



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

العلمي والبحث وزارة التعليم
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Microbiologie : قسم

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*

Intitulé :

Contribution à l'étude de la biodiversité métabolique et microbienne des actinobactéries provenant des écosystèmes marins

Préparé par :

M^{lle} BENBAKIR Lamis

M^{me} KHIRI Narimene

Soutenu le : /10/2021

Jury d'évaluation :

Président: M^r BENHIZIA Y.

Prof. UFM Constantine 1.

Rapporteur: M^r BOUDEMAGH A.

Prof. UFM Constantine 1.

Examineur: M^r HAMIDECHI M. A.

Prof. UFM Constantine 1.

Année universitaire : 2020- 2021

Remerciements

"Elhamdoulilah "merci mon Dieu, merci de nous avoir donné la force et le courage pour achever notre travail et aboutir enfin à notre objectif malgré les obstacles que nous avons rencontrés.

-Nos sincères remerciements vont au Professeur BOUDEMAGH Allaoueddine, non seulement pour avoir accepté notre encadrement tout au long de notre travail, mais aussi pour ses encouragements, ses conseils judicieux, sa présence, son sérieux et son dévouement.

- Un grand merci à Messieurs les Professeurs BENHIZIA Yacine et HAMIDECHI Mohamed Abdehafid qui ont accepté d'expertiser notre travail.

- Nos remerciements pour tous nos enseignants qui resteront à l'origine de ce savoir acquis.

Dédicaces

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance pour toutes les personnes que j'aime.

Je dédie ce mémoire en premier lieu à mes parents.

A ma chère mère qui a fait preuve de courage, de présence et de patience tout au long de mon travail, elle qui n'a cessé d'être à mes côtés, à m'encourager pour que ce travail voit le jour.

A mon cher père, lui qui a géré et facilité mes taches.

A mon très cher frère Rochdi qui a contribué par son dévouement et son engagement à la réalisation de ce mémoire.

A ma chère binôme Narimane qui a fait preuve de courage, de patience, et de compétences.

Puis à Ladjabi Sarah ma précieuse cousine, qui ne s'est engagé rien que pour moi afin que mon projet se concrétise.

A la mémoire de mes défunts grands-pères qui auraient été si fiers de moi.

Mes dédicaces vont à toute personne ayant fait preuve de contribution, de partage, de présence de près ou de loin... merci, merci à vous tous.

Lamis.

Dédicaces

A mon très cher papa, ma source de vie, d'amour et d'affection

*A ma très chère maman, ma source de tendresse, la femme courageuse,
l'exemple qui n'a cessé de m'encourager toute ma vie.*

*Mon très cher mari Zaki Daoui : tes sacrifices et ton soutien morale m'ont
permis de réussir mes études et d'avancer.*

Ma sœur Belkis et mon frère Abdou

A mes amies Lamis, Sirine

Narimane

Tables des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction.....1

Chapitre I : Ecosystèmes marins

1-	Ecosystèmes marins	3
1-1.	Nature des écosystèmes marins	3
1-2.	Les mers et les océans : principaux écosystèmes d'eaux salées ..4	
a.	Zone photique des mers et des océans	4
b.	Zone acoustique des mers et des océans	5
1-3.	Caractéristique des écosystèmes marins	5
1-4.	Propriétés physicochimiques des environnements marins	6
1-5.	Flore des écosystèmes marins	7
1-6.	Faune des écosystèmes marins	7
1-7.	Ecologie microbienne en milieu marin	7
1-8.	Valorisation des microorganismes du monde marin	8
2.	Les lacs salés dans le monde	8
2-1.	Dans le monde	8
2-2.	En Algérie	10
2-3.	Géomorphologie des chottes et sebkhas	11
2-4.	Aspect hydrologie	11
2-5.	Répartition géographique des lacs salés (chottes et sebkhas)en algerie ...	12

Chapitre II : Généralités sur les actinobactéries

1-	Historique et principales caractéristique	15
2-	Critères morphologique et cultureux	16

3-	Critères chimique (chimio-taxnomique)	17
3-1.	les glucides	18
3-2.	acides aminés pariétaux	18
4-	Ecologie et distribution dans la nature des actinobactéries	18
5-	Systematique et taxonomie des actinobactéries	19
6-	Métabolisme général des actinomycètes	21
7-	Importance économique des actinomycètes	21

Chapitre III : Pouvoirs métaboliques des actinobactéries des écosystèmes marins

1-	Exemples de quelques aptitudes métabolique des actinobactéries marins..	25
1-1.	Dans le domaine de l'écologie microbienne	25
1-2.	Dans le secteur des dérivés anticancéreux	25
1-3.	Dans la production des antifongiques	26
1-4.	Dans la production d'antibactériens	27
1-5.	Dans la production des antioxydants	28
1-6.	Dans la production de vitamines et de pigments	28
1-7.	En tant que PGPR	28
1-8.	Dans la production d'enzymes	28
	Conclusion	30
	Références bibliographiques	
	Résumé	

Liste des tableaux

Tableau I : Tableau récapitulatif des lacs salés (chottes et sebkha).....	13
Tableau II : Répartition des actionmycètes dans la nature	19

Liste des figures

Figure 1 : carte des océans et des continents

Figure 2 : Gamme de concentration et terminologie des eaux.

Figure 3 : Exemples de la faune et la flore marine

Figure 4 : Situation géographique des chottes et sebkha en Algérie.

Figure 5 : Microscopie électronique à balayage illustrant les types fragmentaire et permanent du mycélium des *Nocardia* qui se fragmentent et *Streptomyces* en sporulation.

Figure 6 : Systématique des actinobactéries.

Figure 7 : Importance économique des actinomycètes.

Les actinomycètes sont un ordre de bactéries Gram-positives qui se composent de bactéries bénignes et pathogènes appartenant au phylum des Actinomycètes. Les actinomycètes ont historiquement été caractérisés par une teneur élevée en GC dans leur ADN, bien que certains membres, en particulier ceux vivant en eau douce, se soient avérés avoir une teneur en GC relativement faible ces dernières années (**Kavagutti et al., 2019**).

Les membres de cet ordre sont généralement connus pour leur morphologie d'hyphes avec des hyphes ramifiés et leur capacité à former des spores, bien que tous les actinomycètes ne puissent pas former de spores.

Ils présentent une grande diversité dans diverses caractéristiques, notamment la résistance à l'humidité, l'habitat, le pH optimal et la thermophilie (**Embley Stackebrandt 1994**). Les actinomycètes se trouvent généralement à un pH modéré, bien que certaines espèces acidophiles et alcaliphiles soient connues. Certains actinomycètes thermophiles aient été enregistrés, la plupart des espèces semblent préférer les températures douces.

Les espèces d'actinomycètes existent principalement dans le sol et n'étaient initialement considérées que terrestres. Cette croyance est étayée par des observations selon lesquelles certaines spores d'actinomycètes terrestres se sont déversées dans la mer, ce qui pourrait expliquer leur présence dans des échantillons d'eau. La première découverte d'actinomycètes marins n'a eu lieu qu'en 1984 (**Helmke, 1984**). Depuis, de nombreuses espèces marines ont été trouvées dans les systèmes aquatiques du monde entier.

Les actinomycètes sont aussi liés à divers organismes aquatiques, y compris les invertébrés, tels que les éponges, les coraux et les échinodermes, et les vertébrés, tels que les poissons-globes. Ces interactions peuvent favoriser une écologie chimique unique, affectant ainsi l'évolution des voies métaboliques secondaires. En plus de se combiner avec d'autres organismes, les actinomycètes marins peuvent également exister dans des niches planctoniques et des biofilms, bien que la plupart des souches aient été isolées des sédiments (**Ghanem et al., 2000**).

Le but de notre recherche est de relater les différentes études dans ce domaine. Ce mémoire a été développé en trois parties. La première partie est consacrée à l'écosystème salé. Nous nous concentrerons aux généralités des Actinobactéries dans la deuxième partie.

Dans la troisième nous essayons de développer le plus grand nombre de travaux qui concernent notre thème de mémoire.

Chapitre 1 : Ecosystèmes salins

1 Ecosystèmes marins

Sur toute la surface de la terre un pourcentage de 70,8 %, soit 362 millions de km² sont représentés par des océans et des mers. Ces systèmes marins sont des environnements très dynamiques qui sont reliés entre eux par des réseaux de courants de surface. La variation des niveaux de température et de salinité dans ces environnements définissent différentes zones, qui sont occupées par différents organismes. Les mers et les océans sont les principaux écosystèmes d'eaux salées. Les océans sont de grandes masses d'eaux salées qui séparent les continents. Considérant que les mers sont également des masses d'eaux salées mais plus petites que les océans. Il existe aussi de nombreuses mers dans le monde.

Il a été observé que la diversité vivante est plus élevée dans certains écosystèmes marins, tels que les fonds marins et les récifs coralliens, que dans les forêts tropicales humides (**Edwards et Richardson, 2004**). L'océan est l'habitat de plusieurs groupes de formes de vie qui vivent dans un environnement complexe de variations extrêmes de pression, de salinité, de lumière et de température (**Munn, 2003**).

L'écosystème marin, origine de la vie et source d'une incroyable, bien que parfois méconnue, diversité de régions, de plantes marines, d'animaux marins, de micro-organismes et de molécules organiques. Même si l'apparence des écosystèmes marins semble être homogène, la réalité est toute autre, il s'agit en fait d'un des écosystèmes les plus hétérogènes de la planète, comptant ainsi sur des caractéristiques très différentes entre celles des pôles et des tropiques ainsi que celles d'un bout à l'autre du monde. Les communautés d'êtres vivants qui cohabitent dans des écosystèmes d'eaux salées, ont prouvé la grande variété et richesse de ces régions, constituant ainsi des lieux pleins de vie dans les mangroves et les récifs, dans les systèmes pélagiques de la haute mer et même en haute mer.

1.1 Nature des écosystèmes marins

Les écosystèmes marins sont un type d'écosystème aquatique caractérisé par la présence d'eau salée comme composant principal. Il existe différents écosystèmes au sein des écosystèmes marins, tels que les océans, les marais, les récifs coralliens, les eaux côtières peu profondes, les estuaires, les lagunes côtières d'eau salée, les côtes rocheuses et les zones côtières. Cette grande variété d'écosystèmes marins accueille, dans sa totalité, une incroyable diversité animale et végétale (**Kharaka et Hanor, 2005**).

1.2 Les mers et les océans: Principaux écosystèmes d'eaux salées

L'océan est une grande quantité d'eau salée qui sépare les continents. Il y a trois grands océans (Atlantique, Indien et Pacifique) et deux océans plus petits (Arctique et Antarctique) (Fig. 1).



Figure 1 : Carte des Océans et des Continents

Les mers sont considérées comme des masses d'eaux salées, plus petites que l'océan. Il existe de nombreux océans dans le monde, comme la mer des Caraïbes, la mer du Nord ou la mer de Ross. Dans cet environnement, des facteurs tels que les marées, les vagues, les courants chauds et froids, la salinité, la température ou l'intensité lumineuse déterminent la vie. Ces facteurs affectent la disponibilité des nutriments, le comportement, le développement et la relation entre les organismes. Différents critères comme la proximité de la côte, la profondeur ou la profondeur en fonction de la présence de lumière, peuvent différencier ces écosystèmes. Selon la profondeur et la lumière on distingue par exemple les zones suivantes :

a) Zone photique des mers et des océans

Cela correspond à la zone océanique éclairée, avec une profondeur qui peut atteindre 200 mètres. Elle peut être divisée en :

-Région d'Euphotic : Qui correspond à une zone plus éclairée. Dans ce système, les écosystèmes aquatiques correspondent généralement aux organismes photosynthétiques.

-Région dysphotique : C'est une région moins éclairée de la zone photique. Cette région abrite certaines algues qui peuvent effectuer la photosynthèse.

b) Zone acoustique des mers et des océans

Cette zone sombre est située à une profondeur supérieure à 200 mètres. Elle est également subdivisée en :

-Région de Bathya : Qui se situe entre 200 et 4 000 mètres de profondeur. Cette zone abrite ce que nous appelons le necton marin, qui comprend des poissons, des calmars, des tortues de mer, des phoques et des baleines.

