

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 :

**Actinobactéries provenant à partir des sols arides et
semi-arides : Une source importante d'enzymes.**

Présenté par : Bouaouini Roumeysa
Charef Meryem
Fatmi Nour El Houda

Le 24/06/2022

Jury d'évaluation :

Encadreur : Mr Boudemagh Allaoueddine (Pr. 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).

Année universitaire
2021 - 2022

Remerciement

Elhamdoulilah

Avant toute chose, nous remercions tout d'abord, «Allah» qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour achever notre travail et aboutir enfin à notre objectif malgré les obstacles que nous avons rencontrés.

Nous tenons à remercier les plus sincères notre encadrant, **le professeur Boudmagh Allaoueddine** pour le temps qu'il a donné pour nous, pour nous avoir orienté, aidé, pour sa disponibilité et l'accueil chaleureux qu'il nous a réservé malgré ses occupations, merci pour vos conseils qui ont à un grande apport pour la réalisation de ce travail.

Nous remercions par ailleurs les membres du jury **Mme Zermane et Mme Lifa** de nous avoir fait l'honneur de présider et de juger notre travail.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*À mon cher père « **Maamar** »*

*Pour sa présence et son exemple, pour les sacrifices, l'amour inlassable et pour
devenir ce que je suis aujourd'hui.*

*À ma très chère mère « **Houda** »*

*Les mots me trahissent pour exprimer l'immense amour que je vous porte. Cette
source de tendresse et de générosité qui était toujours à mes côtés, qui fait tout
pour ma réussite.*

*À mon grand père « **Mohammed** »*

*À mes chers grands parents « **Haddad Ibrahim** et **Boufeligha
Nouara** »*

*À mon frère « **AbdeRaouf** » et ma sœur « **Aya** ».*

À tout membre de ma famille

*À ma cousine « **Safa** » et le petit « **Anes** »*

*À mes belles « **Maïssa, Ines, Nouha** »*

À mon trinôme

À tous ceux qui me donnent l'aide de près ou de loin...

Roumeyssa

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*À mon cher père **Ammar***

*Qui m'a toujours soutenu et qui m'a assez fait leur courage et leur confiance
pour me continuer mes études.*

*À mon adorable mère **Nadia***

*La plus belle créature que dieu a créée sur terre, qui était la source de
tendresse, de patience, de encouragement, des amours et de générosité, qui était
toujours à mes côtés surtout dans les moments difficiles dans ma vie.*

*À mon très cher frère **Abdelwahab***

Qui a été et il sera toujours mon plus grand soutien dans cette vie.

*À mes chères et adorables sœurs **Assala, Khadidja, Hayat, safa et
merwa.***

*À mon cher **grand-père** et ma chère **grand-mère***

Que dieu la repose et la mette au paradis.

À tous ma famille. A tous mes amies.

*À mes chéries **Nour et Roumeyssa.***

Meryem

Dédicace

Je dédie ce travail à la source de tendresse que sont mes Très chers parents

Mohamed** et **Yamina

Qui m'ont fourni au quotidien un soutien et une confiance sans faille.

Tout en étant convaincue que mon succès est une récompense pour tous leurs

Sacrifices, qu'ils trouvent ici l'expression de ma plus profonde gratitude.

*À mes frères **Oussama** et **NedjmeEdine***

*À mes sœurs **Amani**, **Nada** et **Chems***

*À ma cousine **Hanan** et sa fille **Maïss***

À toute ma famille

À mon trinôme

A mes chères amies

À tous qui me connaissent de près ou de loin

Merci à tous

Nour Elhouda

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Dédicace

Dédicace

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

Chapitre I : Le sol des zones arides

1. Généralité sur le sol.....	3
2. Microflore du sol.....	3
2.1. Champignons.....	3
2.2. Bactéries.....	4
2.3. Algues.....	4
2.4. Protozoaires.....	4
2.5. Actinomycètes.....	5
3. Aridité et zones arides.....	5
4. L'indice d'aridité.....	6
5. Caractéristiques des différentes zones arides.....	6
5.1. La zone aride.....	6
5.2. La zone semi-aride.....	6
5.3. La zone hyper-aride.....	7
5.4. La zone subhumide.....	7
6. Spécificités des zones arides.....	7
7. Causes et conséquences de l'aridité.....	8
8. Les avantages et les menaces des sols arides.....	8
8.1. Avantage des terres arides.....	8
8.2. Les menaces pesant sur les milieux arides.....	8
9. Facteurs influençant l'activité des microorganismes du sol.....	9
9.1. Facteurs physiques.....	9
9.1.1. Texture du sol.....	9

9.1.2. Structure du sol	10
9.2. Facteurs climatiques	10
9.2.1. Température	10
9.2.2. Humidité	11
9.2.3. Le vent	11
9.2.4. Influence des saisons.....	11
9.3. Facteurs chimiques	11
9.3.1. Le pH	11
9.3.2. Salinité du sol.....	12
9.3.3. Azote du sol	12
9.3.4. Capacité d'échange cationique (CEC)	12

Chapitre II: L'essentiel sur les actinobactéries

1. Historique	13
2. Définition des actinomycètes	13
3. Taxonomie des actinobactéries	14
3.1. Systématique des actinomycètes	14
4. Critères d'identification et de classification des actinobactéries	17
4.1. Critères morphologiques des actinobactéries	17
4.1.1. Critères culturelles ou macromorphologiques	18
4.1.1.1. Mycélium aérien	18
4.1.1.2. Mycélium de substrat.....	19
4.1.2. Critères micro-morphologiques	19
4.2. Critères chimiques (chimio taxonomiques).....	21
4.2.1. Les acides aminés	22
4.2.2. Les glucides(les sucres)	23
4.2.3. Les lipides	23
4.2.4. Les acides gras	24
4.3. Critères physiologiques et taxonomie numérique	24
4.3.1. Oxygène	24
4.3.2. Température	24
4.3.3. Le pH	24
4.3.4. Tolérance pour NaCl.....	25
4.4. Critères moléculaires	25
4.4.1. Le séquençage de l'ADN ribosomique 16S.....	25

4.4.2. Hybridation ADN-ADN.....	26
4.4.3. Détermination du pourcentage de G+C	26
5. Méthodes d'isolement des actinomycètes	27
6. Ecologie des actinobactéries	29
7. Cycle de développement des actinobactéries	31
8. Métabolisme des actinobactéries.....	32
9. Importance des actinomycètes dans les différents domaines	32
9.1. Importance dans le domaine de la biotechnologique.....	33
9.2. Importance en domaine médicale et vétérinaire	33
9.3. Importance dans le domaine agronomique	34
 Chapitre III: Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes	
1. Définition des enzymes	35
2. Classification.....	35
3. Enzymes synthétisées par les actinomycètes des sols arides et semi-arides.	35
3.1. Cellulases.....	36
3.1.1. Mécanismes d'action des cellulases.....	36
3.1.2. Application des cellulases	37
3.2. Protéases	42
3.3. Chitinases.....	46
3.3.1. Application des chitinases.....	46
3.4. Les amylases.....	48
3.4.1. Mode d'action des amylases	49
3.4.2. Application des amylases.....	50
3.5. Lipases	52
3.5.1. Application des lipases	53
3.6. Xylanases.....	54
3.6.1. Application des xylanases	54
3.7. Kératinases.....	58
3.7.1. Mode d'action des kératinases	58
3.7.2. Application des kératinases.....	58
3.8. Pectinases.....	59
3.8.1. Application de pectinases.....	59
Discussion générale	62

Conclusion et perspectives	64
Les références bibliographiques	65
Les annexes	
Résumé	
الملخص	
Abstract	

Listes des figures

Figure 01. Triangle des textures minérales	10
Figure 02. Arbre phylogénétique basé sur le génome basé sur 97 séquences génomiques du phylum Actinobacteria	16
Figure 03. Colonie d'actinobactérie poussant sur gélose (morphologie commune des actinomycètes, coupe transversale d'une colonie d'actinobactéries montrant le mycélium du substrat et le mycélium aérien avec des chaînes de conidiospores).....	17
Figure 04. Actinobactéries isolées sur la plaque de gélose à la caséine d'amidon (a, c Vue de plaque des isolats d'actinomycètes. b, d Morphologies des colonies individuelles)	18
Figure 05. Croissance d'un isolat d'actinobactérie sur le milieu gélosé à l'amidon et la caséine. a. mycélium aérien b. mycélium de substrat.....	19
Figure 06. Schémas des différents types de chaînes de spores produits par les actinomycète	20
Figure 07. Type de structure porteuse de spores chez les streptomycètes	21
Figure 08. Application biotechnologiques des actinomycètes	32
Figure 09. Schéma d'hydrolyse la cellulase	37
Figure10. Différentes applications industrielles des enzymes chitinolytiques.....	47
Figure 11. Mode d'action de l'alpha-amylase.....	49
Figure 12. Mécanismes d'action des enzymes amylolytiques.....	50
Figure 13. L'application des kératinases dans différents domaines	59

Liste des tableaux

Tableau 01. Classes, ordres et familles du phylum Actinobacteria	14
Tableau 02. Marqueurs chimiotaxonomiques appliqués à l'approche polyphasique des actinobactéries	22
Tableau 03. GC % de quelques genres d'actinomycètes	27
Tableau 04. Quelques méthodes d'isolement d'actinomycètes à partir du sol	27
Tableau 05. Effet de prétraitements pour la récupération des actinomycètes	28
Tableau 06. Influence de trois milieux d'isolement sur le nombre d'actinomycètes à partir d'un sol aride	29
Tableau 07. Répartition des actinomycètes dans la nature.....	29
Tableau 08. Importance médicale de certains antibiotiques produits par le genre Streptomyces et leur maladie ciblée.....	34
Tableau 09. Différentes classes d'enzymes	35
Tableau10. Applications des cellulases dans divers industries	38
Tableau 11. Enzymes produites par des actinomycètes provenant des systèmes arides et leurs caractéristiques et applications	60

Liste des abréviations

AIA : Isolement des anaérobies

ARNr16s : Acide Ribonucléique codant pour la sous unité ribosomique 16S

CEC : Capacité d'échange cationique

CMC : Carboxyle Méthyle Cellulose

CMCase : Carboxyle Méthyl cellulase

CMS: Cellulose medium salt

CSPY-ME : Caséine amidon peptone extrait de levure gélose à l'extrait de malt

DAP : Acide diaminopimélique

EC : Commission des Enzymes

ETP : Evapotranspiration potentielle annuelle moyenne

IA : Indice d'aridité

ISP-2 : Gélose d'extrait de malt de levure du projet international Streptomyces

ME : Extrait de malt

P : précipitation

PH : Potentiel d'hydrogène

P/V : poids/volume

Rpm : Révolution Per Minute

SA : Streptomyces agar

SARM : Staphylococcus aureus Méthicilline Résistant

SCA : Amidon caséine

SERS : Station environnementale de Sakaerat

T1/2 : Temps de demi-vie

TLC: Thin layer chromatography

VIH: Virus immunodéficience Humain

V/V : Volume de soluté/ volume de solution

Introduction

Introduction

Le sol est une matrice écologique vivante évolutive dans le temps et dans l'espace. Dans cet écosystème vit une communauté microbienne inépuisable. Ces microorganismes produisent plusieurs composés naturels biologiquement actifs (**Ganesh *et al.*, 2010**). Les actinobactéries autrefois appelés actinomycètes, sont parmi les microbes qui présentent un intérêt biotechnologique très important dans divers domaines.

Jusqu'à la fin des années 1940, les actinobactéries n'étaient pas considérées comme des microorganismes très intéressants du point de vue pratique. Cependant, après avoir découvert la streptomycine en 1943, l'intérêt pour ces organismes grandit spectaculairement dans le domaine pharmaceutique, médicale, vétérinaire, agricole et écologique (**Boukahili *et al.*, 2020**).

