. *process-biochemistry* 47, 225-228.<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.10.032>
- **Zvyagintsev, D., Zenova, G., Doroshenko, E., Gryadunova, A., Gracheva, T., et Sudnitsyn, I.** (2007). Actinomycete growth in conditions of low moisture. *Biology Bulletin*, 34(3), 242-247.
- **Zvyagintsev, D., Zenova, G., Sudnizin, I., & Doroshenko, E.** (2005). The ability of soil Actinomycetes to develop at an extremely low humidity. *Doklady Biological Sciences*,

Références bibliographiques

References électroniques:

- **Site 1** : Sol salin. Sol salin. TN #84 Comprendre les sols affectés par le sel. (2016). [photo] In : Echo community. Disponible sur : <https://images.echocommunity.org/278463d0-b40b-4c61-a7d1-2517be890b23/tn-84-figure-2.jpg?w=1000&q=high> (à droite) et Sol salin.
- **Site 2** : Agriculture en sol salin Problèmes globaux – une solution pratique. (Sans date). [Photo] In : saline agriculture worldwide. Disponible sur : <https://www.salineagricultureworldwide.com/agriculture-en-sol-salin> (à gauche)
- **Site 3** : Environnements Thalassohalins. Grand Lac salé, Utah, États-Unis. Grand Lac salé. (11 déc. 2019). [Photo] In : VoyageForum. Disponible sur : <https://voyageforum.info/images/posts/medium/1569086156brlXymGCYhYOb5j.jpeg> (A) et Marais de sel.
- **Site 4** : LES CÉLÈBRES MARAIS SALANTS DE GUÉRANDE. (Sans date). [Photo] In : la Baule Guerande. Disponible sur : <https://www.labaule-guerande.com/les-celebres-marais-salants-de-guerande.html> (B)
- **Site 5** : Environnements Athalassohalins. Mer Morte. La Mer Morte. (28 fév. 2017). [Photo] In : Time Out. Disponible sur : <https://www.timeout.fr/israel/fr/sites-et-monuments/la-mer-morte> (A) et Lac rose au Sénégal.
- **Site 6** : Le lac rose au Sénégal, une merveille. (15 Sep. 2018). [Photo] In : www.guywilmotte.com. Disponible sur : <https://www.guywilmotte.com/le-lac-rose-au-senegal-une-merveille>
- **Site 7** : Déclin des lacs salés Dans le monde. Déclin des lacs salés Dans le monde. Decline of the world's saline lakes. (23 Oct. 2017). [Photo] In : nature geoscience. Disponible sur : https://media.springernature.com/full/springer-static/image/art%3A10.1038%2Fng3052/MediaObjects/41561_2017_Article_BFng3052_Fig1_HTML.jpg
- **Site 8** : Exemple de chott et sebkha en Algérie. Sebkha d'Oran. Sebkha d'Oran. (07 Sep. 2019). [Photo] In : ALGERIE PRESS SERVICE. Disponible sur : https://www.aps.dz/media/k2/items/cache/58bd1bb1cb534741b1537465cbd0d232_M.jpg (A)
- **Site 9** Chott-Melrhir. Chott-Melrhir, un lac qui devient un saltpan-lake pendant la saison sèche, l'Algérie. (Sans date). [Photo]. In : alamy. Disponible sur : <https://c8.alamy.com/zoomsfr/9/b17967a96ca24f6182ed2904337687e9/f01tp8.jpg> (B)
- **Site 10** : Sédiment: définition, explications [En ligne]. (Page consultée le 19/05/2022) <https://www.aquaportail.com/definition-5915-sediment.html>
- **Site 11** : Sédiment. ACTU ENVIRONNEMENT [En ligne]. (Page consultée le 21/05/2022) https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/sediment.php4
- **Site 12**: Beauchamp, J. LES MILIEUX DE SEDIMENTATION [En ligne]. (Page consultée le 23/05/2022) <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours-sed/sed-2.htm>
- **Site 13** : Beauchamp, J. Principaux milieux de dépôt. (Sans date). [Photo]. In : u-picardie. Disponible sur : https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours-sed/sed-2_fichiers/sed2-7.gif

Références bibliographiques

- **Site 14:** Isabelle, C. Gerbeaud [En ligne]. (Page consultée le 29/04/2022) <https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/humidite-du-sol,2260.html#:~:text=Qu'est%2Dce%20que%20l,capacit%C3%A9%20C3%A0%20retenir%20l'eau>.
- **Site 15 :** Claire, M. Supagro [En ligne]. (Page consultée le 29/04/2022). <https://www.supagro.fr/resspites/processusecologiques/co/ImportanceMOS.html>

Annexes

Annexe 1 :