-Région abyssale : Situé entre 4 000 et 6 000 mètres de profondeur. Dans cette région, la lumière est inexistante. Cette zone est habitée par le benthos marin, qui est formé par les étoiles de mer, les éponges et d'autres animaux. C'est une région très riche, représentée par une biodiversité des espèces marines, avec des organismes qu'on ne trouve dans aucune autre région géographique de la planète.

- Zone de Hadal : Situé entre 6 000 et plus de 10 000 mètres de profondeur. Cette région comprend les fonds marins, les grandes tranchées océaniques et les cheminées hydrothermales. Dans cette région, nous pouvons trouver les micro-organismes les plus extrêmes de la planète.

1.3 Caractéristiques des écosystèmes marins

L'ensemble de tous les écosystèmes marins sont distribués en différentes zones biogéographiques. Ces écosystèmes présentent les caractéristiques communes suivantes :

- * Ils sont inclus dans le groupe des écosystèmes aquatiques.
- * Ils sont composés d'eaux avec des sels dissouts comme principal composé.
- * La densité de cette eau salée est supérieure à celle des autres écosystèmes aquatiques d'eau douce, assurant la survie des plantes marines et des animaux marins qui s'adaptent à cette de forte densité d'eau.
- * Il existe deux types de régions selon s'ils reçoivent ou non des rayons solaires, qui différencie les régions photiques (avec lumière) et les régions aphotiques (sans lumière).
- * Le fonctionnement des écosystèmes et la mobilisation des nutriments dépendent en grande partie des courants océaniques. La distribution des plantes, des animaux et des microorganismes en reposent essentiellement.

* Les écosystèmes marins sont source de grandes richesses biologiques, car ils sont constitués de plusieurs facteurs biotiques comme la présence d'organismes producteurs (végétaux) et consommateurs primaires (poissons et mollusques), consommateurs secondaires (poissons carnivores de petite taille) et tertiaires (poissons carnivores de grande taille) ainsi que d'organismes décomposeurs (bactéries et champignons).

* Certains de ces facteurs abiotiques définissent les propriétés et les caractéristiques de ces écosystèmes naturels. Il s'agit principalement de la température, la salinité, la pression de ses eaux et la quantité de lumière solaire.

1.4 Propriétés physicochimiques des environnements marins

L'eau de mer, qui constitue la plus grande partie de l'eau sur la terre, contient en solution des sels minéraux en concentration remarquablement constante dont les principaux sont : chlorures (18,98 %), sodium (10,556 %), sulfates (2,649 %), magnésium (1,272 %), calcium (0,4 %), potassium (0,38 %) et carbonates (0,14 %). Quand l'eau de mer est concentrée par évaporation, tous les sels présents augmentent leur concentration dans les mêmes proportions jusqu'aux seuils de précipitation. Les carbonates se précipitent sous forme de carbonate de calcium dès que la salinité atteint 6 %. Ensuite, les sulfates précipitent et forment des dépôts de gypse (sulfate de calcium) dès que la salinité dépasse 10 %. Au-delà de 25 %, le chlorure de sodium commence à précipiter sous forme d'halite et précipite pleinement à 34 % (10 fois la concentration de l'eau de mer). Les eaux sont par la suite enrichies en magnésium et potassium dont les sels précipitent à des salinités 20 fois supérieures à celle de l'eau de mer (**Caumette, 1989**). La terminologie des eaux suivant leurs concentrations en ions dissouts est illustrée dans la figure 2.

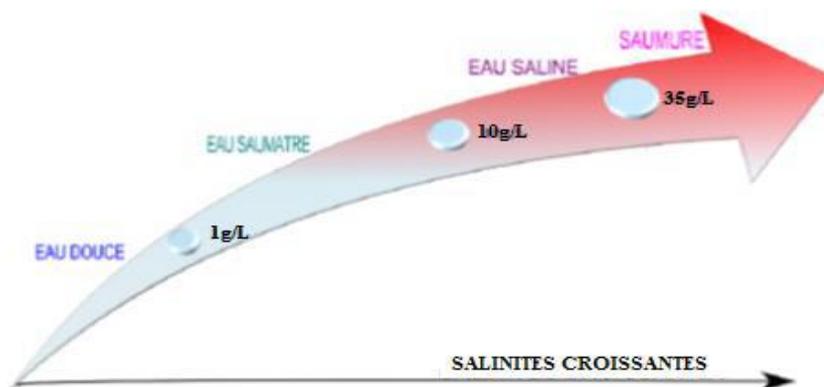


Figure 2 : Gammes de concentrations et terminologie des eaux (**Kharaka et Hanor, 2005**).

1.5 Flore des écosystèmes marins

De nombreuses plantes, y compris les espèces submergées, constituent l'incroyable biodiversité des plantes dans tous les écosystèmes marins. Ils sont directement liés aux caractéristiques physiques et chimiques des types d'écosystèmes marins dans lesquels ils vivent.

1.6 Faune des écosystèmes marins

Les mers, les océans, les côtes et les autres écosystèmes marins constituent l'un des habitats les plus diversifiés au monde sur le plan biologique. Les animaux de différents groupes, familles et espèces vivent ensemble d'une manière biologiquement équilibrée. Les grands et petits vertébrés et invertébrés, ainsi que les micro-organismes, coexistent harmonieusement dans l'écosystème marin de la planète (Fig. 3).



Figure 3 : Exemples de la Faune et la flore marine.

1.7 Ecologie microbienne en milieu marin

Les micro-organismes marins (bactéries et micro-algues) représentent la plus grande partie de la vie marine. On estime que 99% d'entre eux n'ont pas encore été découverts. Cependant, grâce aux progrès de la biologie moléculaire et de la microbiologie, désormais l'exploration de cette richesse est devenue une réalité vécue. L'utilisation des micro-organismes marins, en biotechnologie, en santé et même dans d'autres secteurs, a été il y a seulement quelques années, possible. Ces microbes salins sont considérés maintenant, comme une principale source de nouvelles molécules. Les propriétés singulières de certaines de ces biomolécules ont très vite attiré l'attention des opérateurs des biotechnologies. En outre, l'exploration des écosystèmes atypiques (sédiments des fonds sous-marins, les lagunes hyper

salines, tapis microbiens, etc...) a permis la découverte de microorganismes qui se sont rapidement affichés comme les acteurs principaux de la vie sur des milieux peu propices.

En réponse à ces habitats atypiques, les micro-organismes, ont développé des moyens d'adaptation très développés, non seulement pour survivre, mais pour s'adapter et proliférer de diverses niches écologique.

1.8 Valorisation des microorganismes du monde marin

La biotechnologie des « extrêmophiles » a pour objectif de rechercher et d'exploiter ce nouveau gisement de ressources naturelles en biomolécules, notamment les enzymes, les biopolymères et les métabolites secondaires. La recherche sur les bactéries des milieux atypiques a déjà prouvé son potentiel notamment avec la découverte d'enzymes thermostables (ex : les polymérase issues de bactéries hyper-thermophiles) mais également avec les biopolymères marins.

Récemment, il a été prouvé que le fond marin possède de nombreuses formes uniques d'actinobactéries (**Fenical et Jensen, 2006**). Ces dernières sont largement distribués dans l'océan et les zones intertidales (**Goodfellow and Williams, 1983**), les eaux de mer (**Ramesh and Mathivanan, 2009**), les animaux et les plantes (**Castillo et al., 2005; Liu et al., 2019; Zhang et al., 2008**), les éponges et dans les sédiments océaniques (**Jensen et al., 2005; Das et al., 2008; Sun et al., 2010 ; Xiao et al., 2011 ; Claverías et al., 2019**). Les actinobactéries du milieu marin sont considérées comme une source prometteuse de composés pharmaceutiques importants en raison d'un type différents de caractéristiques due aux capacités d'adaptation unique de ces bactéries (**Fenical et Jensen, 2006; Jose et Jha, 2017**).

2 Les lacs salés

2.1 Les lacs salés dans le monde

Les lacs salés sont des zones humides géographiquement très répandu, ils se trouvent dans toutes les régions continentales d'Asie, d'Amérique du Sud, d'Australie, aux Etats-Unis et en Afrique du Nord. Ces milieux se limitent généralement dans les zones arides ($25 \leq P \leq 200$) à semi-arides ($200 \leq P \leq 500$) (**Williams, 1998**). Ils occupent environs 30% de terre émergée de la planète (**Grafzeld, 2004**). Ces zones humides incluent le plus grand lac sur terre tel que la Mer Caspienne et beaucoup d'autres grands lacs qui sont situés entre 400m au-dessous de la mer pour la Mer Morte jusqu'à une très grande altitude (supérieure à 3000m d'altitude) comme l'Altiplano en Amérique du Sud (**Williams, 1996**). A l'exception de la Mer Caspienne et la Mer Morte qui ne se dessèche jamais, cependant les autres lacs qui se trouvent

en zone aride et semi-aride ne sont remplis d'eau qu'au cours de la saison pluvieuse, le cas de Eyre en Australie (**Williams, 2001**) et des Chotts algériens en Afrique du Nord (**Aubert, 1976**).

Depuis 1971, le traité international sur les zones humides Ramsar a joué un grand rôle pour la sensibilisation du public de la valeur écologique de ces zones humides et même les lacs salés. Peu de pays sont signataires de la convention Ramsar pour les lacs salés (**Williams, 2002**). Parmi 1308 zones humides classées sites Ramsar pour leur importance internationale, 137 seulement sont représentés par des lacs salés (qui représente 10% des zones humides protégées au niveau international) (**Jellison et al., 2008**). Ces lacs salés englobent des écosystèmes aquatiques ayant une valeur économique et non économique considérable (**Williams, 2001**). Ces lieux n'échappent pas aussi au loisir et au tourisme, le lac Mono en Californie est devenu le lieu le plus visité par les touristes nationaux et internationaux pour sa beauté (**Hart, 1996**).

Servant-Vildary (**1983**), signale que ces milieux renferme les plus grandes réserves du monde de lithium et en diatomées tel que les lacs salés de la Bolivie. Du fait de la diversité particulière qui la caractérise, les lacs ont un intérêt particulier pour de nombreuses disciplines scientifiques y compris l'écologie, la biologie, l'hydrologie, la limnologie, la microbiologie et la modélisation des écosystème (**Jellison et al., 2008**). Ces lacs salés ont une importante richesse au même titre que les zones humides d'eau douce, ils sont très reconnu pour le rôle qu'ils jouent pour la migration et la reproduction des oiseaux d'eaux (**Jellison, 2005**).

Beaucoup d'activités humaines menacent les lacs salés, notamment le détournement des flux de surface, la salinisation, l'exploitation minière, la pollution et l'ensablement. La sécheresse et le pompage excessif pour l'agriculture sont en train de provoquer l'assèchement accéléré des lacs salés. Cet état de fait, peut être la cause principale de la disparation de plusieurs lacs salés dans le future (**Williams, 2001; Timms, 2005; Jellison et al., 2008**). Les effets de ces activités sont des changements défavorables qui font perdre le caractère naturel des lacs salés comme la perte de la biodiversité et des changements limnologiques fondamentales (**Williams, 2002**). Malgré la conscience des organismes internationaux de la valeur de ces milieux, néanmoins ils subissent une menace causée par les activités humaines. L'augmentation de la salinité dans la Mer d'Aral a diminuée la diversité du biotope entre 1960 et 1990 (170 espèces macro-vertébrés et 25 espèces de poisson ont disparus) (**Williams, 2001**). Le même auteur signale cette perturbation au niveau des lacs salés au Canada, en Bolivie et en Australie suite à l'introduction des espèces de poisson exotiques. Les lacs salés ont des compositions en ions qui peuvent varier de façon considérable. La nature des ions

dominants dans les lacs hypersalés dépend de la topographie environnante, de la géologie et des conditions climatiques (**Madigan et Martinko, 2007**).