Les actinobactéries sont des bactéries à Gram positif dont le GC% est compris entre 60-70% (**Pelmont, 2005**). La majorité de ces bactéries forment des filaments minces et ramifiés. Elles ont une croissance lente par rapport aux autres bactéries, avec un temps de génération moyen d'environ 2 à 3 heures (**Beckers, 1982**).

Ces bactéries sont réputées pour la production des substances à visé thérapeutique employées en médecine humaine et en industrie pharmaceutique comme les antibiotiques (**Patel *et al.*, 2014**). D'autres molécules bioactives sont également sécrétées par les actinobactéries, comme les vitamines, les immunosuppresseurs, les enzymes et bien d'autres.

Dans le domaine des enzymes, les actinobactéries sont riches et considérées comme étant d'excellents producteurs de ces molécules très importantes. Les applications sont multiples et variées. Elles ont trouvées une attention dans la décomposition des macromolécules végétales, dans l'industrie des textiles (décoloration de jeans), dans la décontamination (attaque des substances phénoliques), dans l'industrie alimentaire (boulangerie) (**Sanglier *et al.*, 1993**). Ces bio-molécules se classent dans plusieurs catégories telles que : les protéases, les lipases, les cellulases, les amylases, les pectinases, les chitinases, les kératinases et les xylanases.

Les actinobactéries sont généralement trouvés dans plusieurs écosystèmes. Ce sont principalement les sols agricoles, forestier, de prairie etc., qui sont les plus explorés. Dans notre

Introduction

recherche bibliographique, nous nous sommes intéressés aux travaux qui concernent des écosystèmes mal explorés qui sont les sols arides et semi-arides.

Notre manuscrit s'articule sur 3 chapitres principaux. Le premier concerne le sol des zones arides et semi-arides. Dans ce chapitre, des généralités et la composition microbienne de ce sol sont décrits. Le deuxième chapitre est dédié aux principales données sur les actinomycètes. En fin, le troisième chapitre sera consacré à une recherche bibliographique, sur les principales enzymes secrétées par les actinobactéries des sols arides et semi-arides. Il est certain que notre recherche bibliographique restera une synthèse pas totalement complète et exhaustive. Des omissions peuvent être trouvées dans notre manuscrit, mais ceci laisse le chemin ouvert à d'autres synthèses dans ce domaine.

Chapitre I:

Le sol des zones

arides

1. Généralité sur le sol

Le sol est un milieu vivant avec diverses fonctions environnementales. Il représente également un bioréacteur, qui maintient le développement et la diversité des êtres vivants. La présence de microorganismes a été évaluée plus importante que celle des écosystèmes aquatiques.

Le sol est un milieu poreux, contenant une phase liquide et une phase gazeuse susceptible de se déplacer et donc de donner le lieu à des flux de matière (**Samuel, 2012**). Il est variable dans l'espace, dont la composition et les caractéristiques présentent un double variabilité, à la fois spatiale et temporelle. La variabilité spatiale du sol se manifeste dans les trois dimensions de l'espace. Elle se traduit verticalement par la présence de couches plus ou moins épaisses, appelées «horizons», et latéralement par l'existence de sols différents (**Bousnina et Ghedeir, 2020**).

Dans les écosystèmes terrestres, la végétation joue un rôle fondamental dans la formation des sols. Son action s'exerce sur les particules de roche en les faisant éclater. Cette action permet un enrichissement du sol par des matières organiques provenant de ses parties aériennes et souterraines. Les nutriments recyclés par les microbes sont apportent également une autre source. Chaque type de climat et de sol possède une communauté microbienne spécifiquement adaptée (**Prescott et al., 2003**).

2. Microflore du sol

Le sol constitue l'un des milieux les plus diversifiés sur la terre. Il est cependant, l'un des plus mal connus du point de vue biodiversité. Plusieurs milliers d'espèces d'animaux et de microorganismes vivent dans les sols. Les microorganismes comme les actinomycètes, les bactéries, les champignons et les algues unicellulaires, peuvent représenter jusqu'à 90% en masse des organismes vivants rencontrés dans le sol. Ils sont impliqués dans la plupart des fonctions clés du système tellurique (**Henri et al., 1969**).

2.1. Champignons

Les champignons du sol peuvent être des champignons supérieurs (basidiomycètes et ascomycètes), des levures ou des champignons inférieurs classés comme moisissures (*Penicillium, Aspergillus, Fusarium, Trichoderma, Mucor*, etc.). Ils sont hétérotrophes et leur nombre varie de 10^5 à 10^6 cellules/g de sol (**Maier et al., 2000**). Leur importance dans la fertilité des sols est avérée et très importante. Ils ne constituent pas les microorganismes les plus

Le sol des zones arides

abondants du sol. Ils représentent les deux tiers de la biomasse microbienne (**Bourguignon et Bourguignon, 2015**).

2.2. Bactéries

Les bactéries sont des organismes procaryotes unicellulaire, très variés et très nombreux. Ils sont très diverses dans leur taille qui varie entre 1 et 2 μm et dans leur formes (**Xavier et Laurence, 1997; Jaune, 2011**),

Les bactéries vivent dans tout type de sol. Elles sont capables de transformer toutes les substances du sol et de les faire entrer dans le monde vivant à cause de leur extraordinaire variabilité biochimique. (**Bourguignon et Bourguignon, 2015**).

2.3. Algues

Les algues microscopiques sont un groupe hétérogène d'organismes, selon leurs tailles, leurs habitats et leurs modes de reproduction. Ils sont généralement abondants dans le sol, mais restent localisées à sa surface ou dans des larges fissures a cause de leur aptitude à vivre par photosynthèse, en utilisant la lumière de soleil comme source d'énergie. (**Henri, 1969; Xavier et Laurence, 1997**).

Trois groupes taxonomiques eucaryotiques les représentes: les algues verts (chlorophycées), les algues jaunes-vertes (xanthophycées) et les diatomées (bacillario-phyccées) (**Gobat et al., 2010**). Pendant les périodes où le sol est humide, leur activité est limitée. Malgré leur faible nombre, elles jouent un rôle important comme source de matière organique et comme fixatrices d'azote en symbiose avec les algues bleues (**Bourguignon et Bourguignon, 2015**). Les algues bleu vert ou bien cyanobactéries, sont des bactéries photosynthétiques, qui utilisent l'énergie solaire comme les plantes pour synthétiser leurs molécules organiques. Leur photosynthèse, comme celle des plantes, produit de l'oxygène moléculaire (molécule d'oxygène O_2), contrairement aux autres bactéries photosynthétiques (bactéries vertes et rhodobactéries) qui utilisent du soufre à la place de l'eau (**Blais, 2002**).

Ce groupe microbien physiologiquement et écologiquement diversifié a survécu et s'est adapté à une série de changements géochimiques qui ont marqué l'évolution de la biosphère terrestre (**Boutray, 2017**).

2.4. Protozoaires

La distribution des protozoaires est large dans la nature. Ce sont les premières formes d'animaux les moins évoluées. Ils sont des organismes très diversifiés dans leur morphologie, leurs dimensions, leur structure et leurs fonctions. Les protozoaires sont considérés comme des formes dérivées de certaines espèces d'algues unicellulaires qui auraient perdu leur capacité de photosynthèse. Elles sont caractérisées par leur forme unicellulaire et la mobilité de la plupart

Le sol des zones arides

d'entre eux (**Dommergues et Mangenot, 1970**). Ils sont largement répandus dans la nature, la plupart des formes sont aquatiques, d'autres vivent dans le sol. D'autres peuvent se développer sur un autre organisme vivant. Ce sont donc des parasites qui peuvent être utiles (symbiose), nuisibles ou indifférents à leur hôte (**Henri, 1969**).

2.5. Actinomycètes

Les actinomycètes sont généralement des bactéries filamenteuses, ramifiées, formant des colonies circulaires constituées d'hyphes, qui rayonnent par croissance centrifuge tout autour du centre de développement. Ils sont localisés intermédiairement entre les champignons et les bactéries. Avec leur capacité à sécréter des antibiotiques, ils sont susceptibles de subir de nombreuses réactions biochimiques et synthétiser de nombreuses molécules bioactives (**Bourguignon et Bourguignon, 2015**).

Les actinobactéries préfèrent un pH près de la neutralité de 6 à 7,5 (**Soltner, 2005**), et sont largement distribués dans la nature. On les retrouve dans le sol, l'air, les eaux douces, les eaux de mer, les composts, les débris végétaux, le pollen, les plantes mellifères, les lichens et plusieurs autres substrats (**Henri, 1969; Goodfellow and Williams, 1983**).

Une synthèse réalisée tout récemment, montre que les sols arides présentent une plus grande abondance d'actinobactéries et une plus faible abondance de protéobactéries, de cyanobactéries et de planctomycètes, par rapport aux microbiomes des sols non arides (**Javiera et al., 2020**).

3. Aridité et zones arides

L'aridité est un phénomène qui définit un climat sec et chaud. Ou comme étant un climat caractérisé par la faiblesse des précipitations annuelles (**Berkal, 2006**). Elle se traduit par le manque d'eau dans les sols et de l'humidité dans l'air. L'aridité est composé de plusieurs facteurs qui renfermant une influence très importantes sur les communautés microbiennes des sols désertiques (**Wang, 2015**).

La convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification, définit les zones arides comme des «zones, à l'exclusion des zones arctiques et subarctiques, dans lesquelles le rapport entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration possible [l'indice d'aridité] se situe dans une fourchette allant de 0,05 à 0,65». Les zones arides et semi-arides remplis presque 30% des terres de la planète (**Gratzfeld, 2004**).

Les zones arides et semi-arides se différencient par la présence des sels solubles, carbonate et gypse. En générale ces sels constituent les traits caractéristiques des zones arides (**Tir, 2007**).

Le sol des zones arides

Les sols des zones arides sont caractérisés par une évolution lente, une matière organique fortement évoluée, une structure faiblement définie et en générale présence des croutes calcaires, gypseuses et une humidité faible qui limitent leurs réactions chimiques et physiques (**Tir, 2007**).

4. L'indice d'aridité

L'indice d'aridité (IA) est un indicateur quantitatif du degré de sécheresse de climat dans un endroit donné. Il est utilisé pour mesurer la qualité du climat et montré le déficit annuel entre la quantité des précipitations reçue (P) par rapport à la demande évaporatoire de l'atmosphère (ETP). Ce qui signifie que, plus l'indice est faible plus l'aridité est élevée (**Mokhtari et al., 2013**).

Il est défini comme suit :

$$IA = P / ETP$$

Où:

P : précipitation annuelle moyenne en mm ;

ETP: évapotranspiration potentielle annuelle moyenne en mm.

Cet indice permet de préciser trois types de zones arides : arides, semi-arides et hyperarides (**Rome, 1992**).

5. Caractéristiques des différentes zones arides

5.1. La zone aride

La zone aride est caractérisée par le pastoralisme et l'absence d'agriculture, sauf où il y a irrigation. La végétation indigène dans cette zone est rare. Il y a présence d'un couvert de graminées annuelles et durables. On rencontre aussi d'autres plantes herbacées ainsi que de buissons et de petits arbres. Les précipitations sont variables, avec des quantités annuelles qui varient de 100 à 300 millimètres. Cette zone a un indice d'aridité de 0,03-0,20.

5.2. La zone semi-aride

Les zones semi-arides ont un indice d'aridité qui varie entre 0,20-0,50. Elles peuvent supporter une agriculture pluviale avec des niveaux de production plus ou moins réguliers. La végétation indigène est représentée par plusieurs espèces comme : les graminées et plantes graminiformes, herbes non graminéennes et de petits buissons, arbrisseaux et arbres. La précipitation annuelle de cette zone varie de 300-600 à 700-800 millimètres, avec des pluies d'été de 200-250 qui atteignent 450-500 millimètres avec des pluies d'hiver.

Le sol des zones arides

5.3. La zone hyper-aride

Cette zone est pauvre en végétation, sauf quelques buissons dispersés. Elle a un indice d'aridité de 0,03. Elle est caractérisé par un pastoralisme nomade véritable est fréquemment pratiqué. Les précipitations sont faibles, avec des quantités qui dépassent rarement les 100 millimètres. Les pluies sont peu fréquentes et irrégulières, parfois inexistantes pendant longtemps, quelque fois durant des années.