Composition des milieux de culture

• **Milieu ISP5**

- L-asparagine 1.0 g
- Glycérol 10.0 g
- K₂HPO₄ 1.0 g
- Eau distillée 1000.0 ml
- Solution saline 1.0 ml
- Agar 20.0 g
- pH = 7-7.4
- FeSO₄. 7 H₂O 0.1 g
- MnCl₂. 4 H₂O 0.1 g
- ZnSO₄. 7 H₂O 0.1 g
- Eau distillée 100.0 ml

• **Milieu CCMS**

- Cellulose microcristalline
- (MCC) 10g
- Caséine 0,3g
- KNO₃ 0,2g
- K₂HPO₄ 0,5g
- CaCO₃ 0,02g
- FeSO₄ 0,01g
- NaCl 150g
- MgCl₂. 6H₂O 30g
- KCl 20g
- Agar 15g
- pH = 7.5

• **Milieu ISP4**

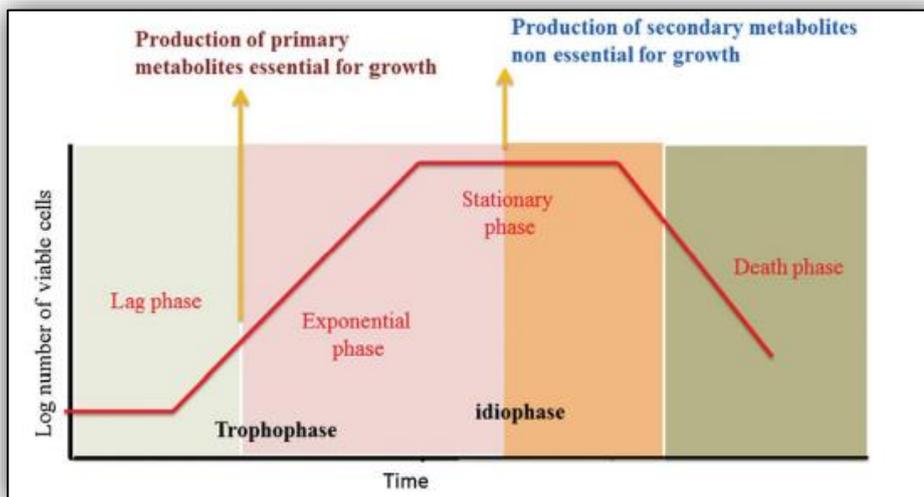
- Starch, soluble 10.000
- Dipotassium hydrogen phosphate 1.000
- Magnesium sulphate heptahydrate 1.000
- Sodium chloride 1.000
- Ammonium sulphate 2.000

Annexes

- Calcium carbonate 2.000
- Ferrous sulphate heptahydrate 0.001
- Manganous chloride, heptahydrate 0.001
- Zinc sulphate heptahydrate 0.001
- Agar 20.000
- Final pH (at 25°C) 7.2±0

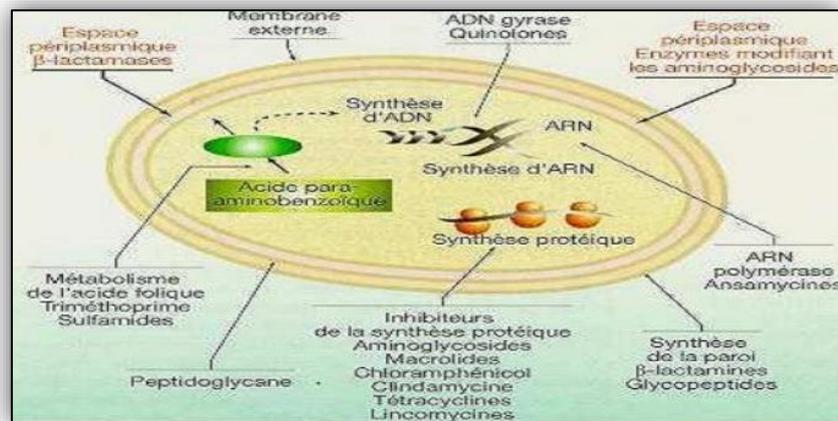
Annexe 2

- Métabolites primaires : métabolites produites durant la phase de croissance (phase exponentiel) d'un microorganisme.
- Métabolites secondaires : produits de métabolisme qui sont synthétisés après la phase de croissance (phase stationnaire).



Phases de la croissance bactérienne et production de métabolites (Harir *et al.*, 2018).

Annexe 3



Principaux cibles et modes d'action des antibiotiques (Davies et Mazel, 1997).