2.2 Les lacs salés en Algérie

Ces vastes dépressions endoréiques d'Afrique du Nord sont synonymes des Chotts ou Sebkhass, cependant en Afrique du Sud, aux Etats-Unis et en Australie on les appelle Salt pans. En Amérique du Sud ils se nomment Salinas ou salures, au Mexique sont dites Playa. En Asie leur appellation diffère d'une région à une autre, en Iran par exemple, ils sont appelés Kévin, en Mongolie ils sont dites Nor (**Joly, 2006**). Depuis longtemps les géographes français ont employé les mots arabes (Sebkha et Chott). Selon **Coque et al. (1972)**, sebkha est assimilée à un lac salé, avant d'être correctement définie comme une cuvette (plus exactement un fond plat de cuvette) à inondation temporaire, sans végétation. Le Chott, représente seulement l'auréole plus ou moins large de steppe halophile qui entoure la sebkha, exploitée comme pâturage à chameaux. Cependant, **Stone (1967)** définit les sebkhas comme lac salé. **Dubost (2002)** décrit le Chott comme une zone salée entourant la sebkha, qui est le fond humide de la dépression. Le mot sebkha, est issu de l'arabe, désignant Sahara, des dépressions fermées en forme de cuvette, périodiquement inondées dans lesquelles se produit une accumulation de sel. Selon **Schultz et al., (2002)**, ce mot Sebkhass est largement utilisé en Amérique du Nord, en Afrique du Nord, de l'Ouest et au Proche Orient, tandis qu'en Afrique du Sud ils sont appelés aussi Trémies (**Direy, 1960**). Au Maghreb, on emploie volontiers le terme de Chott pour les désigner (**Incorvaia, 2004**).

Selon **Aubert (1976)**, les Chotts de l'Afrique du Nord sont des terrains salés souvent couvert de croûtes salines à perte de vue en saison sèche; alors qu'en saison de pluie ne se voit plus que la surface au moins salé, dont les bords ne sont que des kilomètres carrés de boue sodique. Malgré quelques divergences dans la définition de ces milieux (Chott, Sebkha, Garaet), les géographes, les scientifiques, les biologistes s'accordent pour les considérer comme une dépression fermée qui sont équivalent des lacs salés.

2.3 Géomorphologie des Chotts et Sebkhass

La constitution des dépressions salées est liée à l'histoire géologique des hautes plaines algériennes. Elle est marquée par un cumule de dépôts sédimentaire des transgressions marines du secondaire et du tertiaire (**Dresch, 1954**).

A la fin du tertiaire, une phase d'érosion aboutit au façonnement des formes jurassiennes et au comblement des dépressions par des dépôts continentaux, aussi bien dans l'Atlas que le long piémont saharien et également vers le nord dans les hautes plaines. Au

Villafranchien (limite tertiaire/ Quaternaire) résulte un ensemble homogène avec une allure de vaste plaine, qui va constituer le cadre des processus morphologiques du quaternaire. Ce dernier voit le remaniement des unités géologiques en place, à travers l'action combinée des mouvements tectoniques (soulèvement, subsidence, plissement) et du climat (érosion, dépôt). A la fin du villafranchien est précédé par la formation d'une vaste croûte calcaire résistante à l'érosion, fossilisant ainsi la surface villafranchienne. Cette surface encroûtée correspond à la haute surface moulouyenne ou villafranchienne supérieure. Le soulèvement de l'ensemble de l'Atlas Saharien, à la période post-villafranchienne, met à la position dorsale par rapport au compartiment saharien, resté stable, et aux plaines, restées coincées entre les deux Atlas. Des pressions considérables vont soumettre la haute surface moulouyenne à des phénomènes de plissements et de dislocation d'où résulteront des cassures qui vont favoriser la formation de fosses subsidence (**Pouget, 1980**).

2.4 Aspect hydrologique

Les dépressions salées sont la conséquence du système évaporatoire (**Coque, 1962**). Ce sont les émergences des eaux artésiennes et leurs concentrations qui donnent naissance à des lacs salés (**Drouhin, 1960**). La formation de ces lacs salés est généralement contrôlée en grande partie par les changements temporels des précipitations à l'intérieur du bassin (**Bryant, 1999**). En effet les eaux qui forment ces lacs peuvent parvenir de deux sources principales: les précipitations directs (incluant les rivières et les apports de surface) et les eaux souterraines (**Bryant et Rainey, 2002**). La température, l'évaporation et les précipitations sont les trois facteurs climatiques qui déterminent le développement de ces zones humides, elles deviennent éphémères avec l'augmentation de l'évaporation (**Williams, 2001**).

2.5 Répartition géographique des lacs salés (Chotts et Sebkhass) en Algérie

L'Algérie possède un nombre important de Chotts (**Samraoui, 2002; Samraoui et al., 2006**). En 2009, les sites classés Ramsar en Algérie étaient au nombre de 42 et couvrent une superficie totale de 2,959 millions d'hectare. 45,23 % de ces sites protégés sont des lacs salés couvrant environ une superficie de 2,07886 millions d'hectares (**Koopmanschap et al., 2011**). L'Algérie regroupe un nombre important de Chotts qui s'étalent du sud tunisien jusqu'au mont de l'Atlas au nord algérien (**Chown et Linsley, 1994; Mahowald et al., 2003; Samraoui et Samraoui, 2008**). Leurs répartitions géographiques sont très étendues (Fig. 4). Ils se situent entre les deux Atlas, l'Atlas Tellien au nord, l'Atlas Saharien au sud et Erg Occidental et Erg Oriental. D'est en ouest, on peut citer les Chotts qui constituent le complexe de Oum El Bouaghi dans l'est des hauts plateaux, le chott Hodna, le Zahres Chergui et Gherbi

au centre et chott Chergui, sebkha de Naâma à l'ouest; la sebkha d'Oran et les salines d'Arzew dans les plaines littorales. Au Sahara septentrional, on compte également un nombre conséquent de Chotts, incluant le Grand Erg Oriental, au nord-est du Sahara le chott Melghir et le chott Merouane. Vers le sud, dans la région de Ouargla, sont les chotts de Ain Beida, Oum Raneb, Sidi Amrane et Safioune. D'autres sont situées dans la zone du Grand Erg Occidental, comme la sebkha El Melah dans la région de Ghardaïa.

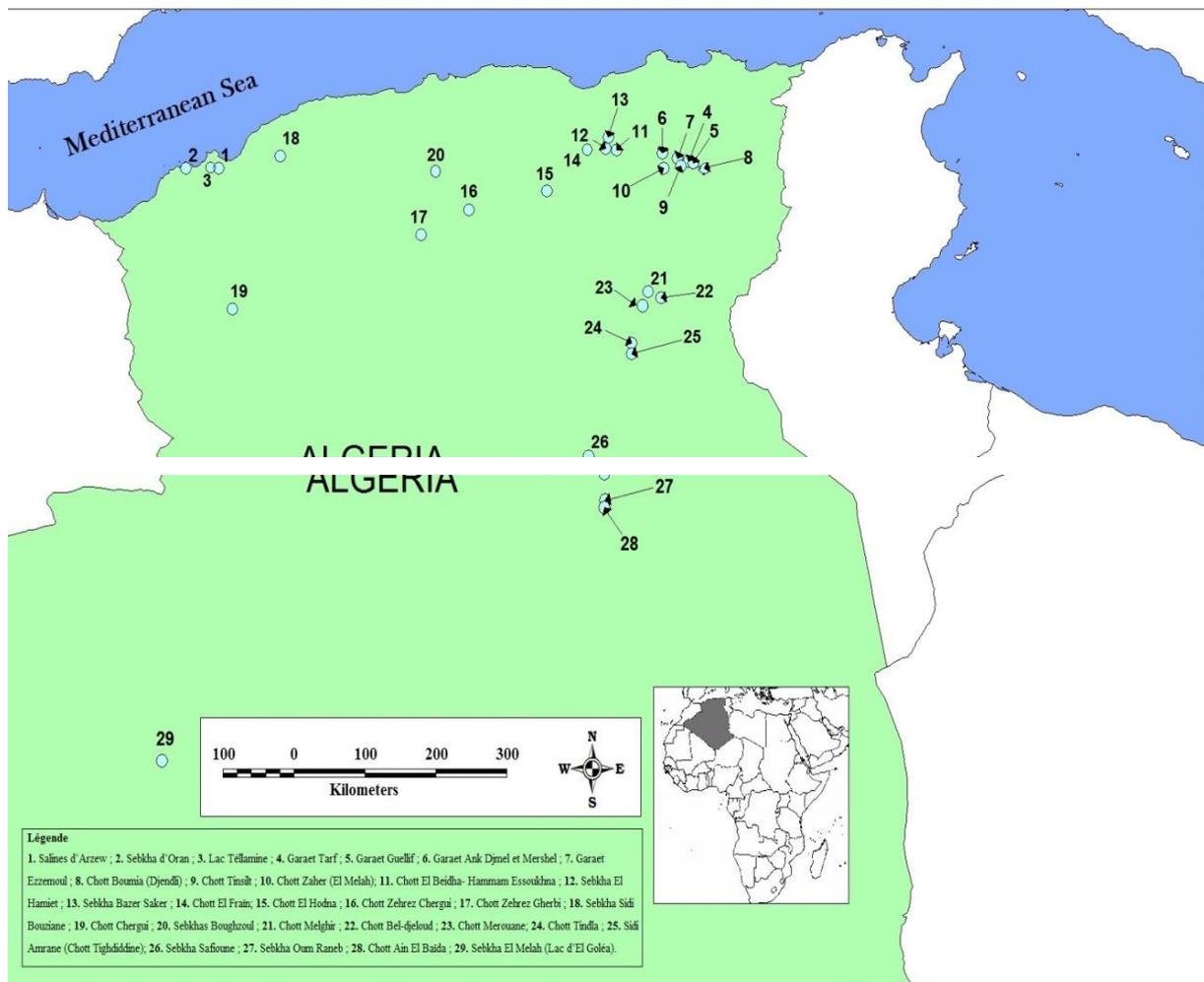


Figure 4 : Situation géographique des Chotts et Sebkhahs en Algérie

La taille et la profondeur des Chotts algériens sont très variables (Tableau I). Leurs tailles (le plus grand est de 55150 ha et le petit est de 76 ha) dépassent quelques mètres lors de la période hivernale et diminuent fortement pendant la période sèche, leur superficie peut atteindre plusieurs milliers d'hectare. Ils ont une profondeur variable (la plus petite est d'environ 20 cm comme le plus grand peut dépasser 4m).

Tableau I : Tableau récapitulatif des lacs salés (Chotts et Sebkhass) algériens

N	Nom du lac	Région	Statut de la zone	Superficie en Ha
1	Salines d'Arzew	Oranie	Sites Ramsar, 2004	5778
2	Sebkha d'Oran	Oranie	Sites Ramsar, 2004	56870
3	Lac Téliamine	Oranie	Sites Ramsar, 2004	2399
4	Garet Tarf	Est haut plateau	Sites Ramsar, 2004	33460
5	Garet Guellif	Est haut plateau	Sites Ramsar, 2004	24000
6	Garet, Ank Djmel et Mershel	Est haut plateau	Sites Ramsar, 2004	18140
7	Garaet Ezzemoul	Est haut plateau	Proposé site Ramsar	6000
8	Chott Boumia	Centre haut plateau	Proposé site Ramsar	3700
9	Chott Tinsilt	Est haut plateau	Sites Ramsar, 2004	3600
10	Chott Zaher (El Melah)	Est haut plateau	-	875
11	Chott El Hoda	Centre haut plateau	Sites Ramsar, 2001	12223
12	Chott El Frain	Centre haut plateau	-	15000
13	Chott Zehrez Chergui	Centre haut plateau	Sites Ramsar, 2003	50985
14	Sebkha Bazer Saker	Centre haut plateau	Sites Ramsar, 2003	52200
15	Sekha Bazer Saker	Est haut plateau	Sites Ramsar, 2004	4379
16	Sebkha El Hamiet	Est haut plateau Sahara	Sites Ramsar, 2004	2509
17	Chott El	Est haut	Sites Ramsar,	12223

	Beidha-Hammam	plateau	2004	
18	Sebkha Sidi Bouziane	Ouest haut plateau	-	15675
19	Chott Chergui	Ouest haut plateau	Sites Ramsar, 2001	855500
20	Sebkha Boughzoul	Centre haut plateau		-
21	Chott Melghir	Sahara	Sites Ramsar, 2003	551500
22	Chott Merouane	Sahara	Sites Ramsar, 2001	337700
23	Chott Bel djeloud	Sahara	-	-
24	Chott Tindla	Sahara	-	600
25	Sebkha Safiouane	Sahara	-	8000
26	Sebkha oum Raneb	Sahara	Sites Ramsar, 2004	7155
27	Chott Ain El Baida	Sahara	Sites Ramsar, 2004	6853
28	Sebkha el Melah (Lac d' El Goléa)	Sahara	Sites Ramsar, 2004	18947
29	Sidi Amrane (Chott Tighdidine)	Sahara	-	200

Chapitre 2 : Généralités sur les Actinobacteries

1 Historique, définition et principales caractéristiques

D'après **Waksman (1961)**, Ferdinand Cohn fut le premier à décrire un actinomycète en 1875 et en 1878, Harz, nomma *Actinomyces bovis*, un organisme parasite rencontré dans une infection de la mâchoire d'un bovin, (**Garrity et al., 2007**). Depuis, plusieurs phases ont caractérisés ces microorganismes procaryotes. La dernière époque historique est celle des antibiotiques produits par les actinomycètes, qui commence en 1940 (**Ouargli, 2018**).