5.4. La zone subhumide

Ce sont des régions où le climat est intermédiaire entre le semi-aride et l'humide. Les précipitations permettent une croissance dense d'herbes hautes ou courtes, mais pas de forêt.

Les zones subhumides qui comprennent les régions arides et semi-arides avec un indice d'aridité de 0.50-0.75 (**Rome, 1992**). Elles produisent des prairies, des savanes couvrant environ 47 % de la surface terrestre de la planète. La biodiversité dans les zones subhumides est bien adaptée aux conditions difficiles caractérisées par des précipitations irrégulières et dans de nombreux cas, à des températures élevées.

6. Spécificités des zones arides

Le domaine aride est resté pendant une longue période historique à l'abri des effets de la croissance économique, principalement à cause de l'isolement et de la rareté de l'eau. Les pressions anthropiques ne se sont développées que récemment. Depuis, le milieu du 20^{ème} siècle, la démographie, l'urbanisation, la pollution, les problèmes de l'eau, se font ressentir.

Les zones arides, semi-arides et subhumides non irriguées sont, en général, peu riches en espèces, mais abritent de nombreuses espèces indigènes, animales, végétales et microbiennes, Ayant élaboré des stratégies particulières pour s'adapter aux conditions environnementales extrêmes. Bien que la diversité soit fréquemment faible, le degré d'endémisme des zones arides peut être très élevé. Au cours des cent dernières années écoulées, la zone aride nord-africaine a vu disparaître un certain nombre d'espèces animales importantes comme l'autruche, l'oryx, la gazelle leptocère ou d'autres devenir excessivement rares comme le guépard l'addax ou la gazelle dama (**Mederbal, 2002**). La situation concernant les microorganismes reste cependant mal connue.

Le sol des zones arides

7. Causes et conséquences de l'aridité

L'aridité est causée par la présence d'un air sec descendant. On la trouve surtout dans des places où les conditions anticycloniques sont permanentes, comme dans des lieux situés sous les anticyclones des zones subtropicales. L'effet des anticyclones subtropicaux sur les précipitations augmente avec la présence de surfaces froides. Les conditions arides se rencontrent également du côté sous le vent des grandes chaînes de montagne qui déstructurent les cyclones lorsqu'ils passent par-dessus elle, engendrent des effets "d'ombre" où la pluie ne tombe pas. Aussi, la présence de surfaces de terres fortement chauffées empêche également les précipitations (**Rome, 1992**).

Les conséquences de l'aridité les plus remarquables sont : l'appauvrissement généralisé des sols, la prolifération des espèces nuisibles au détriment des espèces utiles, la baisse de la fertilité, la stérilisation des sols, la dynamique dunaire importante par l'envahissement des infrastructures socio-économiques et tempête de sables fréquentes, conduisant ainsi à un exode rural de la population (**Mostephaoui et al., 2013**).

8. Les avantages et les menaces des sols arides

8.1. Avantage des terres arides

Les terres arides sont essentielles à la sécurité alimentaire et nutritionnelle de l'ensemble de la planète, en effet près de 44% des systèmes de production agricole du monde sont situés sur des terres arides.

Elles soutiennent également d'importants écosystèmes, allant des parcours et des pâturages à des zones semi-désertiques et abritent 1.1 milliard d'hectares de forêt.

Ces terres malgré la rareté relative de l'eau qui les caractérise, abritent une biodiversité unique d'animaux, de végétaux et de microorganismes.

Elles sont également importantes pour la régulation du climat selon l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire, l'ensemble des réserves de carbone organique et inorganique contenues dans le sol des terres arides, représentent respectivement 27% et 97% des réserves mondiales (**Kanayo, 2018**).

8.2. Les menaces pesant sur les milieux arides

Kanayo, 2018, présente les principales menaces pesant sur les milieux arides et semi-arides, ce sont les suivants :

- Les pratiques non durables d'utilisation des sols, qui conduisent à l'appauvrissement de la diversité biologique, à l'érosion, à la pollution et à la modification de la composition et de la fertilité des sols, telles que: conversion totale d'écosystèmes naturels en zones cultivées, à l'aide de procédés d'irrigation intensive et d'intrants chimiques.

Le sol des zones arides

- Le surpâturage: accroissement du nombre des troupeaux ou des effectifs des troupeaux, ou de la durée de présence du troupeau dans une parcelle en relation avec l'accroissement démographique de la population humaine et les conséquences de la sédentarisation.
- Le déboisement lié aux activités de défrichage et d'extension de périmètres agricoles ou à l'accès à une source de combustible; L'exploitation minière de métaux, de combustibles et d'eaux souterraines non planifiée et non respectueuse de l'environnement.
- L'introduction d'espèces exotiques envahissantes, animales et végétales, qui constitue une menace majeure pour les équilibres naturels.
- Sur l'exploitation directe des espèces sauvages, qui menace certains taxons, comme les mammifères et d'autres organismes.
- Une menace spécifique aux milieux désertiques est constituée par les impacts des véhicules hors routes sur la biodiversité.

9. Facteurs influençant l'activité des microorganismes du sol

9.1. Facteurs physiques

9.1.1. Texture du sol

La texture du sol c'est la répartition granulométrique des particules élémentaires du sol d'une manière qualitative (matériaux, sol grossier et rugueux ou fin et moelleux) et quantitative (proportion des divers tailles des particules) (**Gobat *et al.*, 2003; Girard *et al.*, 2005**). Il existe deux catégories qui sont :

- Un sol à texture fine ou légères les particules sont petites (<2 μm).
- Un sol à texture grossière ou lourde, les particules sont suffisamment grandes (entre 2 et 50 μm) (**Bousnina et Ghedeir, 2020**).

On peut classer les matériaux du sol selon la nature organique ou bien la nature minérale, et aussi selon le type d'altération (**Gobat *et al.*, 2003**). Chaque matériau est désigné par sa classe texturale déterminé sur la base des rapports de masse de trois fractions : sable, limon et argile (**Girard *et al.*, 2005**).

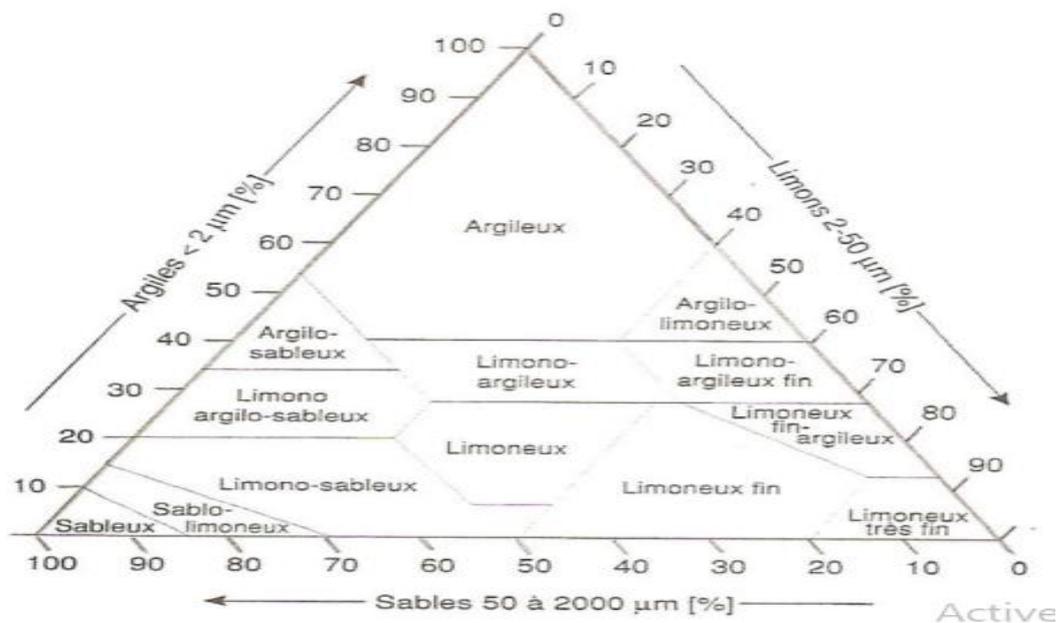


Figure 01. Triangle des textures minérales (Gobat *et al.*, 2010).

9.1.2. Structure du sol

La structure désigne un état du sol qui varie avec le temps selon la texture mais aussi selon le taux d'humidité, l'état des colloïdes et la présence de matière organique,... (Gobat *et al.*, 1998). La définition de la structure du sol, d'une part est principalement basée sur l'arrangement naturel des éléments constitutifs de la phase solide du sol, et d'autre part la direction de description du réseau d'agrégats généré par la structuration du sol. Dans tous les cas, l'analyse a été principalement basé sur des critères géométriques dont l'évolution a été faite par des méthodes non destructives (Musy *et al.*, 1991).

9.2. Facteurs climatiques

Le climat des régions aride ou des régions semi-aride est caractérisé par la faiblesse des précipitations, des températures extrêmement élevées et des vents qui contribuent à augmenter la très forte évaporation (Berkal, 2006). Parmi ces facteurs les plus importants sont :

9.2.1. Température

Les régions arides ont des températures élevées pendant la journée qui varie entre 50 °C et parfois ca atteint jusqu'à 65 °C, et faibles pendant la nuit. La température du sol est un facteur écologique très important affectant la multiplication et la l'activité des microorganismes dans ces régions (Bousnina et Ghedeir, 2020). Par exemple dans la couche superficielles du sol contenant des plantes, la température est très élèves ce qui entraine une perte du sol en raison de l'importance de l'évaporation et de la transpiration. Alors que les problèmes de basses températures sont généralement moins fréquents dans la zone aride, la croissance des végétaux

Le sol des zones arides

peut être limitée les plantes produisent pendant de longues périodes. Dans la température 0°C, les plantes peuvent mourir.

9.2.2. Humidité

Les sols secs ne présentent qu'une faible activité microbienne, mais lorsque l'humidité augmente l'activité des micro-organismes augmente progressivement jusqu'à un maximum puis diminue (**Morel, 1989**). Selon **Soltner, 2005**, l'excès d'eau entraîne une aération déficiente et détermine la sélection des germes. La rareté chronique d'eau entraîne également à la sélection, mais la microflore inhibée est nettement différente de celle de précédente. L'humidité de l'air est importante pour l'équilibre hydrique du sol. Lorsque le sol a une teneur en humidité est plus élevée que l'air, l'eau a tendance à s'évaporer dans l'air. Sinon, l'eau se condensera dans le sol. L'humidité est généralement plus faible dans les zones arides.

9.2.3. Le vent

Le vent peut être nuisible pour certaines cultures irriguées en pays secs. Le principal dommage causé par le vent est le fait d'emporter des particules de terre (**Dabin, 1970**).

9.2.4. Influence des saisons

La succession des saisons exerce un effet très important sur la microflore des sols. L'humidité et la température sont deux facteurs essentiels dont la combinaison oriente l'intensité saisonnière de l'activité microbienne (**Morel, 1989**). Les variations saisonnières de la microflore sont probablement dues en grande partie à des changements en qualité et quantité dans les apports nutritifs que constituent les feuilles et les branches mortes. Ainsi que les besoins en eau et la longueur de la période sèche sont des éléments essentiels de l'adaptation de la culture (**Dabin, 1970**).

9.3. Facteurs chimiques

9.3.1. Le pH

Le pH est défini comme le logarithme décimal de la concentration d'une solution en ion H⁺. Il permet d'approfondir les modalités d'interaction entre les ions et les surfaces absorbantes du sol (**Bousnina et Ghedeir, 2020**).

Généralement, le degré d'acidité du sol est un facteur qui limite la croissance et la multiplication des germes. Par exemple certains genres bactériens tels que les actinomycètes sont très sensibles aux variations du pH, ils se trouvent et sont favorisés dans des milieux proches de la neutralité, contrairement aux champignons qui préfèrent un pH bas (sol acides) (**Boullard et al., 1962**).