Résumé

ملخص

لسنوات عديدة، اعتبرت المناطق الأحيائية المالحة وذات الملوحة العالية (التربة، البحر، المحيط، البحيرة، الرواسب) مصدرًا ضعيفًا للبكتيريا الشعاعية. في الآونة الأخيرة، تم استكشاف هذه النظم البيئية على نطاق واسع وجعلت من الممكن تحديد التنوع البيولوجي غير المشتبه به وإثراء ترسانة الجزيئات الحيوية بمواد جديدة. في مراجعة الأدبيات هذه، قدمنا 20 عامًا من البحث حول الوجود الأبيض والتنوع البيولوجي للبكتيريا الشعاعية في البيئات المالحة وفانقة الملوحة. أكثر من 80 ورقة علمية جعلت هذه المهمة ممكنة. يبدو أن الغالبية العظمى من هذه البكتيريا من أصل ترابي. خلال هذا العمل، قدمنا لمحة عامة عن إجراءات وشروط عزل هذه البكتيريا. وقد أدى هذا البحث إلى اكتشاف أجناس وأنواع جديدة من هذه البكتيريا الشعاعية المحبة للملوحة والمتحملة للhalot. كما تم تطوير العديد من الوسائط الانتقائية. في هذه النظم البيئية المعينة، تم عزل الأجناس النادرة إلى حد كبير. تصبح المتسلسلة، التي يسهل عزلها عن النظم البيئية غير المتطرفة، نادرة للغاية في عينات المياه المالحة. إن الجزيئات النشطة بيولوجيًا التي تنتجها هذه البكتيريا متنوعة جدًا ومبتكرة في معظم الحالات. هذه هي مضادات الميكروبات ومضادات الفطريات ومضادات الفيروسات ومضادات الأورام والإنزيمات وغيرها الكثير.

الكلمات المفتاحية: البكتيريا الشعاعية، البيئات شديدة الملوحة، الجزيئات الحيوية.

Abstract

For many years, saline and hyper-saline biomes (soil, sea, ocean, lake, sediment) have been considered a poor source of actinobacteria. Recently, these ecosystems have been widely explored and have made it possible to determine an unsuspected biodiversity and to enrich the arsenal of biomolecules with new substances. In this literature review, we presented 20 years of research on the metabolic presence and biodiversity of actinobacteria in saline and hyper-saline environments. More than 80 scientific papers have made this task possible. It appears that the vast majority of these bacteria are of telluric origin. During this work, we gave a general overview of the procedures and conditions for isolating these bacteria. This research has led to the discovery of new genera and species of these halophilic and halotolerant actinobacteria. Several selective media have also been developed. In these particular ecosystems, rare genera have been largely isolated. *Streptomyces*, easy to isolate from non-extreme ecosystems, become extremely rare in saline samples. The bioactive molecules produced by these bacteria are very varied and in most cases innovative. These are antimicrobials, antifungals, antivirals, antitumors, enzymes and many others.

Keywords: Actinobacteria, hyper-saline environments, biomolecules.

<p align="center">Année universitaire : 2021-2022</p>	<p>Présenté par : Boulahia Kaouther Mesfar Khouloud Menacer Rayenne</p>
<p align="center">Ecosystèmes Salins et hyper-salins : une source insoupçonnée de nouvelles actinobactéries productrices de biomolécules</p>	
<p align="center">Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biologie moléculaire des microorganismes.</p>	
<p>Résumé : Pendant de nombreuses années, les biomes salins et hyper-salins (sol, mer, océan, lac, sédiments) ont été considérés comme une source médiocre d'actinobactéries. Récemment, ces écosystèmes ont été largement explorés et ont permis de déterminer une biodiversité insoupçonnée et d'enrichir l'arsenal des biomolécules par des substances nouvelles. Dans cette étude de synthèse bibliographique, nous avons présenté 20 ans de recherches sur la présence et la biodiversité métaboliques des actinobactéries dans les environnements salins et hyper-salins. Plus de 80 articles scientifiques ont rendu possible cette tâche. Il apparaît que la grande majorité de ces bactéries sont d'origines telluriques. Au cours de ce travail, nous avons donné un aperçu général sur les démarches et conditions d'isolement de ces bactéries. Ces recherches ont permis de découvrir de nouveaux genres et espèces de ces actinobactéries halophiles et halotolérants. Plusieurs milieux sélectifs ont été également mis au point. Dans ces écosystèmes particuliers, les genres rares ont été largement isolés. Les <i>Streptomyces</i>, faciles à isoler à partir des écosystèmes non extrêmes, deviennent rarissimes dans les échantillons salins. Les molécules bioactives produites par ces bactéries sont très variées et dans la plupart des cas innovantes. Ce sont des antibactériens, des antifongiques, des antiviraux, des antitumoraux, des enzymes et bien d'autres.</p>	
<p>Mots-clés : Actinobactéries, environnements hyper-salins, biomolécules.</p>	
<p>Laboratoires de recherche : Laboratoire de // (Université Frères Mentouri, Constantine 1)</p>	
<p>Encadreur : Mr Boudemagh Allaoueddine (Prof. Université Frères Mentouri, Constantine 1). Examineur 1 : Mme Zermane Ferial (MAA. Université Frères Mentouri, Constantine 1). Examineur 2 : Mme Lifa Maroua (MAB. Université Frères Mentouri, Constantine 1).</p>	