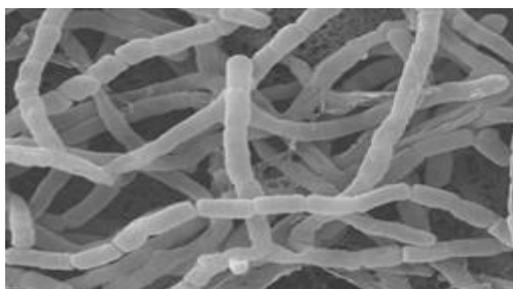
Les actinomycètes sont des bactéries dont la croissance donne lieu à des colonies constituées d'hyphes. Cet aspect donne des filaments qui irradient, par croissance centrifuge, tout autour du germe qui leur a donné naissance. Cela explique leur dénomination : le mot « Actinomycètes » provient de deux substantifs grecs et signifie « Champignons à rayons » ou « Champignons rayonnants ». Les formes les plus évoluées des Actinomycètes rivalisent en complexité morphologique avec les moisissures (Champignons imparfaits) mais en différent radicalement puisque, comme toutes les autres bactéries. Leurs hyphes sont de l'ordre de 0,5 µm, soit approximativement un dixième de celui de la plupart des hyphes fongiques. Les actinomycètes, sont des saprophytes, isolés principalement à partir des sols, des matières organiques en décomposition, des eaux, de presque tous les habitats où la vie est possible.

Les principales caractéristiques des actinomycètes les désignent comme étant un grand groupe de bactéries aérobies, Gram positif, avec quelques formes anaérobies regroupant généralement des espèces pathogènes (**Andariambololona, 2010**). Ce sont des chimio-organotrophes utilisant une grande variété de sources d'énergie y compris les polymères complexes. Les filaments des actinomycètes sont composés de cellules procaryotes dont le diamètre est beaucoup plus petit que les cellules de moisissures eucaryotes. La plupart des actinomycètes sont immobiles. Cependant, certains produisent des spores flagellées, leur permettant de se propager dans les habitats aquatiques (**Bouaziz, 2018**). Certaines espèces sont mésophiles et vivent dans la gamme de pH de 5,0 à 9,0 avec un optimum vers la neutralité. Ils sont des hétérotrophes, mais il existe plusieurs espèces capables de croissance autotrophe chimique. Certains ont des besoins nutritionnels, comme les vitamines et certains acides aminés. Généralement ils sont saprophytes mais quelques-uns sont pathogènes pour les

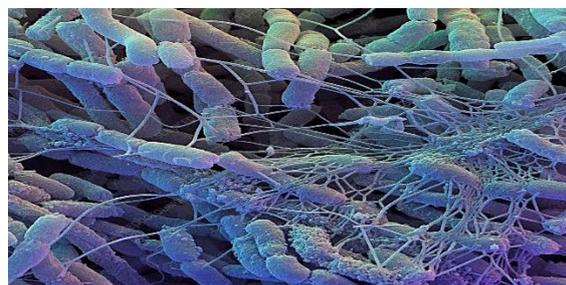
plantes telle que *Streptomyces scabies*. Les cellules des actinomycètes sont minces avec un chromosome organisé en un nucléoïde procaryote et une paroi cellulaire avec peptidoglycane (**Barka et al., 2015**). La composition de la paroi cellulaire des actinomycètes varie d'un groupe à l'autre, ce qui est d'une grande importance en taxonomie. Selon les trois caractéristiques de la composition et de la structure du peptidoglycane, ces bactéries filamenteuses peuvent distinguer quatre principaux types de parois cellulaires. Ces caractéristiques sont (i) l'isomère d'acide diaminopimélique sur la position 3 de la chaîne latérale du tétrapeptide, (ii) la teneur en sucre du peptidoglycane et (iii) la présence de glycine dans les ponts interpeptidiques. Le profil des sucres caractérise également les genres et les types de parois cellulaires (**Mukesh, et al., 2014**). 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. Ces bactéries utilisent différentes sources carbonées et azotées. Elles dégradent plusieurs polymères tels que l'amidon, la caséine et la gélatine et bien d'autres (**Zerizer, 2014**). Ces bactéries sont caractérisées par une croissance lente avec un temps de génération moyen d'environ 2 à 3 heures (**Messoudi, 2013**).

2 Critères morphologiques et cultureux

Morphologiquement, le groupe des actinomycètes inclut à la fois des espèces dont le mycélium est rudimentaire au point d'être inexistant (comme la plupart des *Mycobacterium*), d'autres au mycélium fugace (certaines *Nocardia*) et enfin des espèces au mycélium développé et persistant comme dans le genre *Streptomyces* (**Fig. 5**).



Nocardia



Streptomyces

Figure 5 : Microscopie électronique à balayage illustrant les types fragmentaire et permanent du mycélium des *Nocardia* qui se fragmentent et *Streptomyces* en sporulation.

Parmi les formes mycéliennes, on distingue celles qui ne forment qu'un mycélium « de base » poussant à la surface et dans le milieu de culture et celles qui élaborent en outre un mycélium aérien issu du mycélium de base. De plus, il existe une curiosité biologique représentée par le genre *Sporichthya*, qui produit seulement un mycélium aérien dont les hyphes sont attachés au substratum par des crampons.

Différents types d'actinomycètes peuvent former des spores en décomposant certains hyphes pour former des conidies, qui sont plus résistantes aux conditions difficiles que les hyphes, ou en produisant des endospores très résistantes à la chaleur et à d'autres adversités. Les endospores sont similaires morphologiquement et chimiquement à *Bacillus*, et les actinomyces (*Thermoactinomyces*) qui produisent des endospores sur les hyphes semblent être étroitement liés à ce groupe bactérien.

Les conidies peuvent, suivant les groupes, être produites isolément (*Micromonospora*), deux à deux longitudinalement (*Microbispora*), en courtes chaînes (*Actinomadura*), en longues chaînettes (*Streptomyces*). Les chaînettes de spores peuvent être ramifiées ou non, droites, sinuées ou en spirales. De plus, elles peuvent être rayonnantes autour d'hyphes sporophores (*Streptoverticillium*).

Il existe d'autres structures morphologiques : des sclérotés sont formés dans le genre *Chainia*, des synnemas (ou corémies) par les *Actinosynnema*, des vésicules, différentes des spores, chez les *Frankia* et les *Dactylosporangium*.

Plusieurs groupes d'actinomycètes sporulent en produisant des sporanges qui peuvent contenir des spores mobiles à l'aide de flagelles (*Actinoplanes*) ou des spores immobiles (*Streptosporangium*).

L'ensemble des caractères culturels, contribuent parfois à différencier les groupes d'actinomycètes entre eux (**Saker, 2015**). Il s'agit surtout de

- La production ou non d'un mycélium aérien (MA).
- La présence d'un mycélium du substrat (MS).
- La détermination de la couleur du MA et du MS ainsi que des pigments diffusibles dans le milieu de culture.

3 Critères chimiques (chimio-taxonomique)

Parfois, les caractères morphologiques peuvent être insuffisants pour la détermination de certains genres d'actinomycètes. Une étude chimio-taxonomique des constituants de leur paroi cellulaire est donc nécessaire pour cette caractérisation. 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**).

3-1- Les glucides

Sur l'ensemble des glucides cellulaires des actinomycètes, certains ont une grande importance taxonomique. Ils sont répartis en quatre groupes majeurs (**Harir, 2018**) :

- le couple « arabinose-galactose » caractéristique des genres *Nocardia*, *Saccharopolyspora*,
- le couple « arabinose-xylose » caractéristique des genres *Micromonospora*, *Actinoplanes*, ...
- le couple « rhamnose-galactose » caractéristique des genres *Saccharothrix*, *Lentzea*, ...
- Madurose (3-0-méthyl-galactose) qui caractérise *Actinomadura*, *Streptosporangium*, .

Cette composition glucidique détermine donc cinq chimiotypes A, B, C, D et E. Les actinomycètes n'ayant pas des sucres d'importance taxonomique sont classés dans le chimiotype C.

3-2- Acides aminés pariétaux

Deux acides aminés présentent une importance taxonomique pour les actinomycètes. Il s'agit de l'acide diaminopimélique (DAP), qui peut être sous formes isomériques LL ou DL (méso) ou parfois remplacé par d'autres acides aminés tels que la lysine, l'ornithine ou l'acide diaminobutyrique, et la glycine qui peut être présente ou absente. Selon leur composition cellulaire en glucides et en acides aminés, les actinomycètes ont été classés en dix chimiotypes (**Bouaziz, 2018**).

4 Ecologie et distribution dans la nature des actinobactéries

Les actinomycètes sont largement répartis dans la nature, généralement saprophytes, mais certaines formes sont nocives pour l'homme, les plantes ou animal. Ils sont présents dans tous les écosystèmes (sol, eau douce et eau salée et aérien). L'habitat le plus important pour les actinomycètes est le sol, le genre *Streptomyces* est le plus isolé. La plupart des actinomycètes vivent dans des conditions de faible humidité avec une activité de l'eau très faible (**Belyagoubi, 2014**). Ces bactéries sont aussi abondantes en milieu hydrique : dans les eaux des lacs, des rivières, des ruisseaux et également des mers et des océans. Les actinomycètes ont été également isolés à partir de nombreux environnements aquatiques : (i) eau de mer et de sédiments marins (ii) eau douce et eau issue de marécages salés (**Jensen et al., 2005; Ghanem et al., 2000**).

De nombreux actinomycètes peuvent former des spores, ce qui leur permet de survivre dans des conditions défavorables telles que la salinité. Cette caractéristique joue un rôle majeur dans leur distribution.

Tableau 2 : Répartition des actinomycètes dans la nature

Habitat	Genres
SOL	<i>Actinomodura, Actinoplanes, Microbispora Micromonospora, Nocardia, Rhodococcus Streptomyces, Streptosporangium</i>
Eau	<i>Actinoplanes, Micromonospora, Nocardia Rhodococcus, Streptomyces</i>
Matière en décomposition	<i>Sacharomonospora, Thermomonospora</i>
Nodule de racine	<i>Frankia</i>
Fumier	<i>Rhodococcus</i>

5 Systématique et taxonomie des actinobactéries

Les différentes éditions de Manuel de Bergey ont apporté des définitions actualisées des actinobactéries avec des données fournies par des travaux récentes par rapport à l'époque de chaque édition. Selon la classification du Taxonomie Outline of the procaryotes, Bergey 's

Manuel of Systematic Bacteriology, la deuxième édition 2004 (Garrity *et al.*, 2004), le Phylum *Actinobacteria* (bactéries a Gram positif avec un % G+C élevé) est constitué d'une seule classe dénommée également *Actinobacteria*. Celle-ci a été décrite par Stackebrandt *et al.*, (1997).