9.3.2. Salinité du sol

L'évolution de la microflore du sol est influencée par le taux de salinité. Les sels peuvent être transportés par capillarité d'une nappe d'eau chargée en sels à la surface du sol, où ils s'accumulent en raison de l'évaporation. L'augmentation des taux de sels, fait diminuer le nombre de micro-organisme (**Maameri, 2007**). L'effet des sols peut entraîner une dégradation des sols et de la végétation lorsque la salinité de sol augmente. Les sels les plus couramment utilisés sont des combinaisons de cations sodium, calcium, magnésium et potassium avec des anions chlorure, sulfate et carbonate.

. Les sels qui inhibent l'activité biologique entraînent des niveaux élevés de composés solubles dans l'eau hautement mobiles. (**Boullard et al., 1962**).

9.3.3. Azote du sol

Contrairement à la plupart des autres éléments présents dans le sol, l'azote ne provient jamais de l'altération des roches sur lesquelles se sont élaborés les sols au cours du temps. De plus, il est rarement absent du sol, mais il est généralement présent sous forme de matière organique brute ne peut être utilisée directement. L'azote est souvent le nutriment limitant dans le sol. C'est l'élément le plus important prélevé par les plantes dans le sol pour faire la croissance. Ces derniers peuvent utiliser l'azote sous la forme de cations ammonium (NH_4^+) ou d'anion nitrate (NO_3^-). Lorsqu'on ajoute l'azote dans le sol, ce dernier est destiné pour les microbes et non pour la plante. Il s'agit toujours de petites quantités (10-20 U/ha) (**Mirsal, 2004**).

9.3.4. Capacité d'échange cationique (CEC)

CEC est la capacité du fixer de façon réversible les cations échangeables (Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+}), à un pH donné. Elle est exprimée en centimoles hydrogène par kilogramme (100cmol /kg). Ce paramètre est utilisé comme mesure de la fertilité, de capacité de rétention des éléments nutritifs, et de capacité à protéger les eaux souterraines de la contamination par les cations. Ces derniers sont liés aux feuillettes d'argile par des forces de nature électrostatique pour assurent la liaison entre eux et possèdent la propriété d'être échangeables. L'intensité de ces liaisons dépend de la valence de ces cations, qui est probablement le facteur déterminant dans la capacité d'échange ou de remplacer facilement les cations plus faibles pour des cations plus élevés (**Calvet, 2003**).

Par ordre de capacité de remplacement croissante, les ions se classent comme suit :

$\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{H}^+ < \text{NH}_4^+ < \text{K}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Al}^{3+}$.

D'après cette série, le lithium est le plus facile à remplacer alors que l'aluminium est le plus difficile (**Calvet, 2003**).

Chapitre II :

**L'essentiel sur les
actinobactéries**

L'essentiel sur les actinobactéries

1. Historique

Les actinobactéries ont été isolés pour la première fois par Cohn en 1875 à partir des échantillons humains (**Williams *et al.*, 1984**). C'est en 1943 que Waksman a pu isoler un genre d'actinobactéries à partir du sol, des matières organiques en décomposition, des eaux, de presque tous les habitats où la vie est possible (**Theilleux, 1993**). Ce même auteur divise en quatre catégories, l'histoire des actinobactéries. La première, est celle de la découverte de leur rôle dans la pathologie et va de 1874 aux années 1890. La seconde période de 1900 à 1919 se rapporte à la mise en évidence et à l'étude des actinobactéries du sol, avec les travaux de Kraisky, de Cohn, de Waksman et de Curtis. Ensuite la période de 1919 à 1940 au cours de laquelle, une meilleure connaissance des germes a été acquise grâce aux recherches de Waksman, de Lieske de Krassilinkov. La dernière époque allant de 1940 à ce jour est celle des antibiotiques produits par les actinobactéries. C'est en 1940, après la découverte de l'actinomycine que ces bactéries sont devenues l'objet de nombreuses recherches. Ainsi, ces bactéries sont devenues les premiers fournisseurs des métabolites (**Donadio *et al.*, 2002**).

2. Définition des actinomycètes

Les actinomycètes, également reconnus sous le nom des *Actinobacteria* (**Perry *et al.*, 2004**), sont des bactéries dont la croissance donne lieu à des colonies circulaires et à une morphologie complexe (**Colombié, 2005**). Etymologiquement, le mot Actinomycètes a été dérivé des mots grecs « Aktis » qui veut dire rayon et « Mykes » qui veut dire champignon « Champignon à rayon » ou champignons rayonnants (**Lamari, 2006**).

Ces microorganismes ont été considérés comme un groupe intermédiaire entre bactérie et champignon. Actuellement, ils sont reconnus comme des organismes procaryotes. Pourtant, ces microorganismes présentent des similitudes à la fois avec les bactéries et avec les champignons (**Andriambololona, 2010**) et de l'allure mycosique des maladies qu'ils provoquent (**Gazenko *et al.*, 1981**). Elles sont constituées d'hyphes c'est-à-dire des filaments qui irradient par croissance centrifuge tout autour du germe qui leur a donné naissance (**Gottlieb, 1973**).

Les actinomycètes étaient classés dans l'ordre d'*Actinomycetales* (**Mariat et Sebald, 1990**) et ont un pourcentage de guanine-cytosine (G+C%) supérieur à 55%, généralement compris entre 60 et 75% (**Ensign, 1978**). Ils comprennent des formes peu évoluées comme le genre *Mycobacterium*, ou très évoluées comme le genre *Streptomyces* qui forme un véritable mycélium non fragmenté et sporulant.

L'essentiel sur les actinobactéries

3. Taxonomie des actinobactéries

3.1. Systématique des actinomycètes

Les actinomycètes sont classées dans le domaine *Bacteria* et le phylum *Actinobacteria* selon **Bergey's manual., 2012**. Le phylum *Actinobacteria* est subdivisé en 06 classes, 23 ordres, 53 familles et 222 genres (**Tab.01**) (**Ruan, 2013**).

Tableau 01. Classes, ordres et familles du phylum *Actinobacteria* (**Goodfellow et al., 2012**).

Classe	Ordre	Famille
<i>Actinobacteria</i>	<i>Actinomycetales</i>	<i>Actinomucetaceae</i>
	<i>Actinopolysporales</i>	<i>Actinopulysporaceae</i>
	<i>Bifidobacteriales</i>	<i>Bifidobacteriaceae</i>
	<i>Catenulisporales</i>	<i>Catenulisporaceae, Actinospicaceae</i>
	<i>Corynebacteriales</i>	<i>Corynebacteriaceae, Dietziaceae, Mycobacteriaceae, Nocardiaceae, Segniliparaceae Tsukamerullaceae</i>
	<i>Frankiales</i>	<i>Frankiaceae, Acidothermaceae, cryptosporandiaceae, Geodermatophilaceae, Nokamurellaceae</i>
	<i>Glycomycetales</i>	<i>Glycomycetaceae</i>
	<i>Jiangellales</i>	<i>Jiangellaceae</i>
	<i>Kineosporales</i>	<i>Kineosporaceae</i>
	<i>Micrococcales</i>	<i>Micrococcaceae, Beutenbergiaceae, Bogoriellaceae, Brevibacteriaceae, Cellulomonadaceae, Dermatophilaceae, Intrasporangiaceae, Jonesiaceae, Micobacteriaceae, promicomonosporaceae, Rarobacteriaceae, Ruaniaceae</i>

L'essentiel sur les actinobactéries

	<i>Micromonosporales</i>	<i>Micromonosporaceae</i>
	<i>Propionibacteriales</i>	<i>Propionibacteriaceae, Nocardioidaceae</i>
	<i>Pseudonocardiales</i>	<i>Pseudonocardaceae</i>
	<i>Streptomycetales</i>	<i>Streptomycetaceae</i>
	<i>Streptosporangiales</i>	<i>Streptosporangiaceae, Nacardiopceae, Thermomonosporaceae</i>
<i>Acidimicrobiia</i>	<i>Acidimicrobiales</i>	<i>Actinomicrobiaceae</i>
<i>Nitriliruptoria</i>	<i>Nitriliruptorales</i>	<i>Nitriliruptoraceae</i>
	<i>Euzebyales</i>	<i>Euzebyacea</i>
<i>Rubrobacteria</i>	<i>Rubrobacterales</i>	<i>Rubrobacteraceae</i>
<i>Thermophyilia</i>	<i>Thermophilales</i>	<i>Thermophilaceae</i>
	<i>Solirubrabacterales</i>	<i>Solirubrobacteraces Conexibacteraceae Patulibacteraceae</i>

L'essentiel sur les actinobactéries

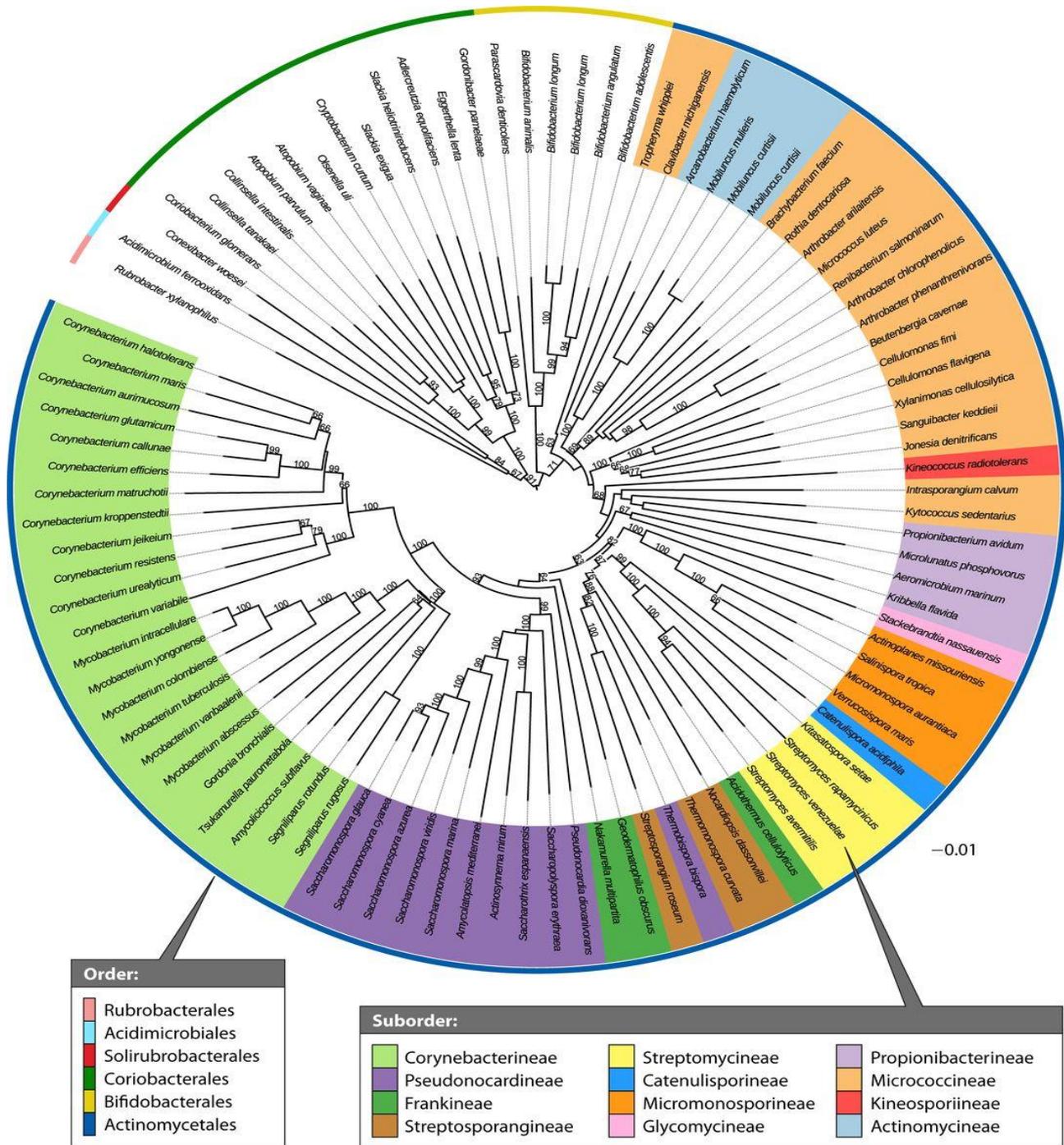


Figure 02. Arbre phylogénétique basé sur le génome basé sur 97 séquences génomiques du phylum *Actinobacteria* (Essaid, 2016).

4. Critères d'identification et de classification des actinobactéries

4.1. Critères morphologiques des actinobactéries

Les actinobactéries présentent la plus grande différenciation morphologique parmi les bactéries à Gram-positif. Cependant, la structure cellulaire des actinobactéries est typique des procaryotes et totalement différente de celle des champignons. Toute la structure d'une cellule hyphe correspond à l'organisation bactérienne : le cytoplasme contient des régions d'ADN génomique, des ribosomes et diverses inclusions, vrai semblablement des substances de réserve telles que des polyphosphates, des lipides ou des polysaccharides. Les actinobactéries classiques ont un mycélium radial bien développé. Selon la différence de morphologie et de fonction, le mycélium peut être divisé en mycélium de substrat et en mycélium aérien (Figure 01). Certaines actinobactéries peuvent former des structures complexes, telles que les spores, les chaînes de spores, les sporanges et les sporangiospores (**Qinyuan *et al.*, 2016**). Les modes de croissance et de fracture du mycélium de substrat, la position des spores, leur nombre, leur mobilité, les structures de surface des spores, leur disposition sur les hyphes et leurs formes, la forme des sporanges et le fait que les sporangiospores aient ou non des flagelles, sont autant de caractéristiques morphologiques importantes de la classification des actinobactéries (**Bousnina et Ghedeir, 2020**).

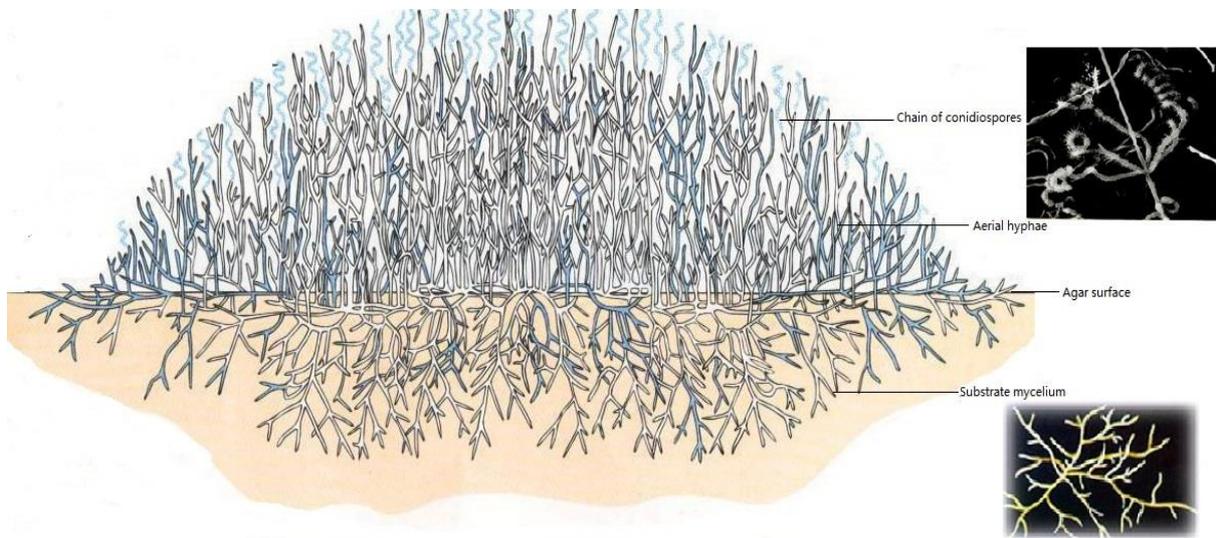


Figure 03. Colonie d'actinobactérie poussant sur gélose (morphologie commune des actinomycètes, coupe transversale d'une colonie d'actinobactéries montrant le mycélium du substrat et le mycélium aérien avec des chaînes de conidiospores) (**Qinyuan *et al.*, 2016**).

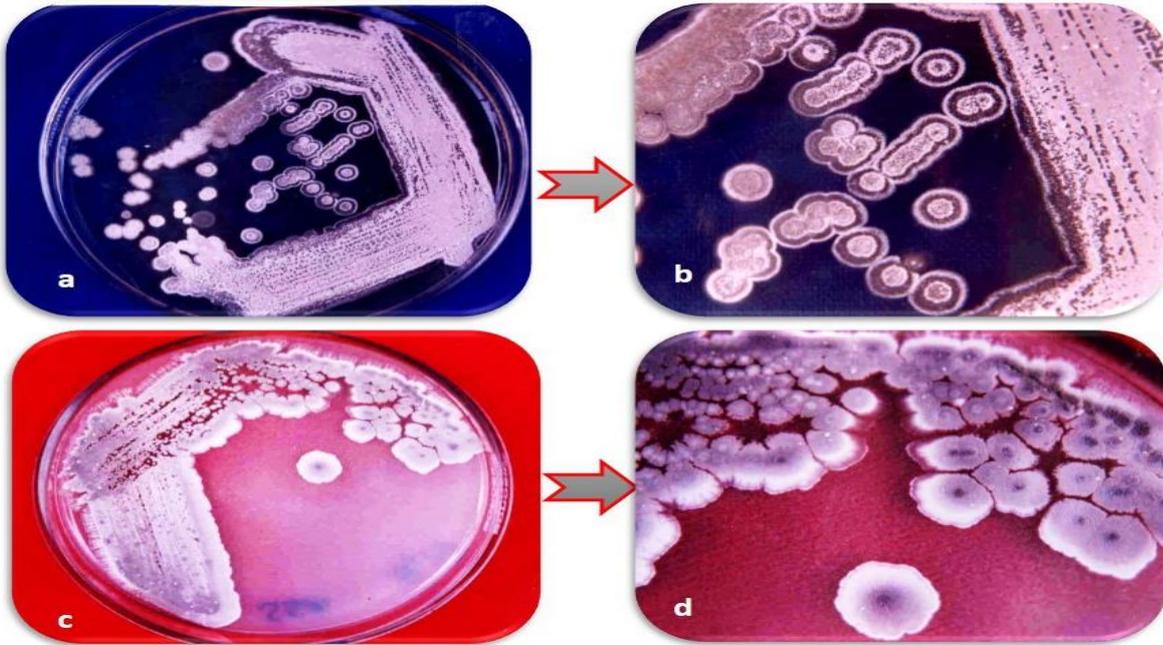


Figure 04. Actinobactéries isolées sur la plaque de gélose à la caséine d'amidon (a, c Vue de plaque des isolats d'actinomycètes. b, d Morphologies des colonies individuelles) (Anandan, 2016).

4.1.1. Critères culturelles ou macromorphologiques (Bouras *et al.*, 2008)

Les caractéristiques culturelles des actinobactéries sont déterminées sur différents milieux de culture. Il s'agit alors de noter :

- La présence ou l'absence de mycélium aérien (MA).
- La couleur du mycélium aérien (MA) et du mycélium du substrat (MS).
- La production et la couleur des pigments diffusibles.
- La production ou non de pigments mélanoides.

On utilise les cartes de couleurs pour déterminer la couleur de mycélium et des pigments.

4.1.1.1. Mycélium aérien

Les mycéliums aériens ou secondaires sont plus épais et moins ramifiés, généralement pigmenté en (gris, vert, rouge...). En revanche, le mycélium du substrat ou primaire qui est hydrophobe (Pine, 1970).

Le mycélium de substrat est aérobic facultatif. Par contre, le mycélium aérien est aérobic stricte. La production de ce dernier est influencée par plusieurs facteurs, notamment : la composition du milieu de croissance, la température d'incubation et la présence de composés stimulant spécifiquement le mycélium aérien (Kitouni, 2007).

L'essentiel sur les actinobactéries

Les mycéliums aériens ont montré une différenciation suffisante pour que, dans des conditions fixes, plusieurs isolats puissent être divisés en plusieurs groupes avec des caractéristiques morphologiques similaires. (Anandan *et al.*, 2016). Ceci est connu comme l'un des critères les plus importants pour la classification du genre *Streptomyces* en tant qu'espèce et comprend la structure (coton, veloutée ou poudreuse), la formation d'anneaux ou zones concentriques et de pigmentation. (Figure 5 a).

4.1.1.2. Mycélium de substrat

Connu sous le nom de mycélium végétatif des actinobactéries ou primaire. Ce dernier varie en taille, forme et épaisseur. Sa couleur va du blanc ou pratiquement incolore au jaune, marron, rouge, rose, orange, vert, bleu, violet ou noir (Anandan *et al.*, 2016). Certains hyphes peuvent produire des pigments soluble dans l'eau pouvant être filtré dans le milieu de culture et rendre ce dernier avec la couleur correspondante, on plus fournissent des références importantes pour déterminer des nouvelles espèces ou hydrosolubles (liposolubles) forment la colonie avec la couleur correspondante (Figure 5 b) (Qinyuan *et al.*, 2016).



Figure 05. Croissance d'un isolat d'actinobactérie sur le milieu gélosé à l'amidon et la caséine. **a.** mycélium aérien **b.** mycélium de substrat. (Anandan *et al.*, 2016).

4.1.2. Critères micro-morphologiques

Le caractéristique micro-morphologique des actinobactéries est réalisé par l'observation des colonies poussant sur les milieux gélosés et par des microscopes optiques ou électroniques. Les importantes critères micro-morphologiques présentés par (Bouras, 2008; Boudjella, 2007) sont :

L'essentiel sur les actinobactéries

- La fragmentation ou non du mycélium de substrat(MS).
- La formation des spores exogènes sur le mycélium aérien(MA) et/ou le mycélium du substrat; leur forme; leur taille et agencement (isolées ou en chaînes); la présence ou non de sporophores, la surface des spores (lisse, rugueuse, épineuse ou chevelue).
- La présence ou non de sporanges sur le mycélium aérien ou sur le mycélium du substrat ; la forme et la taille des sporanges ; le nombre de spores par sporange ainsi que la longueur des sporangiophores.
- La présence des spores mobiles (*Planomonospora*, *Planobispora*, *Spirillospora*, *Actinoplanes*) ou non mobiles (*Streptomyces*, *Streptosporangium*, *Micromonospora*, et autres genres.)
- La formation d'endospores (*Thermoactinomyces*) ou de structures spéciales comme les synnemata (*Actinosynnema*), les sclérotés,...