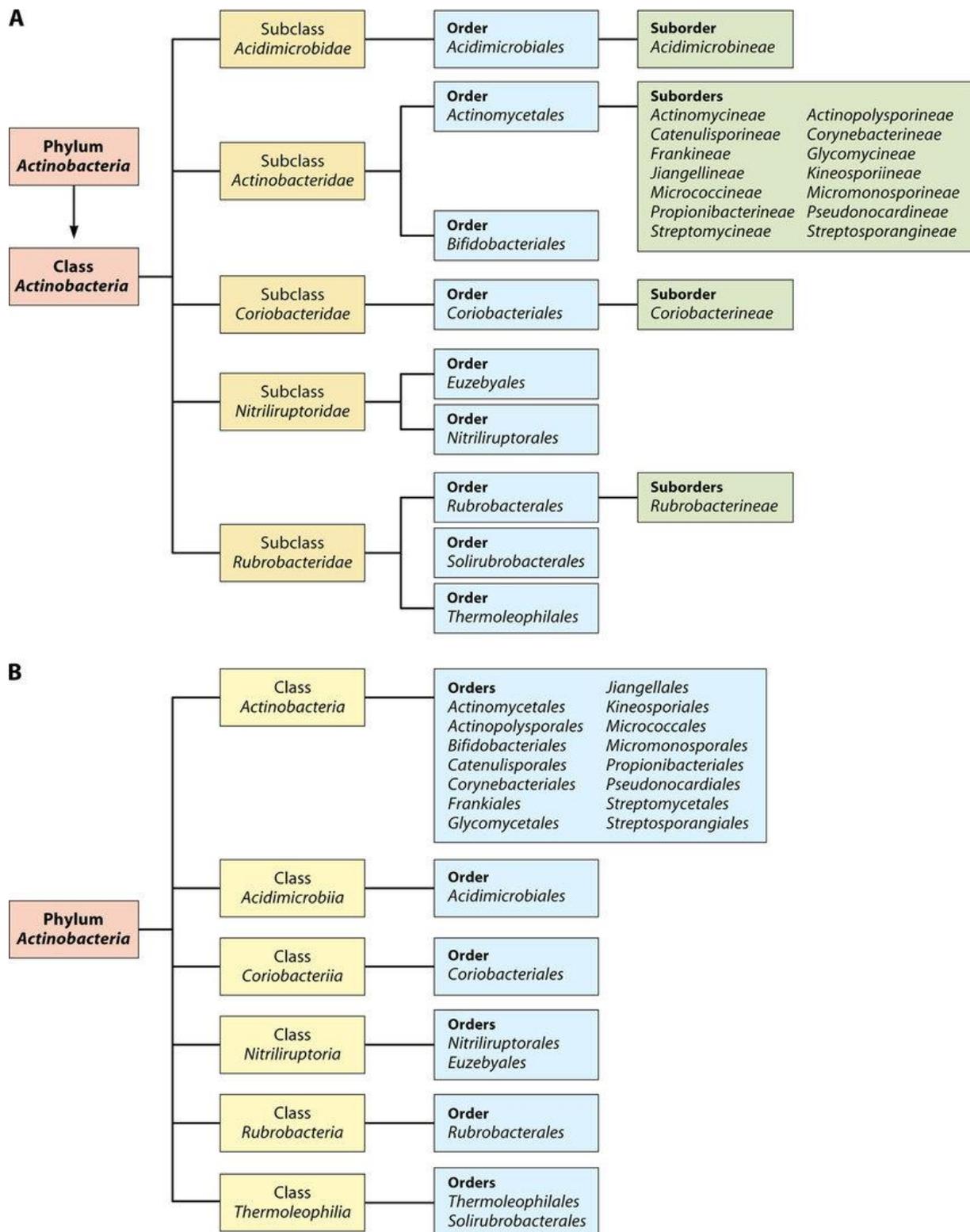


Figure 6 : Systématique des actinobactéries

Selon le Bergey's Manuel de 2012, la définition des actinobactéries est restée la même (bactéries à Gram positif ayant un %G+C supérieur à 55% et présentant une grande variabilité morphologique, la plupart étant mycéliens). Mais sur la base des données de la biologie moléculaire notamment le séquençage du gène codant pour l'ARN 16s. La classification supragénérique des actinobactéries a subi un profond remaniement. Ces microorganismes sont classés actuellement dans le règne des procaryoteae. Le phylum des *Actinobacteria* et la classe des *Actinobacteria*. Cependant, l'ordre des *Actinomycetales* a été subdivisé en plusieurs ordres. L'ordre des *Actinomycetales* actuellement est un petit ordre regroupant peu de genre, dont *Actinomyces*. Ce dernier représente le genre anaérobie strict et pathogène pour l'homme. Les *Actinobacteria* sont classées. Depuis 2012, dans 15 ordres, 43 familles et 203 genres (**Goodfellow et al ., 2012 in Bergey's Manuel, 2012**).

6 Métabolisme général des actinomycètes

Les actinomycètes sont divisés en deux groupes physiologiques. Le plus important est composé de bactéries à métabolisme oxydatif et habite principalement le sol. Le second rassemble les bactéries en fermentation, hôte de la cavité naturelle humaine et animale. 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*.

Les formes fermentatives, anaérobies strictes ou facultatives, sont illustrées par le genre *Actinomyces*. Ces organismes sont des saprophytes obligatoires des cavités naturelles de l'homme et des animaux supérieurs et ils ne sont jamais retrouvés dans le sol (**Mariat et Sebald, 1990**).

De manière générale, les actinomycètes sont des bactéries nutritives organiques chimiques qui utilisent une variété de carbone et d'énergie, y compris des biopolymères complexes (chitine, cellulose, lignine). Cependant, plusieurs espèces peuvent également utiliser l'oxyde d'hydrogène comme source d'énergie et le dioxyde de carbone comme source de carbone pour la croissance chimique autotrophe. (**Mariat et Sebald, 1990**).

7 Importance économique des actinomycètes

Les actinomycètes sont les plus prolifiques de tous les micro-organismes en tant que producteurs d'antibiotiques. On estime que les deux tiers des quelque six mille antibiotiques isolés jusqu'ici sont produits par les actinomycètes. Selman Waksman qui est le premier, a démontré la richesse des actinomycètes dans ce domaine. Ce fut dans ses laboratoires que

furent isolés quatre des premiers antibiotiques utiles : l'actinomycine (1940), antitumorale ; la streptomycine (1944), antibactérienne, y compris antituberculeuse ; la néomycine (1949), antibactérienne et la candidine (1953), antifongique, ayant aussi des propriétés pharmacologiques intéressantes en tant que ligand des stéroïdes.

Parmi les espèces appartenant à différents actinomycètes, le genre *Streptomyces* est le plus important producteur d'antibiotiques et d'autres métabolites secondaires. On peut estimer 75. 100 antibiotiques isolés d'actinomycètes sont produits par *Streptomyces*.

Les enzymes sont, après les antibiotiques, les plus importants produits des Actinomycètes. Certaines sont utilisées à cet effet dans l'industrie alimentaire (isomérase du glucose) et dans celle des détergents (protéases). Les glycosidases des actinomycètes jouent un rôle important dans la dégradation des biomasses végétales (amylases, xylanases) et animales (chitinases).

Les actinobactéries sont également responsables de la production de plusieurs autres métabolites d'intérêt économique (**Fig. 7**).

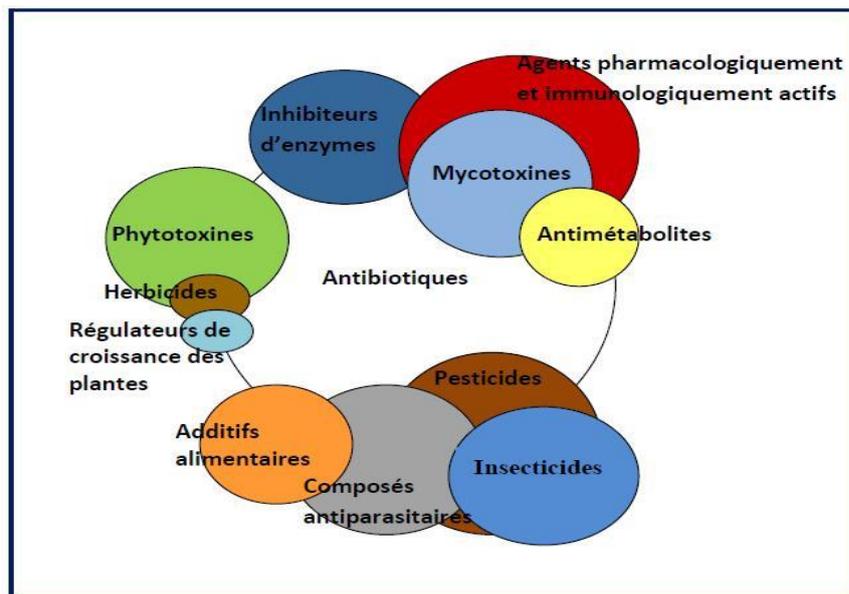


Figure 7 : Importance économique des actinomycètes

Chapitre 3 : Pouvoirs métaboliques des actinobactéries des écosystèmes salins.

1 Introduction aperçus général

Les actinobactéries sont des microorganismes procaryotes ayant un pourcentage de guanine-cytosine élevé (supérieur à 55%). Ils sont une source très riche en métabolites secondaires telles que les antibiotiques, les vitamines, les enzymes, les pigments et de plusieurs autres biomolécules.

Les membres marins de l'ordre *Actinomycetales* contiennent une diversité incroyable, à la fois en termes de caractéristiques phénotypiques/génomiques et d'utilité dans divers domaines. Dans le domaine médical, les actinomycètes des écosystèmes salins (sédiments et eaux marines), ont été utilisés comme sources d'antibactériens, d'antifongiques, d'agents antitumoraux et bien d'autres molécules. Dans les troubles auto-immunes, dans les allergies et dans les greffes d'organes, les actinomycètes peuvent être la source de molécules bioactives bénéfiques. Par exemple, la rapamycine produite par un actinomycète marin (*Streptomyces hygroscopicus*) aide à supprimer et à préparer le système immunitaire pour les greffes d'organes. Les chimiothérapies actuelles reposent aussi sur les produits chimiques des actinomycètes terrestres. Mais les espèces marines peuvent également devenir une source prometteuse de nouveaux traitements.

Plusieurs travaux, font montrer de plus en plus d'actinomycètes marins possédant des particularités innovantes, surtout concernant les isolats rares. On s'attend à ce que davantage d'antibiotiques et d'autres traitements médicaux soient identifiés. De plus, davantage de plasmides d'actinomycètes avec des caractéristiques nouvelles, sont découverts et analysés et on s'attend à ce que de nouveaux gènes non présents dans les chromosomes d'actinomycètes soient identifiés. Ces avancées contribuent certainement à faire progresser la lutte contre les bactéries multi-résistantes. Nous nous attendons à ce que la recherche de ces actinomycètes marins devienne probablement plus courante dans la recherche de nouveaux antibiotiques.

De plus, l'utilisation d'actinomycètes marins comme probiotiques a été étudiée récemment, bien que la recherche dans ce domaine se limite principalement à des utilisations en aquaculture et dans d'autres environnements aquatiques. Bien qu'il ne soit pas clair si les actinomycètes marins ont une place dans les probiotiques administrés à l'homme, mais c'est

certainement un domaine où les capacités de ces actinomycètes peuvent être explorées. L'emploi de ces probiotiques actinobactériens, dans l'élevage des fruits de mer par exemple, atténuerait le besoin d'utilisation d'antibiotiques dans ces pratiques, réduisant ainsi le risque du développement de bactéries résistantes aux antibiotiques.

L'utilisation d'actinomycètes marins peut avoir des impacts dans les efforts d'assainissement de l'environnement. Leur capacité à empêcher la formation de biofilm, empêchant ainsi l'encrassement biologique, est essentielle pour prévenir les dommages environnementaux causés par d'autres méthodes traditionnelles d'anti-encrassement biologique. En outre, ils peuvent contribuer au nettoyage des déchets chimiques nocifs tels que les pesticides, les métaux toxiques et les déchets radioactifs. La capacité de nombreux actinomycètes à résister à des environnements extrêmes en fait également de bons candidats pour une utilisation en pollution mixte, car ils peuvent être associés à d'autres actinomycètes ou à d'autres bactéries pour dégrader plusieurs types de déchets chimiques. Dans ces zones, les actinomycètes marins ont un avantage sur les actinomycètes terrestres et autres, car un bon nombre de ces sources de pollution commencent ou finissent dans les plans d'eau. Il est probable que l'utilisation des actinomycètes marins continuera à se développer dans ces zones, en particulier à mesure que de nouveaux actinomycètes planctoniques sont découverts.