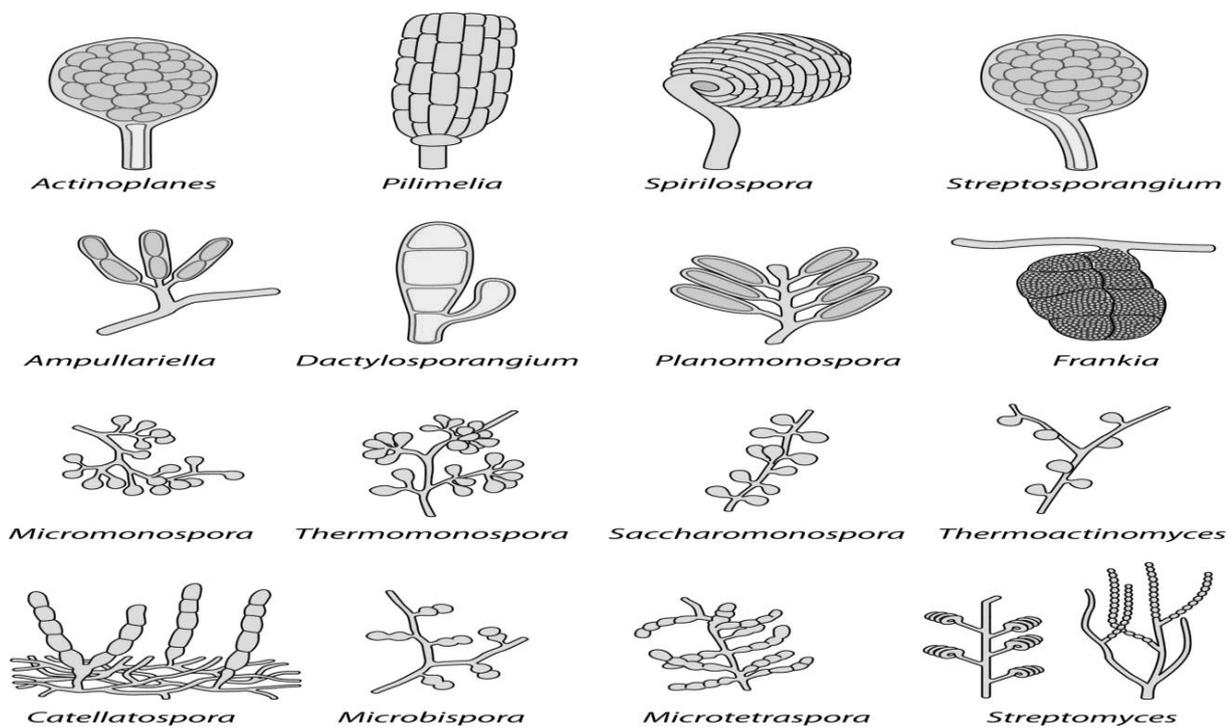


Figure 06. Schémas des différents types de chaînes de spores produits par les actinomycètes (Essaid *et al.*, 2016).

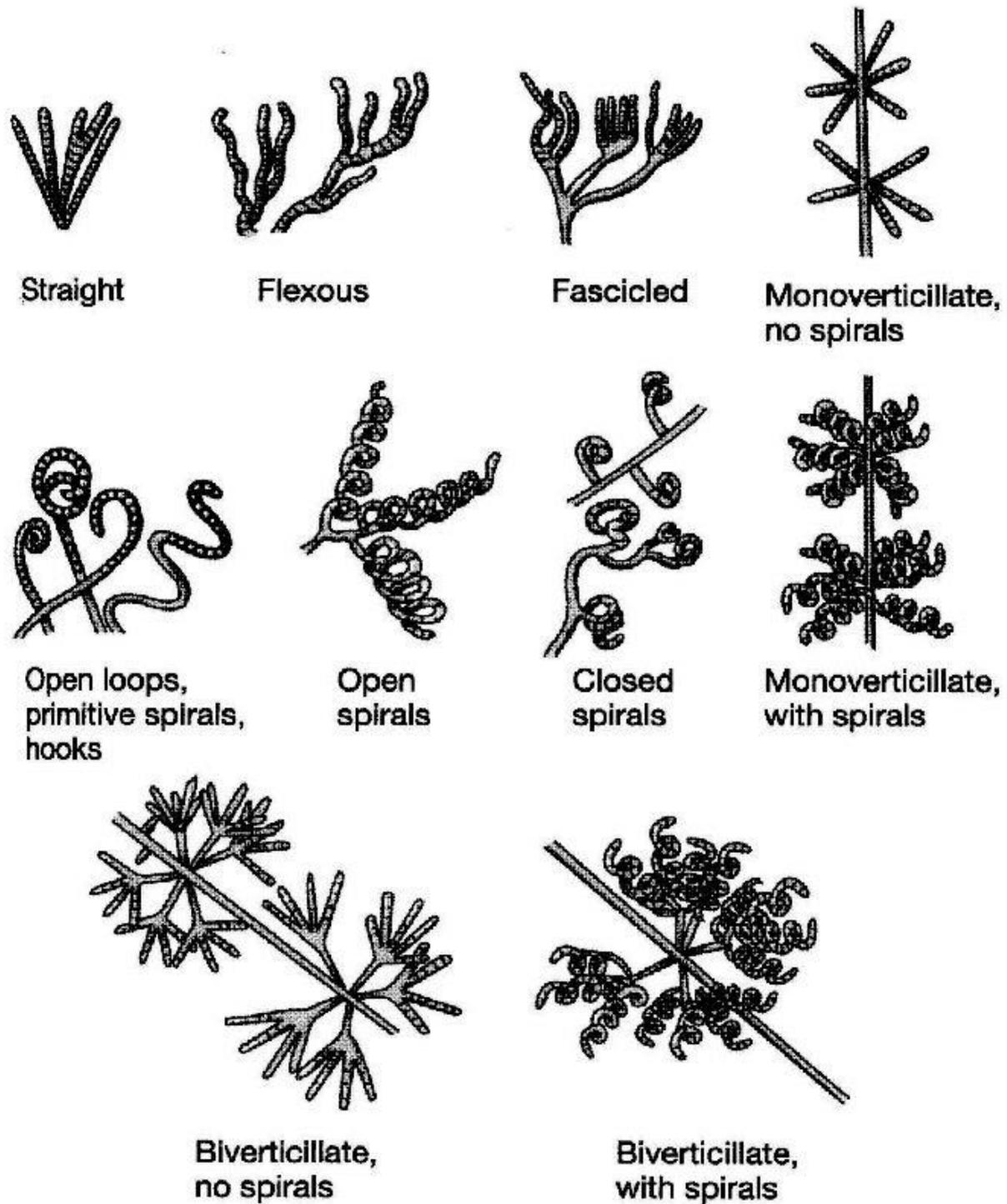


Figure 07. Type de structure porteuse de spores chez les *streptomyces* (Goodfellow *et al.*, 2012; Bergey's Manuel, 2012; Anandan *et al.*, 2016).

4.2. Critères chimiques (chimio taxonomiques)

La chimio taxonomie est un système de classification et d'identification basée sur des propriétés chimiques utilisé pour grouper, délimiter et différencier les microorganismes en groupes et genres. Les principaux critères chimiotauxonomiques adoptés dans la classification

L'essentiel sur les actinobactéries

des actinobactéries réécrit par **Larpent and Sanglier., 1989; Lechevalier *et al.*, 1977; Staneck and Roberts, 1974.** Qui sont :

- Composition du peptidoglycane.
- Composition en sucres cellulaires.
- Composition phospholipidique des membranes.
- Production d'antibiotiques.
- Tests biochimiques: Réduction du nitrate ; Hydrolyse de l'urée ; Hydrolyse de l'acide hypo-purique ; Synthèse de mélanine (*Streptomyces*).

La chimio taxonomie des actinobactéries implique la distribution de produits chimiques spécifiques dans l'enveloppe cellulaire des actinobactéries telles que les acides aminés, le sucre(les glucides), les lipides polaires, les ménaquinones, l'acide mycolique, les acides gras et la composition de base de l'ADN, en utilisant des techniques chimiques, comme l'extraction, le fractionnement, la purification, et l'isolement des composés cibles. (**Yongxia And Yi, 2016**).

Tableau 02. Marqueurs chimiotaxonomiques appliqués à l'approche polyphasique des actinobactéries (**Yongxia And Yi, 2016**).

Catégories	Site en cellule	Composition
Chimiotaxonomique	Cellule	Sucres
	Paroi cellulaire	Acide aminé
	Membrane plasmique	Lipides polaires
	Membrane plasmique	Ménaquinones
	Membrane plasmique	Les acides gras
	Membrane plasmique	Les acides mycolique

4.2.1. Les acides aminés

Les actinobactéries présente plusieurs genres en fonction de différents types de paroi (ils existent huit groupes chimiques) et leur constituants pariétaux majeurs des acides aminés comme : L-DAP+Glycine (type I) chez les *Nocardioïdes*, *Streptomyces*; Lysine + Ornithine

L'essentiel sur les actinobactéries

(type V) chez *Actinomyces* ; acide Aspartique et de galactose (Type VI) chez *Actinomyces*, *Arcanobacterium*. (Loqman, 2009; Backer *et al.*, 1965; Yamaguchi, 1965; Lechevalier and Lechevalier, 1970).

Dans les pluparts des genres des actinomycètes, L'acide diaminopimélique (DAP) qui se présente au niveau des parois sous deux formes isomériques : la forme LL et la forme DL ou méso. (Backer *et al.*, 1965).ils existe aussi le glycine qui est important taxonomiques chez certain genres (Holt *et al.*, 1994).

4.2.2. Les glucides(les sucres)

Les actinomycètes peuvent être divisés en cinq groupes selon la distribution discontinue des principaux sucres. Dans le premier groupe A les parois cellulaires des genres et des espèces contiennent de l'arabinose et galactose comme *Nocardia* et *Saccharopolyspora*, le deuxième groupe B les parois des genres *Actinomadura* et *Streptosporangium* contiennent du madurose (3-O-méthyl-D-galactose), le troisième groupe C des *Streptomyces* et des genres apparentés ne synthétisent aucun glucide, les parois cellulaires du quatrième groupe D porté l'arabinose et des xyloses comme chez *Actinoplanes* et *Micromonospora* et le dernier groupe E les parois cellulaires contiennent du galactose et du rhamnose.

En plus, la présence de 3-O-méthyl-rhamnose chez *Catellatospora* et de tyvelose chez *Agromyces* est importante pour la classification de certains taxons d'actinomycètes (Essaid *et al.*, 2016).

4.2.3. Les lipides

Chez certains actinomycètes, les acides aminés et les sucres ne suffit pas pour les reconnaitre. Pour cette raison, il est essentiel d'utilise d'autre critères chimique, indispensable a l'identification des genres, notamment la composition en lipides cellulaires.

Selon Lechevalier *et al.*, 1977, Il existe trois groupes majeurs des lipides taxonomiquement, les quelles: les lipides polaires, les ménaquinones et les acides mycoliques. La chose la plus important chez les actinomycètes est phospholipides car elle est fonctionné pour divise ces actinomycètes en 5 types de phospholipides : P1àP5, ainsi que leur analyse permet de distinguer les genres qui porté entre eux la même morphologie et aussi la même type pariétale. Par exemple, le type de photospholipides 1 trouve chez *Actinomadura*, phospholipides 2 dans *Streptomyces*, *Pseudonocardia*...

4.2.4. Les acides gras

Chez les actinomycètes, ils y a une variation des acides gras mais les plus connue se représente sur 2 formes : soit un groupe de molécule de 12 à 20 atomes de Carbones, soit un groupe de acide mycolique contient environ 20 à 90 atomes de Carbones. La présence de ce dernier définit comme une caractéristique pour les genres tels que *Nocardia*, *Mycrobacterium* (Larpent and Larpent, 1985).

4.3. Critères physiologiques et taxonomie numérique

Pour déterminer les différents genres et espèces des actinomycètes ne se basent pas sur les critères morphologiques et chimio taxonomiques seul, mais aussi sur des critères physiologiques. Ce type de critères consistent en des tests de dégradation de différents composés organique tel que : glucidiques, lipidiques et protidiques, polymères complexes, stéroïdes...

La croissance des actinomycètes est influencée par ces paramètres physiologiques en particulier: l'oxygène, la tolérance au pH, la température, salinité (NaCl), la résistance aux certains agents chimiques comme les antibiotiques et divers autres agents (Athalye *et al.*, 1985).

4.3.1. Oxygène

Selon le type répertoire, les actinomycètes sont divisés en 2 formes différentes

- Les formes fermentatives, anaérobie stricte ou anaérobie facultative comme *Actinomyces*.

Ce genre ayant des caractéristiques particulières qui sont : saprophytes, obligé des cavités naturelles de l'homme et des animaux supérieurs, ne jamais retrouvés dans le sol.

- Les formes oxydatives, aérobie comme *Streptomyces*.

Ce genre est considéré le sol comme le réservoir principale pour disséminées, en particulier dans l'air (Aouar, 2012).

4.3.2. Température

La température optimale de croissances des actinomycètes mésophiles entre 25 et 30°C. Il existe des autres espèces thermophiles comme *Thermoactinomyces*, caractérise par une température optimale entre 50 et 60°C (Rangaswami *et al.*, 2004).

4.3.3. Le pH

La majorité des actinobactéries sont des bactéries neutrophiles leur pH entre 5 et 9. Dans le *Streptomyces*, il ya une forte croissance dans les sols acides a cause de pH compris entre 3,5 et 6,5 et caractérisé acidophile (Aouar, 2012).

4.3.4. Tolérance pour NaCl

Les actinomycètes sont divisés en 2 groupes selon leurs exigences en Na Cl

- **Les halophiles** ayant une concentration varie partir de 1-6 % (Poids/Volume)

Pour les halophiles faibles, jusque 15-30 % pour les bactéries halophiles extrêmes.

- **Les halotolérants** ayant une concentration modérée en sels mais non obligatoires pour leurs croissances. Les légèrement tolérants entre 6 à 8 % de Na Cl (Poids/Volume); les modérément tolérants entre 18 à 20 % de Na Cl ; et les extrêmement tolérants se développe de 0 % jusqu'à saturation Na Cl (**Djaballah, 2010**).

Bien que ces critères physiologiques aient longtemps été appliqués parallèlement aux descriptions morphologiques, leur efficacité réelle n'apparaît que lorsqu'ils sont utilisés dans le cadre d'une taxonomie numérique (**Athalye et al., 1985**), ce qui contribue à faciliter les difficultés inhérentes à l'interprétation des principaux résultats obtenus. Cette méthode de classification développée à la fin des années 1950, permet de définir la relation entre organismes en utilisant les coefficients de Jaccard (Coefficient utilisée pour mesurer la similarité entre divers échantillons finis). La somme d'échantillon est définie comme la taille de l'intersection divisée par la taille de l'union des ensembles d'échantillons (**Paul, 1912**). Par conséquent, selon l'indice de (**Sneath, 1989**).

4.4. Critères moléculaires

Les analyses moléculaires sont très importantes pour retracer les parentés phylogénétiques des souches, soit par regrouper ou par séparer pour obtenir à la fin la détermination des nouvelles espèces (**Lamari, 2006**).

Selon **Balagurunathan et al., 2010**, Les principales techniques d'analyse moléculaires utilisées sont :

4.4.1. Le séquençage de l'ADN ribosomique 16S

Le séquençage de l'ADN ribosomique 16S et la réaction de polymérisation en chaîne (PCR), sont des techniques fidèles et rapides pour l'identification et classification phylogénique des actinomycètes. La technique de ARNr 16S utilisé pour identifier les actinomycètes de façon moléculaire.

Chez la majorité des bactéries, on trouve un gène chromosomique de taille environ 1500 paires de base, caractérisé par des régions fortement conservées des séquences courtes spécifiques pour des genres et des espèces (**Weisburg et al., 1991; Cook and Meyers, 2003**).

4.4.2. Hybridation ADN-ADN

La méthode de l'hybridation de ADN-ADN permet de considérer le degré de parenté entre deux microorganismes, et détermine la relation entre les taxons associée étroitement comme les espèces.

La réalisation n'a été possible qu'après la découverte du phénomène de renaturation de l'ADN par **Marmur et Doty, 1962**. Les méthodes d'hybridation ADN-ADN sont basées par le mélange de deux ADN dénaturés qui proviennent de deux bactéries différentes. Il existe deux formes de duplex hétérologue, lorsque en étude la fonction des similitudes des séquences:

- Si les ADN des deux bactéries ayant une similarité importante, il se produit d'abord un appariement étroit dans le segment qui porte les bases complémentaires, puis le duplex se complète proche en proche.
- Si les ADN des deux bactéries caractérisés par des séquences très variables et différents, il peut se produire un appariement au niveau de quelques bases complémentaires dans la zone limite, mais le reste des fragments ne s'associe pas ou seulement par quelques liaisons hydrogène éparses. Les souches appartenant aux mêmes espèces auront généralement 70% d'homologie ADN-ADN et plus.

La technique de hybridation ADN-ADN présente plusieurs avantages, tel que on a la capacité de l'appliquer dans tous les espaces cultivables; les résultats ne sont pas ou peu affectés par les mutations ou par la présence de plasmides; qui est portée sur l'ensemble du génome (plasmides exceptés) (**Kitouni, 2007**).

4.4.3. Détermination du pourcentage de G+C

En **1950, Chargaff *et al.***, ont prouvé que la teneur en bases puriques et pyrimidiques de l'ADN peut varier, mais elle est relativement constante pour les individus qui sont trouvés dans la même espèce. La valeur de GC% est dispersée entre 60 et 70% chez les bactéries. Actuellement, il est reconnu que les bactéries qui ont un pourcentage de GC diffère de plus de 5% ne peuvent pas appartenir aux mêmes espèces, et les bactéries qui diffèrent de plus de 10% en pourcentage de GC ne peuvent appartenir à un même genre. Cependant il faut attention car les différents groupes taxonomiques peuvent avoir le même %G+C (**Gasmi, 2019**).

L'essentiel sur les actinobactéries

Tableau 03. GC % de quelques genres d'actinomycètes (Colombié, 2005).

Genre	G+C%
<i>Mycobacterium</i>	64-70
<i>Actinomyces</i>	63-73
<i>Nocardia</i>	67-69.4
<i>Streptomyces</i>	69-76
<i>Micromonospora</i>	71.4-72
<i>Actinoplanes</i>	70.6-76

5. Méthodes d'isolement des actinomycètes

Les méthodes sélectives d'isolement de ces microorganismes sont très importantes afin d'étudier leur écologie et la sélection des souches d'importance industrielle (tableau 04). Elles impliquent l'utilisation des milieux de culture sélectifs, surtout ceux additionnés d'antibiotiques. Les prétraitements sont indispensables en vue de favoriser l'isolement de certaines souches actinomycétales et d'empêcher la croissance des microorganismes indésirables (Haykawa, 2008).

Tableau 04. Quelques méthodes d'isolement d'actinomycètes à partir du sol (Haykawa, 2008)

Prétraitement	Milieu de culture	Genres isolés
physique : chauffage (120°C/1h).	Hv agar avec ou sans acide nalidixique et triméthoprimine. Hv agar avec acide nalidixique.	<i>Streptomyces</i> et autre genres Plusieurs actinomycètes rares (<i>Spirilliplanes</i>).
Chimique : SDS 0.05% et extrait de levure 5%.	Hv agar et acide nalidixique	<i>Streptomyces</i> et autres genres.

L'essentiel sur les actinobactéries

<u>Physique et chimique :</u> Chauffage (110°C/1h) et phénol (1%).	Hv agar avec kanamycine, josamycine, lysozyme et acide nalidixique.	<i>Actinomadura viridis</i>
<u>Enrichissement :</u> Réhydratation (30°C/90min, 1500×g/20min). Incubation en présence d'humidité et séchage.	Hv agar avec acide nalidixique et triméthoprine.	<i>Actinoplanes</i> <i>Actinosynnema</i> <i>Actinokineospora</i> <i>Kinosporia</i> <i>Streptomyces</i> et autres genres

Tableau 05. Effet de prétraitements pour la récupération des actinomycètes (El-Nakeeb et lechevalier, 1962).

Prétraitement	Pourcentage des actinomycètes de la population microbienne totale	Actinomycètes milliers/g du sol
Carbonate de calcium	81	9.750
Propionate de sodium	58	90
Phénol	35	21
Centrifugation (1500×g/20min)	45	13

La caséine, l'amidon, la chitine et l'acide humique constituent des substrats électifs pour isoler les actinomycètes rares (Cho *et al.*, 1994). Le milieu Amidon-Caséine est utilisé par de nombreux auteurs pour l'isolement de *Streptomyces* à partir des sols arides (Hagedorn, 1976). Le milieu Amidon-Caséine est considéré comme un milieu de choix permettant un bon développement du mycélium aérien, comme étant le milieu le plus approprié pour la sélection et la croissance des actinomycètes (Williams et Davies, 1965) (Le tableau 06).

L'essentiel sur les actinobactéries

Tableau 06. Influence de trois milieux d'isolement sur le nombre d'actinomycètes à partir d'un sol aride (Cai *et al.*, 2009).

	Milieu Amidon-Caséine	Milieu amidon ammonium	Glycérol asparagine agar
Nombre des actinomycètes mésophiles	1,38.10 ⁶	2,2.10 ⁶	2,18.10 ⁶
Nombre des actinomycètes cryophiles	1,2.10 ⁵	5,81.10 ⁴	7,84.10 ⁴

6. Ecologie des actinobactéries

Les actinomycètes sont des germes ubiquitaires, rencontrés sur tous les substrats naturels (Williams *et al.*, 1984). Ils constituent une part importante de la microflore tellurique : 10 à 20% ou parfois plus (Dommergues et Mengenet, 1970).

Ils ont une large distribution dans la nature et sont généralement saprophytes, mais quelques formes sont pathogènes pour l'homme, les plantes ou les animaux. Elles sont retrouvées dans tous les écosystèmes (sol, eaux douces et salines et air).

L'habitat le plus important des actinomycètes est le sol dont le genre *Streptomyces* est le plus abondant et le plus isolé. La majorité des actinomycètes vivent dans des conditions d'humidité peu élevées où l'activité de l'eau est très basse (Belyagoubi, 2014).

Ils sont présents dans des sols polaires gelés en permanence tout comme dans les sols désertiques chauds et secs, dans le pétrole brut, les sols hautement contaminés avec les métaux lourds et les lacs extrêmement alcalins et les lacs salés et même dans les sédiments océaniques situés à plus de 4000m de profondeur (Cross, 1981).

Tableau 07. Répartition des actinomycètes dans la nature (Goodfellow and Williams, 1983)

Genres	Habitats
<i>Actinomadura</i>	Sol
<i>Actinoplanes</i>	Sol, eau, litière
<i>Frankia</i>	Nodule de racines
<i>Microbispora</i>	Sol

L'essentiel sur les actinobactéries

<i>Micromonospora</i>	Sol, eau
<i>Nocardia</i>	Sol, eau
<i>Rhodococcus</i>	Sol, eau, fumier, litière
<i>Sacchromonospora</i>	Matière en décomposition
<i>Streptomyces</i>	Sol, eau, litière
<i>Streptosprangium</i>	Sol
<i>Thermomonospora</i>	Matière en décomposition et fermentation

Le sol est la source d'une diversité étonnante des microorganismes. Il présente une grande densité de population *Actinomycetales*. Numériquement, ils sont moins prédominants que les autres bactéries mais bien plus que les champignons (**Harvey, 1999**).

Le genre *Streptomyces* est celui qui prédomine généralement dans les sols et divers autres substrats. Ils représentent 80 à 95% des actinomycètes (**Lacey, 1973**). Après *Streptomyces*, les genres les plus fréquents sont *Nocardia* et *Micromonospora* (**Dommergues et Mangenot, 1970**). Les autres genres ne constituent qu'une fraction minimale et sont parfois peu fréquents ou même assez rares.

Dans les sols sahariens, les actinomycètes constituent entre 15 et 60% de la totalité des microorganismes et peuvent même dépasser les 85% dans les horizons profonds des sols des palmeraies (**Badji, 2006**). Cependant, ces sols sahariens sont caractérisés par une très grande diversité générique par des genres peu fréquents, voir même assez rares dans le monde, comme : *Actinomadura*, *Nocardiopsis*, *Streptosporangium*, *Spirillospora*, *Planomonospora*, *Oeskovia*, *Saccharomonospra*, *Thermoactinomyces*, *Thermomonospora*, etc. (**Sabaou et al., 1998**).

Les actinomycètes ont été également mentionnés dans les milieux marins. L'opinion selon laquelle des actinomycètes coloniseraient les milieux marins est très controversée. Selon les uns, les souches d'actinomycètes isolées de tels milieux seraient que des formes terricoles adaptées à la salinité de l'eau de mer ; selon d'autres, il existerait bien une flore d'actinomycètes propre aux sédiments caractérisée par sa Baro-tolérance, son halophile et une température optimale faible (**Weyland, 1981**).