En plus de leur utilisation dans des applications médicales et environnementales, les actinomycètes marins sont actuellement explorés pour plusieurs capacités industrielles différentes. Bien que bon nombre de ces utilisations industrielles soient probablement confidentielles car elles sont encore à l'étude, quelques-unes de ces utilisations incluent leur utilité en tant que probiotiques en aquaculture, leur capacité à produire des biocarburants et leur capacité à produire plusieurs autres molécules de divers intérêts.

Le coût des combustibles fossiles traditionnels ne cesse d'augmenter et l'impact sur l'environnement est de plus en plus visible, l'attention, sur le développement des biocarburants augmente considérablement ces dernières années. La capacité de nombreux actinomycètes marins à dégrader les composés organiques tels que les hydrocarbures est applicable à la recherche de nouvelles sources de biocarburants, faisant de plusieurs de ces espèces de solides candidats pour la production de biocarburants.

Les métabolites secondaires produits par les actinomycètes marins, montrent également une utilité dans une variété d'applications dans les domaines des cosmétiques en produisant des molécules très intéressantes dans ce secteur.

3 Exemples de quelques aptitudes métaboliques des actinobactéries marins

Les actinobactéries isolés à partir des écosystèmes marins sont en très grandes diversité taxonomique et métaboliques. Tenter de les citer tous est utopique. Nous présentons dans ce mémoire seulement quelques applications.

3.1 Dans le domaine de l'écologie microbienne.

Les travaux relativement anciens de **Kin Lam, 2006**, montrent que les actinomycètes marins indigènes existent dans les océans et sont largement distribués dans différents écosystèmes marins. Ces preuves ont été prouvées que ce soit par méthodes de cultures dépendantes ou indépendantes. Ce rapport affirme qu'il existe une grande diversité de nouveaux actinomycètes dans les environnements marins. En plus, des progrès ont été réalisés dans l'isolement de nouveaux actinomycètes à partir d'échantillons prélevés dans différents environnements et habitats marins. Les auteurs affirment aussi que ces actinomycètes marins produisent différents nouveaux métabolites secondaires. Bon nombre de ces métabolites possèdent des activités biologiques et ont le potentiel d'être développés en tant qu'agents thérapeutiques. D'après les mêmes auteurs, les actinomycètes marins sont une source prolifique mais sous-exploitée de nouveaux métabolites secondaires.

Dans d'autres travaux les chercheurs affirment également la présence des actinomycètes cultivables dans les écosystèmes marins. **Jensen et al., 2005**. Les travaux continuent à affluer nous citons comme exemple seulement ceux de **Ghanem et al., 2000**, de **Fenical et al., 2006**. Ceux de **Das et al., 2008**, et de **Bull et al., 2007**, et plus récemment ceux de **Claverías et al., 2019**.

Les organismes marins sont également une source d'actinobactéries rares et nouvelles comme les éponges (**Zhang et al., 2008 ; Liu et al., 2019**).

3.2 Dans le secteur des dérivés anticancéreux

D'après **Demain et Sanchez, 2009**, Un actinomycète marin, appelé souche BM-17, a été isolé à partir d'un échantillon de sédiment marin prélevé à partir de l'océan Arctique. La souche a été identifiée comme étant *Nocardia dassonvillei* sur la base de caractéristiques morphologiques, culturelles, physiologiques et biochimiques, ainsi que de l'analyse de la paroi cellulaire et de l'analyse de la séquence du gène de l'ADNr 16S. Un nouveau métabolite secondaire, la N-(2-hydroxyphényl)-2-phénazamine (NHP), a été purifié à partir du jus de

fermentation salin, par technique chromatographique de purification séquentielle sur résine macroporeuse D101, gel de silice et Sephadex LH20. L' HPLC a été également employée dans ces investigations. La structure chimique des composés a été élucidée par une analyse spectroscopique et par RMN bidimensionnelle (2D) et HR-ESI-MS. Le nouveau composé a montré une activité cytotoxicité élevée vis-à-vis des cellules cancéreuses (Hep G2, A5 49, HCT-116 et COC1). D'autres travaux, montrent le rôle des actinobactéries dans la synthèse de molécules à activités enzymatiques utilisées comme anticancéreux, antivirale ou dans d'autres pathologies graves (**Imada et al., 2004**).

Dans d'autres travaux l'effet de cytotoxicité des actinobactéries marins, a été très bien étudié par d'autres chercheurs (**SudhaSrikesavan et al., 2012 ; Olano Carlos et al., 2009 ; Sveta et al., 2021**).

3.3 Dans la production des antifongiques

L'arsenal des molécules antifongiques est relativement peu important par rapport aux antibactériens. Les chercheurs tentent de diversifier les écosystèmes afin de trouver des molécules nouvelles capables de remédier à ce manque. Les environnements marins sont parmi les exemples des biotopes qui ont été explorés dans ce but.

Dans les travaux de synthèse de recherches de **Demain et Sanchez, 2009**, Un éventail de molécules antifongiques a été décrit. Un exemple parmi d'autres fait ressortir qu'un actinomycète marin, appelé souche BM-17, a été isolé à partir d'un échantillon de sédiment marin prélevé à partir de l'océan Arctique. La souche a été identifiée comme étant *Nocardia dassonvillei* sur la base de caractéristiques morphologiques, culturelles, physiologiques et biochimiques, ainsi que de l'analyse de la paroi cellulaire et de l'analyse de la séquence du gène de l'ADNr 16S. Six antibiotiques connus ont été isolés à partir d'un milieu de soja incubé à 28 °C pendant 7 jours. Les structures chimiques des composés ont été élucidées par plusieurs techniques de séparation. Un nouveau composé a été identifié, il montre une activité antifongique significative contre *Candida albicans*, avec une CMI de 64 g/ml.

Plusieurs autres travaux ont privilégié les ressources marines pour la recherche des actinomycètes. Ces bactéries ont attiré l'attention des chercheurs car ils ont montré des capacités à produire des métabolites secondaires biologiquement actifs. Beaucoup d'entre eux sont des antibiotiques puissants et/ou des composés principaux qui, autrement, ne se trouveraient pas dans les micro-organismes terrestres (**Blunt et al., 2006 , Blunt et al., 2009 ,**

Mayer et al., 2007; Williams, 2009 ; Fenical et al., 2002 , Mikami, 2007; Berdy, 2012 ; Yu et al., 2019; Khattabi et al., 2005).

La répartition géographique des actinobactéries marines a été bien élucidée dans les travaux de **Ward et al., 2006.**

3.4 Dans la production d'antibactériens

D'après **Hans-Peter, 2005**, Un total de 600 souches d'actinomycètes isolées de sédiments marins provenant de divers sites des océans Pacifique et Atlantique ont été criblés pour la production de métabolites secondaires bioactifs. Les souches de streptomycètes marins se sont avérées productrices entre autres d'antibactériens chimiquement différentes des membres connus isolés à partir des écosystèmes terrestres. C'est le cas par exemple des souches marines de *Micromonospora*, de nouveaux membres marins du genre rare comme *Verrucosipora* qui semblent être une source prometteuse de nouveaux métabolites secondaires bioactifs.

Dans les travaux récents de **Riddhi, et al., 2017**, une nouvelle souche d'actinomycète isolée de sédiments marins dans la baie de Gambat (État du Gujarat), en Inde, a montré une activité antibactérienne prometteuse. Dans cette étude, un nouveau actinobactérie marin à Gram positif a été isolée à partir de sédiments marins. Il présentait une similarité de 84 % dans sa séquence du gène de l'ARNr 16S avec *Streptomyces variabilis*. Cette souche nouvelle a été désignée sous le nom de *Streptomyces variabilis* RD-5. Cette souche présentait un large spectre d'activités antibactériennes vis-à-vis de bactéries à Gram négatif (*Escherichia coli*, *Shigella boydii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas* sp. et *Salmonella enteritidis*), et des bactéries à Gram positif (*Bacillus subtilis* et *Staphylococcus aureus*).

Un excellent travail de synthèse qui concerne les actinobactéries du monde marin, a été réalisé dans la thèse de Doctorat de **Ibrahimi, 2020** et dans son article **Ibrahimi et al., 2020.**

Il y a plus de 20 ans que les travaux ont ciblé directement la recherche d'actinomycètes à partir des eaux et des sédiments marins. Plusieurs activités antimicrobiennes et enzymatiques ont été recherchées à partir de ces isolats. (**Ramesh et al., 2009; Parkes 1987).**

3.5 Dans la production des antioxydants

La même souche du genre *Streptomyces* (*S. variabilis* RD-5) est considérée comme une source prometteuse de métabolites secondaires bioactifs. Cette nouvelle souche bactérienne isolée à partir des écosystèmes hydriques marins a présenté également des activités antioxydantes importantes et innovantes. L'analyse basée sur BIOLOG a suggéré que *S. variabilis* RD-5 a utilisé une large gamme de substrats par rapport à la souche de référence. Le résultat est en outre soutenu par des analyses statistiques telles que l'AWCD (développement moyen de la couleur des puits), la carte thermique et l'ACP (analyse en composantes principales). Le profil des acides gras de la cellule entière a montré la dominance des acides gras à longue chaîne iso/anteiso ramifiés en C15–C17 **Riddhi, et al., 2017**.

3.6 Dans la production de vitamines et de pigments

Selon **Berdy, 2012**, les actinomycètes du monde marin sont connus par leur production de substances biologiquement actives telles que les vitamines et les pigments. Dans des travaux récents les pigments et les vitamines ont été produits par des actinobactéries du monde marin (**Chatragadda et al., 2020 ; Vijayakumar et al., 2012**).

3.7 En tant que PGPR

Certaines espèces ont la capacité de solubiliser le phosphore, d'autres sont impliquées dans le control phytopathologique et dans la production des composés antifongiques. En effet, les actinomycètes produisent 47 % des molécules bioactives issues de microorganismes, découvertes entre 1940 et 2010 parmi lesquelles 24 % sont issues d'actinomycètes rares isolés à partir des écosystèmes salins (**Nafis et al., 2019**).

3.8 Dans la production d'enzymes

La production d'enzymes est devenue une application très prisée des actinobactéries halophiles et halotolérantes. Les travaux dans ce domaine sont multiples et variés. Nous nous contentons de ce qui suit : Les activités chitinolytiques en sont un bon exemple (**Hosny et al., 2010**). Le potentiel cellulolytique a été également mis en évidence à partir des actinobactéries marins (**Gobalakrishnan Rajagopal et Sivakumar Kannan 2017**). Les protéases ont été aussi produites par les actinomycètes des eaux marines.

Karthik *et al.*, 2014). Certains actinomycètes marins ont été utilisés dans la biodégradation de plusieurs déchets et polluants comme la keratine par exemple.

González *et al.*, 2020). A partir des actinomycètes marins plusieurs autres enzymes nouveaux ont été découverts (**Satya *et al.*, 2013**).

Il est à noter que cette liste n'est en aucun cas exhaustive, d'autres travaux dans ce domaine ont été réalisés et ne cessent à ce jour d'affluer.

Conclusion

Les actinomycètes sont des producteurs efficaces de nouveaux métabolites secondaires avec une multitude d'activités biologiques. Ces bactéries largement isolées à partir des sols, sont aussi retrouvées dans les écosystèmes marins. La diversité bactérienne de ces microorganismes dans les eaux et les sédiments de mer, est importante. Ce sont des *Streptomyces*, des *Nocardia*, mais aussi des genres rares comme *Micromonospora*, *Verrucosipora* qui sont retrouvés dans ces biotopes. Ces bactéries possèdent des activités antibactériennes marquées, vis-à-vis de pathogènes Gram- et Gram+. Des activités antifongiques contre des champignons redoutables. Beaucoup d'entre eux sont des molécules puissantes et/ou des composés qui ne se trouveraient pas dans les cultures des microorganismes terrestres. En plus de ces bio-molécules intéressantes, des anticancéreux sont également produits par ces actinobactéries marins. Plusieurs autres enzymes comme les chitinolytiques, les cellulolytiques et les protéasiques ont été produites par ces bactéries des eaux marines. Certains actinomycètes marins ont été même utilisés dans la biodégradation de plusieurs déchets et polluants comme la keratine, les insecticides. Les pigments, les vitamines, sont également des composés produits par ces bactéries.

Les hormones de croissance des plantes, les composés antitumoraux, d'autres composés pharmacologiques, les pigments, les inhibiteurs d'enzymes et les vitamines, sont également produits par ces bactéries. Les applications dans l'environnement ont été également, mises en évidence. La capacité de produire des composés biologiquement actifs, fait des actinomycètes l'un des micro-organismes les plus étudiés chez les procaryotes.

Il est à signaler par ailleurs, que cette synthèse bibliographique est certainement incomplète et constitue seulement une contribution à l'étude de ces bactéries salines. Il serait intéressant de poursuivre ces études, car ces bactéries nous cachent encore des caractéristiques métaboliques très recherchées.

Références bibliographiques

Andariambololona, T. Etudes biologiques et chimiques des métabolites secondaires des actinomycètes telluriques cas: de la forêt d'Ankafobe. Thèse de Doctorat, 2010. Université d'Antananarivo-Madagascar, pp 5-10.

Aubert, J.F. Ichneumonides non pétiolées inédites ou mal connues. *Bulletin de la Société Entomologique de Mulhouse* 1976: 25–32.

Barka, EA., Vatsa, P., Sanchez, L., Gaveau-Vaillant, N., Jacquard, C., Meier-Kolthoff J.P., Klenk, H.P., Clément, C., Ouhdouch, Y., van Wezel, G.P. Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. *Microbiol Mol Biol Rev.* 2015; 80(1): 1- 43.

Belyagoubi, L. Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels algériens. Thèse de Doctorat, 2014. Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, p.134.

Berdy, J . Bioactive microbial metabolites. *The Journal of Antibiotics* 2005; 58: 1-26.

Berdy, J. Thoughts and facts about antibiotics: where we are now and where we are heading. *J. Antibiot.* 2012; 65: 385-395.

Blunt, JW, Copp, BR., Hu, WP., Munro, MH., Northcote, PT., Prinsep, MR. Marine natural products. *Nat Prod Rep.* 2009; 26(2):170-244.

Blunt, JW., Copp, BR., Munro, MH., Northcote, PT., Prinsep, MR. Marine natural products. *Nat Prod Rep.* 2006; 23(1):26-78.

Bouaziz, S. Recherche de souches bactériennes locales productrices de substances antimicrobiennes : isolement, sélection, identification des souches actives et caractérisation partielle des substances bioactives. Thèse de Doctorat, 2018. Université Kasdi Merbah-Ouargla, pp. 4-13.

Boudjelal-Bencheikh F. Taxonomie et antagonisme des actinomycètes halophiles d'origine saharienne et caractérisation des composés bioactifs sécrétés par *Actinoalloteichus* sp. AH97. Thèse de Doctorat, 2012. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. pp. 5-35.

Bryant, R.G. Application of AVHRR to monitoring a climatically sensitive playa. Case study: Chott El Djerid, southern Tunisia. *Earth Surface Processes and Landforms* 1999; 24: 283-302.

Bryant, R.G., Rainey, M.P. Investigation of flood inundation on playas within the zone of Chotts, using a time-series of AVHRR. *Remote Sensing of Environment* 2002; 82: 360-375.

Bull, A.T., Stach, J.E.M. Marine Actinobacteria: new opportunities for natural product search and discovery. *Trends Microbiology* 2007; 15(11): 491-9.

Castillo, U., Myers, S., Browne, L., Strobel, G., Hess, W.M., Hanks, J., Reay, D. Scanning electron microscopy of some endophytic streptomycetes in snakevine *Kennedia nigricans*. *Scanning* 2005; 27: 305–311.

Caumette, P. Ecology and General Physiology of Anoxygenic Phototrophic Bacteria in Benthic Environments, p. 283-304. In Y. Cohen and E. Rosenberg (eds), *Microbial mats, Physiological Ecology of Benthic Microbial Communities*. 1989, American Society for Microbiology, Washington, D C.

Claverías, F., Gonzales-Siles, L., Salvà-Serra, F., Inganäs, E., Molin, K., Cumsille, A., Undabarrena, A., Couve, E., Moore, E.R.B., Tindall, B.J., Gomila, M. and Camara, B. *Corynebacterium alimapuense* sp. nov., an obligate marine actinomycete isolated from sediment of Valparaíso bay, Chile. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 2019; 69: 783-790.

Chown, D., Linsley, M. *Wetlands in northern Algeria and coastal Tunisia*. Sandy, U.K: Royal Society for the protection of Birds edition 1994.

Coque, R., Tricat, J., Cailleux, A. Le modèle des régions sèches, traité de géomorphologie. *Annale de Géographie* 1972 ; 81: 734-740.

Coque, R. La Tunisie présaharienne. Etude géomorphologique. 1962, Paris: Armand Colin édition.

Das, S., Lyla, P.S., Ajmal Khan, S. Distribution and generic composition of culturable marine actinomycetes from the sediments of Indian continental slope of Bay of Bengal. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 2008; 26(2): 166-177.

Demain, A. L. and Sanchez, S. Microbial drug discovery: 80 years of progress. *The Journal of Antibiotics* 2009; 62(1):5-16.

Demnati, F. Biodiversité et Enjeux Socio-économiques des lacs salés (Chotts et Sebkhass) d'Algérie. Cas du Chott Merouane et Melghir. Thèse De Doctorat en Sciences Agronomiques, 2014. UNIVERSITE MOHAMED KHIDER- BISKRA.

Dholakiya, RN., Kumar, R., Mishra, A., Mody, KH., Bhavanath, Jha, B. Antibacterial and Antioxidant Activities of Novel *Actinobacteria* Strain Isolated from Gulf of Khambhat, Gujarat. *Front Microbiol.* 2017; 8: 2420.

Dixey, F. Géologie, géomorphologie et hydrogéologie souterraine in « les problèmes de la zone aride » (UNESCO, Actes colloque, Paris 1960, p.27-60, Publ. UNESCO1962, Rech. zone aride XVIII, Paris).

Dresch, J. Mouvements du sol quaternaire au Maghreb Oriental. *Annale de Géographie* 1954 ; 63: 61-62.

Drouhin, G. Possibilité d'utilisation de ressources hydrauliques limitées en Algérie. Colloque général sur les problèmes de la zone aride, 1960, Paris.

Dubost D. Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Biskra: C.R.S.T.R.A. édition, 2002.

Edwards, M. and Richardson, A.J. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 2004; 430: 881-884.

Embley, T.M., Stackebrandt, E. The molecular phylogeny and systematics of the actinomycetes. *Annu Rev Microbiol.* 1994; 48: 257-289.

Fenical, W., Jensen, P.R. Developing a new resource for drug discovery: marine actinomycete bacteria. *Nature Chemical Biology* 2006; 2: 666-673.

Fiedler, Hans-Peter, Bruntner, Christina, Bull, Alan T. Ward, Alan C, Goodfellow, Michael, Potterat, Olivier, Carsten Puder, Gerhard Mihm Antonie Marine actinomycetes as a source of novel secondary metabolites *Antonie Van Leeuwenhoek* . 2005, 87(1):37-42.

Garrity GM, Lilburn TG, Cole JR, Harrison SH, Euzéby J, Tindall BJ. Taxonomic outline of the Bacteria and Archaea, Release 7.7. Part 1 - The “Archea”, Phyla “Crenarchaeota” and “Euryarchaeota” *Taxonomic Outline.* 2007; pp. 551–73.

Ghanem, N.B., Sabry, S.A., M. El-Sherif, Z., Gehan, A., Abu El-Ela, Isolation and enumeration of marine actinomycetes from seawater and sediments in Alexandria. *The Journal of General and Applied Microbiology* 2000; 46(3):105-111.

González, V., Vargas-Straube, MJ. Walter O. Beys-da-Silva, Santi, L., Valencia, P. Beltrametti, F. and Cámara, B. Enzyme Bioprospection of Marine-Derived Actinobacteria from the Chilean Coast and New Insight in the Mechanism of Keratin Degradation in *Streptomyces* sp. G11C. *Marine Drugs* 2020; 18(11):537.

Goodfellow, M. and Williams, S.T. Ecology of actinomycetes. *Annual Review of Microbiology* 1993; 37:189-216.

Goodfellow, M. Phylum XXVI. *Actinobacteria* phyl. nov. *In*: Goodfellow, M., Kämpfer, P., H.-J. B., Trujillo, ME., Suzuki, K., Ludwig, W., Whitman, WB. (eds), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, second edition, vol. 5, Springer, New York, 2012; p. 33-34.

Gratzfeld, J. Industries extractives dans les zones arides et semi-arides: planification et gestion de l'environnement, éd. Joachim Gratzfeld, 2004.

Harir, M. Caractérisation des molécules bioactives produites par des souches d'action bactériennes isolées des sols arides et semi arides d'Algérie. Thèse de Doctorat en Sciences Biotechnologie, 2018. Université d'Oran1, Ahmed Ben Bella. 181p.

Hart J. Storm over Mono. The Mono Lake battle and the California water future. Berkeley, USA 1996. University of California Press edition.

Helmke, E.; Weyland, H. *Rhodococcus marinonascens* sp. nov., *Rhodococcus marinonascens* sp. nov., an Actinomycete from the Sea. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 1984; 34(2):127-138.

Hosny, M.S., El-Shayeb, N.A., Abood, A., Abdel-Fattah, A.M. A Potent Chitinolytic Activity of Marine Actinomycete sp. and Enzymatic Production of Chitooligosaccharides. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 2010; 4(4): 615-623.

Ibrahimi, M. Extraction et caractérisation de nouveaux antibactériens produits par les actinobactéries prédatrices d'origine marine. Thèse de Doctorat 2020; Université De Poitiers, 165 p.

Ibrahimi, M., Korichi, W., Hafidi, M., Lemee, L., Ouhdouch, Y., Loqman, S., Marine Actinobacteria: Screening for Predation Leads to the Discovery of Potential New Drugs against Multidrug-Resistant Bacteria. *Antibiotics* 2020; 9: 91.

Imada, C. Enzyme inhibitors of marine microbial origin with pharmaceutical importance. *Mar. Biotechnol.* 2004; 6(3): 193-198.

Incorvaia G. Etude des facteurs potentiellement limitant la répartition du Fennec *Fennecus zerda*. Thèse de Doctorat, 2004. Université C. Bernard, Lyon 1 (France).

Jellison, R., Williams, W.D., Timms, B., Alcocer, J., Aladin, N.V. Salt lakes: values, threats and future. In: *Aquatic Ecosystems* 2008. Cambridge, UK: Cambridge University Press edition.

Jellison R. IX international conference on Salt Lake research: Research opportunities and management challenges. *Saline Systems* 2005; 1:12.

Jensen, P.R., Gontang, E., Mafnas, C., Mincer, T.J., Fenical, W. Culturable marine actinomycete diversity from tropical Pacific Ocean sediments. *Environmental Microbiology* 2005; 7(7):1039-1048.

Joly, F. Les eaux sauvages des régions arides. Notions de base sur l'hydrologie des déserts. Géomorphologie : relief, processus, environnement 2006 ; 4: 285-298.

Jose, P. A. and Jha, B. Intertidal marine sediment harbours Actinobacteria with promising bioactive and biosynthetic potential. *Scientific Reports* 2017; 7: 10041.

Karthik, L., Kumar, G., Keswani, T., Bhattacharyya, A., Chandar, SS. and Bhaskara Rao, K. V. Protease Inhibitors from Marine Actinobacteria as a Potential Source for Antimalarial Compound. *PLoS One* 2014; 9(3): e90972.

Kavagutti, VS., Andrei, A.Ş., Mehrshad, M., Salcher, MM., Ghai, R. Phage-centric ecological interactions in aquatic ecosystems revealed through ultra-deep metagenomics. *Microbiome* 2019; 7: 135.

Kharaka, Y.K., Hanor, J.S. “ 5.16 I. Fluids in the continents sedimentary bassins”. *Treatise on Geochemistry* 2005; 5(16): 499-540.

Khattabi, A. Isolement et étude taxonomique de deux souches d'actinomycètes d'origine marine productrices de substances antifongiques non polyéniques. Thèse de Doctorat, 2005. Université Chouaib Doukkali, Maroc.

Koopmanschap, E., Hammami, M., Klok, C. Lac Ayata dans la Vallée d'Oued Righ. Quick-scan of options and preliminary recommendations for the Management of Lake Ayata in the Valley of Oued Righ. Wageningen: Centre for Development Innovation Wageningen UR edition, 2011.

Liu, T., Wu, S., Zhang, R., Wang, D., Chen, J., Zhao, J. Diversity and antimicrobial potential of Actinobacteria isolated from diverse marine sponges along the Beibu Gulf of the South China Sea. *FEMS Microbiology Ecology* 2019; 95(7).

Madigan, M., and Martinko, J. Brock Biologie des micro-organismes: Pearson Education 2007, France.

Mahowald, NM., Bryant, RG., John del Corral, and Steinberger, L. Ephemeral lakes and desert dust sources. *Geophysical Research Letters* 2003, 30(2): 1074-1078

Mariat F. et Sebald M. (1990). Actinomycetes In: Bactériologie Médicale. Le Minor L. et véron M. 2^{ème} édition Médecine-Science, Flammarion, 1990, Paris. 935-949.

Mayer, A., Rodríguez, A.D., Berlinck, R.G., Hamann, M.T. Marine pharmacology in 2003-4: marine compounds with anthelmintic antibacterial, anticoagulant, antifungal, anti-inflammatory, antimalarial, antiplatelet, antiprotozoal, antituberculosis, and antiviral activities; affecting the cardiovascular, immune and nervous systems, and other miscellaneous mechanisms of action. *Comp Biochem Physiol C toxicol Pharmacol* 2007; 145 (4): 553-581.

Messoudi, O. Contribution à la caractérisation de souches d'actinomycètes productrices de métabolites antimicrobiens isolées de la sebkha de Kenadsa (Bechar). Mémoire de Magistère en Microbiologie appliquée, 2013. Université ABOU BAKR BELKAID de Tlemcen.

Mikami, Y. Biological work on medically important *Nocardia* species. *Actinomycetologica* 2007; 21 (1): 46-5.

Mukesh, Sh., Pinki, D. and Meenakshi, Ch. Actinomycetes: Source, Identification, and Their Applications. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 2014; 3(2): 801-832.

Nafis, A., Raklami, A., Bechtaoui, N., El Khalloufi, F., El Alaoui, A., Glick, B R., Hafidi, M., Kouisni, L., Ouhdouch, Y. and Hassani L. Actinobacteria from Extreme Niches in Morocco and Their Plant Growth-Promoting Potentials. *Diversity* 2019; 11(8):139.

Munn, D. *Marine Microbiology: Ecology & Applications*. 2003, 1st Edition: Garland Science, 312 p.

Olano, C., Carmen, Méndez, C., and Salas, JA. Antitumor compounds from marine actinomycetes. *Mar Drugs* 2009, 7(2): 210–248.

Ouargli M. Les actinomycètes producteurs des molécules bioactives. Thèse de Doctorat, 2018. Université de Badji Mokhtar-Annaba. 189p.

Parkes, R.J. Analysis of microbial communities within sediments using biomarkers, in: SGM Symposium Series 41. 1987, Cambridge University Press, pp. 147-177.

Polpass Arul Jose, and Bhavanath Jha, Intertidal marine sediment harbours Actinobacteria with promising bioactive and biosynthetic potential. *Scientific Reports* 2017; 7(1): 10041.

Pouget, M. Les relations sol-Végétation dans les steppes sud-algérien (Algérie). Thèse de Doctorat, 1980. Université d'Aix-Marseille 3 (France).

Rajagopal, G. and Kannan, S. Systematic characterization of potential cellulolytic marine actinobacteria *Actinoalloteichus* sp. MHA15. *Biotechnology Reports*. 2017; 13:30-36.

Ramesh, S., Mathivanan, N. Screening of marine actinomycetes isolated from the Bay of Bengal, India for antimicrobial activity and industrial enzymes. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 2009; 25(12): 2103-2111.

Ramesh, CH., Vinithkumar, NV., Kirubagaran, R., Chidambaram, Venil, CK., and Dufossé, L. Applications of Prodigiosin Extracted from Marine Red Pigmented Bacteria *Zooshikella* sp. and Actinomycete *Streptomyces* sp. *Microorganisms* 2020; 8(4): 556.

Saker, R. 2015. Recherche de nouveaux taxons d'actinobactéries halophiles des sols sahariens et potentialités antagonistes. Thèse de Doctorat en Microbiologie, 2015. Université Ferhat Abbas, Sétif 1. 181p.

Samraoui, B. and Samraoui, F. An ornithological survey of Algerian wetlands: Important Bird Areas, Ramsar sites and threatened species. *Wildfowl* 2013; 58(58): pp. 71-96.

Samraoui, B., Samraoui, F. An ornithological survey of Algerian wetlands: Important Bird Areas, Ramsar sites and threatened species. *Wildfowl* 2008; 58: 71-96.

Samraoui, B., Chakri K., Samraoui F. Large branchiopods (Branchiopoda: Anostraca, Notostraca and Spinicaudata) from the salt lakes of. *Journal of Limnology* 2006; 65(2):83-88.

Samraoui, B. Branchiopoda (Ctenopoda and Anomopoda) and Copepoda from eastern Numidia, Algeria. *Hydrobiologia* 2002; 470: 173–179.

Satya, P., Singh, Jignasha, T., Thumar, Sangeeta D., Gohel, Bhavtosh Kikani, Rushit Shukla, Amit Sharma, Kruti Dangar (2013). Actinomycetes from marine habitats and their enzymatic potential. *Biocatalytic Characteristics and Bioprocesses of Marine Enzymes* 2016; pp.191-214.

Servant-Vildary S. Les Diatomées des sédiments superficiels de quelques lacs salés de Bolivie. *Sciences Géologiques Bulletin* 1983 ; 36: 249-253.

Schuyt, KD. Economic consequences of wetland degradation for local populations in Africa. *Ecological Economics* 2005; 53(2):177-190.

Schulz, E., Abichou, A., Hachicha, T., Pomel, S., Salzmann, U., Zouari, K. Sebchas as ecological archives and the vegetation and landscape history of southeastern Tunisia during the last two millennia. *Journal of African Earth Sciences* 2002; 34: 223-229.

Silvertown, J., Poulton, P., Johnston, E., Edwards, G., Heard, M., Biss, PM. The Park Grass Experiment 1856-2006: its contribution to ecology. *Journal of Ecology* 2006; 94, (4), pp. 801-814, 14 p.

Stone O.R. A desert glossary. *Earth- Science Reviews* 1967; 3: 211-268.

SudhaSrikesavan, S., Selvam, MM. Actinomycetes From Marine Sediment: Screening For Cytotoxicity, Identification and Analysis Of Bioactive Constituents By Gas Chromatography-Mass Spectrometry. International Conference on Bioscience, Biotechnology and Healthcare Sciences, 2012 Singapour.

Sun, T., LAI, H., SUO, Y. Screening of Antagonistic Actinomycetes against Animal Pathogen from Salty Environments and Optimizing of Fermentation Conditions. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica* 42. 2010.

Sveta, V. Jagannathan, Erika, M. Manemann, Sarah, E. Rowe, Maiya C. Callender, and William Soto (2021). Marine actinomycetes, new Sources of Biotechnological products. *Mar Drugs*. 2021; 19(7): 365.

Timms, B.V. Salt lakes in Australia: present problems and prognosis for the future. *Hydrobiologia* 2005 ; 552: 1-15.

Vijayakumar, K., Panneerselvam, C., Muthukumar, N., Thajuddin, A., Panneerselvam, and Saravanamuthu, R. Optimization of Antimicrobial Production by a Marine Actinomycete *Streptomyces afghaniensis* VPTS3-1 Isolated from Palk Strait, East Coast of India. *Indian J Microbiol*. 2012; 52(2): 230-239.

Waksman, S. A. Vol. II. The actinomycetes. Classification, Identification and Description of Genera and Species. 1961 pp.ix+363 pp.

Ward, A.C., Bora, N. Diversity and biogeography of marine Actinobacteria. *Current Opinion in Microbiology* 2006; 9:279-286.

Williams W.D. Environmental threats to salt lakes and the likely status of inland saline ecosystems in 2025. *Environmental Conservation* 2002; 29: 154-167.

Williams W.D. Anthropogenic salinisation of inland waters. *Hydrobiologia* 2001; 466: 329-337.

Williams P.G. Panning for chemical gold: marine bacteria as a source of new therapeutics *Trends Biotechnol* 2009; 27 (1): 45-52.

Williams W.D. Salinity as a determinant of the structure of biological communities in salt lakes. *Hydrobiologia* 1998; 381: 191-201.

Williams W.D., 1996. What future saline lakes? *Environment* 1996 ; 38: 12-20, 38-39.

Yu, M., Li, Y., Banakar, S.P., Liu, L., Shao, C., Li, Z., Wang, C., 2019. New Metabolites From the Co-culture of Marine-Derived Actinomycete *Streptomyces rochei* MB037 and 158 Fungus *Rhinochrysiella similis* 35. *Front Microbiol.* 2019;10:915.

Xiao, Y., Wei, X., Ebright, R., Wall, D. Antibiotic production by myxobacteria plays a role in predation. *Journal of Bacteriology* 2011; 193: 4626–4633.

Zerizer H. Les genres d'actinomycètes (hors mycobactéries) impliqués dans les infections dans la région de Constantine. Thèse de Doctorat en Sciences en Biochimie et Microbiologie Appliquées 2014. Université Constantine 1. p 11.

Zhang, H., Zhang, W., Jin, Y., Jin, M., Yu, X. A comparative study on the phylogenetic diversity of culturable Actinobacteria isolated from five marine sponge species. *Antonie Van Leeuwenhoek* 2008; 93:241-248.

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

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : *Biologie moléculaire des microorganismes*

Titre : Contribution à l'étude de la biodiversité métabolique et microbienne des actinobactéries provenant des écosystèmes marins

Résumé : Les actinobactéries sont un taxon présentant une énorme diversité génétique et fonctionnelle. Ces microorganismes offrent une diversité incroyable de métabolites primaires et secondaires qui peuvent être utilisés dans des applications médicales, environnementales, industrielles et autre. Les écosystèmes telluriques ont été largement explorés et sont considéré comme une source presque totalement épuisés en actinomycètes cultivables. Les chercheurs se dirigent vers d'autres écosystèmes inexplorés, afin de tomber sur d'autres biomolécules inconnus. Les biotopes marins et salins sont considérés comme une source très mal patrouillée depuis de longues années. Dernièrement, Ces écosystèmes ont été largement explorés et sillonnés afin d'enrichir l'arsenal en nouvelles molécules. Cette recherche bibliographique tente de synthétiser les travaux effectués dans ce domaine. Les résultats montrent clairement que ces sites sont aussi une source de biomolécules divers. Comme les nouveaux antibactériens, des agents antifongiques, des agents anticancéreux et autres molécules très intéressantes. Le potentiel enzymatique des actinomycètes isolés à partir de ces eaux salines trouve beaucoup d'applications dans le domaine environnemental, en particulier dans la bioremédiation, la biodégradation des différents polluants. D'autres applications incluent leurs emplois dans l'agriculture en tant que agents PGPR. La liste des recherches relatées dans ce mémoire, est sûrement non exhaustive, car il est raisonnable de supposer que l'utilisation des actinomycètes marins continuera d'augmenter.

Mot clés : Actinobactéries, métabolites secondaires, biodiversité, milieux marins

Membre du jury :

Président du jury : BENHIZIA Yacine. (Pr. UFM Constantine 1).

Rapporteur : BOUDEMAGH Allaoueddine. (Pr. UFM Constantine 1).

Examineur: HAMIDECHI Mohamed.Abdelhafid. (Pr. UFM Constantine 1)

**Présenté par : BENBAKIR Lamis
KHIRI Narimene**

Année universitaire : 2020-2021