L'essentiel sur les actinobactéries

L'air constitue pour les actinomycètes, non pas par habitats, mais un moyen de transport (**Gazeko et al., 1998**). Les spores de certains actinomycètes se développent dans des matériaux détériorés provoquant lorsqu'elles sont inhalées, des maladies respiratoires. Les spores d'actinomycètes thermophiles sont produites en grande quantité et sont facilement mises en suspension dans l'air, lors de manipulations de matériaux détériorés et leur dissémination se fait facilement grâce au mouvement de l'air (**Mazodier, 1974**).

7. Cycle de développement des actinobactéries

Le cycle de développement des actinomycètes est très similaire à des champignons. Toute comme les eucaryotes multicellulaires, les actinomycètes possèdent un cycle de vie qui est le résultat de trois processus physiologique majeurs : la croissance végétative, la différenciation et la sénescence cellulaire puis la mort (**Danielnko et al., 2005**).

Ce cycle commence lorsqu'une spore se dépose dans un milieu riche en nutriments. Cela stimule la spore à sortir de son état dormant et subir une germination pour former des tubes germinatifs. Les tubes germinatifs se développent et les cellules ne subissent pas une session binaire. Par l'extension et la ramification, les tubes germinatifs donnent naissance à un réseau de filaments qui se développent dans et à travers la surface d'une plaque de gélose. Ce réseau est appelé mycélium de substrat (**Flrdh et Buttner, 2009**).

Au fur et à mesure que la colonie commence à se différencier. La différenciation aboutit à la formation d'un nouveau type de cellule, les hyphes aériens multi géniques en spirale est terminée, le mycélium se différencie.

Les hyphes aériennes subissent une division cellulaire synchrone donnant naissance à compartiments mongoloïdes, chacun d'entre eux se développera en une spore résistante (**Hasani et al., 2014**). La plupart des actinomycètes sont immobiles. Cependant, certains produisent des spores flagellées appelées zoospores.

Les spores d'actinomycètes présentent une grande variété d'arrangements (**Belyagoubi, 2014**)

- 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, flexibles ou en spirales. Elles peuvent être rayonnantes autour d'hyphes sporophores.

L'essentiel sur les actinobactéries

8. Métabolisme des actinobactéries

Généralement les actinobactéries sont des organismes hétérotrophes, qui ont des exigences réduites et tirent leur énergie à partir d'une source très variée de substrats azotés et carbonés. En conséquence, ils sont très largement distribués dans la nature. De nombreuses espèces sont fortement protéolytiques et agrolytiques (Hsu et Lockwood, 1975).

Les actinomycètes sont fréquemment bactériolytiques grâce à des enzymes hydrolytiques capables de fragmenter les peptides de la paroi, leurs propriétés antimicrobiennes sont aussi bien connues et un bon nombre d'antibiotiques sont produits lors de leur croissance. L'équipement enzymatique des actinomycètes est très diversifié, il est à l'origine du rôle écologique majeur de ces organismes. Leurs variétés et leur importance quantitative, dépendent de nombreux facteurs comme le pH, la matière organique, les saisons, traitement agricole, etc. Les actinomycètes sont aussi importants en milieu hydrique, dans les eaux douces, les rivières et les fleuves.

9. Importance des actinomycètes dans les différents domaines

Les actinobactéries sont bien reconnues pour leur production de métabolites primaires et secondaires qui ont des applications importantes dans divers domaines

(Figure 08)



Figure 08. Application biotechnologiques des actinomycètes (Anandan *et al.*, 2016).

9.1. Importance dans le domaine de la biotechnologique

Les actinobactéries sont également importants dans la biotechnologie et surtout dans la biotechnologie végétale car les souches ayant une activité antagoniste contre les agents pathogènes des plantes sont utiles dans la lutte biologique.

L'importance d'un grand nombre d'enzymes d'actinomycètes et leur potentiel pour remplacer les catalyseurs chimiques sont discutés. L'étape la plus important vers la révolution de la "technologie vert "est la commercialisation réussie de ces enzymes. La réduction du coût de production des enzymes est démontrée par la production d'endo-glucanases à partir de *Streptomyces* sp, sur des substrats à faible coût. Ces initiatives de production à faible coût peuvent être étendues à d'autres enzymes et métabolites. De nouvelles propriétés telles que la stabilité thermique et ionique et un meilleur rendement rendent ces systèmes infaillibles et régénérateurs. L'activité des enzymes des actinomycètes ne se limite pas à la conversion du substrat, mais s'étend au contrôle biologique des agents pathogènes des plantes dépendant du quorum-sensing, par l'effet les enzymes dégradant l'acyl-homosérine-lactone des actinomycètes endophytes. *Streptomyces lunalinharesii* produite des substances antimicrobiennes contre les bactéries sulfato-réductrices communément responsables de la corrosion dans l'industrie pétrolière, avec une capacité à remplacer les biocides existants. Il existe aussi une technique efficace dans l'industrie alimentaire, c'est l'ajout d'antioxydants naturels. (Nawani *et al.*, 2013).

Des enzymes telles que l'amylase, la lipase, le xylanase, le pectinase, la protéase, le chitinase et le cellulase produites à partir des actinomycètes jouent un rôle important dans l'industrie alimentaire, la fermentation, l'industrie du textile et du papier (voir le chapitre suivant).

9.2. Importance en domaine médicale et vétérinaire

Les actinobactéries sont les meilleurs microbes créatifs par rapport aux autres micro-organismes produisant des composés bioactifs. Ces composés biologiquement actifs sont utilisé comme agents thérapeutiques et pour la protection des cultures (Saranya *et al.*, 2022).

En effet, ils sont capables de synthétiser de nombreux produits naturels y compris les alcaloïdes, les polycétides, les stérols et autres (Tab. 08). Ces produits naturels ont des potentialités de lutter contre certaines maladies majeures comme le cancer, le HIV, l'infections microbienne et protozoaires et l'inflammation sévères et autres (Syed *et al.*, 2017).

Ces microorganismes produisent aussi des antioxydants cytotoxiques afin d'aider l'organisme à lutter contre le stress oxydant (déséquilibre radicalaire et absence les capacités de

L'essentiel sur les actinobactéries

défense antioxydant) qui peut favoriser la survenue de pathologies (cancer, maladies cardiovasculaire...) (Amandine, 2016), il existe aussi des agents anti tumoraux, immunosuppresseurs pour inhiber ou prévenir l'activité du système immunitaire par exemple prévenir le rejet de greffe d'organes ou traiter les maladies auto-immunes ou maladies susceptibles d'être d'origine auto-immune, des inhibiteurs d'enzymes et des pigments (Dharmaraj, 2010). Les composés bioactifs ont une large application dans le demain industrie d'animaux, car non seulement utilisé pour tuer les maladies des animaux et des plantes, mais aussi pour augmenter les rendements zootechniques dans l'alimentation.

Tableau 08. Importance médicale de certains antibiotiques produits par le genre *Streptomyces* et leur maladie ciblée (Bouchlaghem et Aggoun, 2020).

Organisme ou maladie ciblée	Antibiotiques	Organisme producteur
Typhoïde	Chloramphénicol	<i>Streptomyces venezuelae</i>
Tuberculose et Lèpre	Rifampicine	<i>Amycolatopsis</i> <i>Streptomyces mediteranei</i>
<i>Staphylococcus aureus</i> Méthicilline résistant(SARM)	Vancomycine	<i>Amycolatopsis</i> <i>Streptomyces orientalis</i>
Cancer	Daunomycine	<i>Streptomyces coeruleorubidus</i>
Pathogènes résistants à la pénicilline	Acide clavularique	<i>Streptomyces clavuligerus</i>

9.3. Importance dans le domaine agronomique

Les actinomycètes ayant un rôle important dans le recyclage de la matière organique grâce à leur capacité de dégrader des substances complexes et incapables d'être décomposé par les autres bactéries non mycéliennes et les champignons. En plus ils protègent les racines des plantes contre les invasions des champignons. Elles sont capable aussi de dégrader ou de recycler les toxines produites par des champignons toxigènes et par la suit on été réduit le teneur dans les produits fine aux en agro-alimentaire (Lamari, 2006).

Les membranes de nombreux genres d'actinobactéries peuvent être utilisés pour la bioconversion de déchets agricoles et urbains pour utilisés comme des produits chimiques de grande valeur (Anandan *et al.*, 2016). Ainsi que Les antibiotiques des actinobactéries utilisés aussi dans le traitement de certaines maladies des plantes, tel que La blasticidine est active sur *Piricularia oryzae*, un pathogène du riz (Tomita *et al.*, 1990).

Chapitre III :

**Actinobactéries provenant
des sols arides et semi-
arides comme source
d'enzyme**

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

1. Définition des 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. L'utilisation de ces molécules facilite notre vie dans plusieurs domaines : médecine, industrie agroalimentaire, industrie cosmétiques, industrie pharmaceutique (Boukahili *et al.*, 2020). La plupart des enzymes sont des protéine et d'autre sont des acides ribonucléiques (TAO *et al.*, 2020).

2. Classification

Les enzymes sont classées par la commission des enzymes (EC) (TAO *et al.*, 2020) (tableau 09).

Tableau 09. Différentes classes d'enzymes (Garet, 2014).

Classes	Réaction catalysées et leurs rôles
EC 1 Oxydoréductases	Catalysent les réactions d'oxydo-réduction.
EC 2 Transférases	Transfèrent un groupement fonctionnel (exemple groupe méthyle ou phosphate).
EC 3 Hydrolases	Catalysent l'hydrolyse de diverses liaisons.
EC 4 Lyases	Brisent diverses liaisons par d'autres procédés que l'hydrolyse et l'oxydation.
EC 5 Isomérases	Catalysent les réactions d'isomérisation dans une simple molécule.
EC 6 Ligases	Joignent deux molécules par des liaisons covalentes.

3. Enzymes synthétisées par les actinomycètes des sols arides et semi-arides.

Les actinomycètes sont connus d'être d'excellents producteurs d'enzymes à utilisation industrielle. Les enzymes produit par les actinomycètes isolés à partir des écosystèmes arides et semi-arides sont multiples et variées tel que: les cellulases, les protéases, les kératinases, les amylases, les xylanases, les lipases, les chitinases et les pectinases (Park *et al.*, 2002).

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

3.1. Cellulases

Les cellulases sont des enzymes industrielles synthétisées par certains genres des actinobactéries comme : *Streptomyces*, *Thermobifida* et *Micromonospora* (**Praksh et al., 2013**).

3.1.1. Mécanismes d'action des cellulases

D'après les travaux de **Saini et al., 2015**, Il existe plusieurs types de cellulase on cite:

- Les exoglucanases : sont des enzymes agissent sur les extrémités réductrices ou non réductrices des chaînes de la cellulose qui libérée des unités de la cellulose.
- les endoglucanases : hydrolysent la liaison glycosidique au hasard à l'intérieur des chaînes de cellulose et libérant des unités de différents longueurs.
- cellobiohydrolase : hydrolysent et coupent les liaisons β -1,4-glycosidiques aux extrémités non réductrices et libèrent des unités de cellobiose (cellulose cristalline).
- β -glucosidase: hydrolyse les unités de cellobiose en glucose monomère.”

L'action des cellulases sur une solution de cellulose aboutit à la libération de sucres réducteurs. Ces derniers donnent lieu en réduisant certains réactifs chimiques à des produits chromogènes (**Fig. 09**). L'intensité de la couleur formée, qui est fonction de la quantité des sucres libéré, est traduite par des mesures spectrophoto-métriques en activité enzymatique (**Ghose et Sahai, 1979**). Deux méthodes sont couramment utilisées; la méthode à l'acide dinitrosalicylique (**Sumner, 1921; Miller, 1959 ; Baily et al., 1992**) et la méthode au réactif de Folin-Cieucalteu (**Somogyi, 1951**).

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

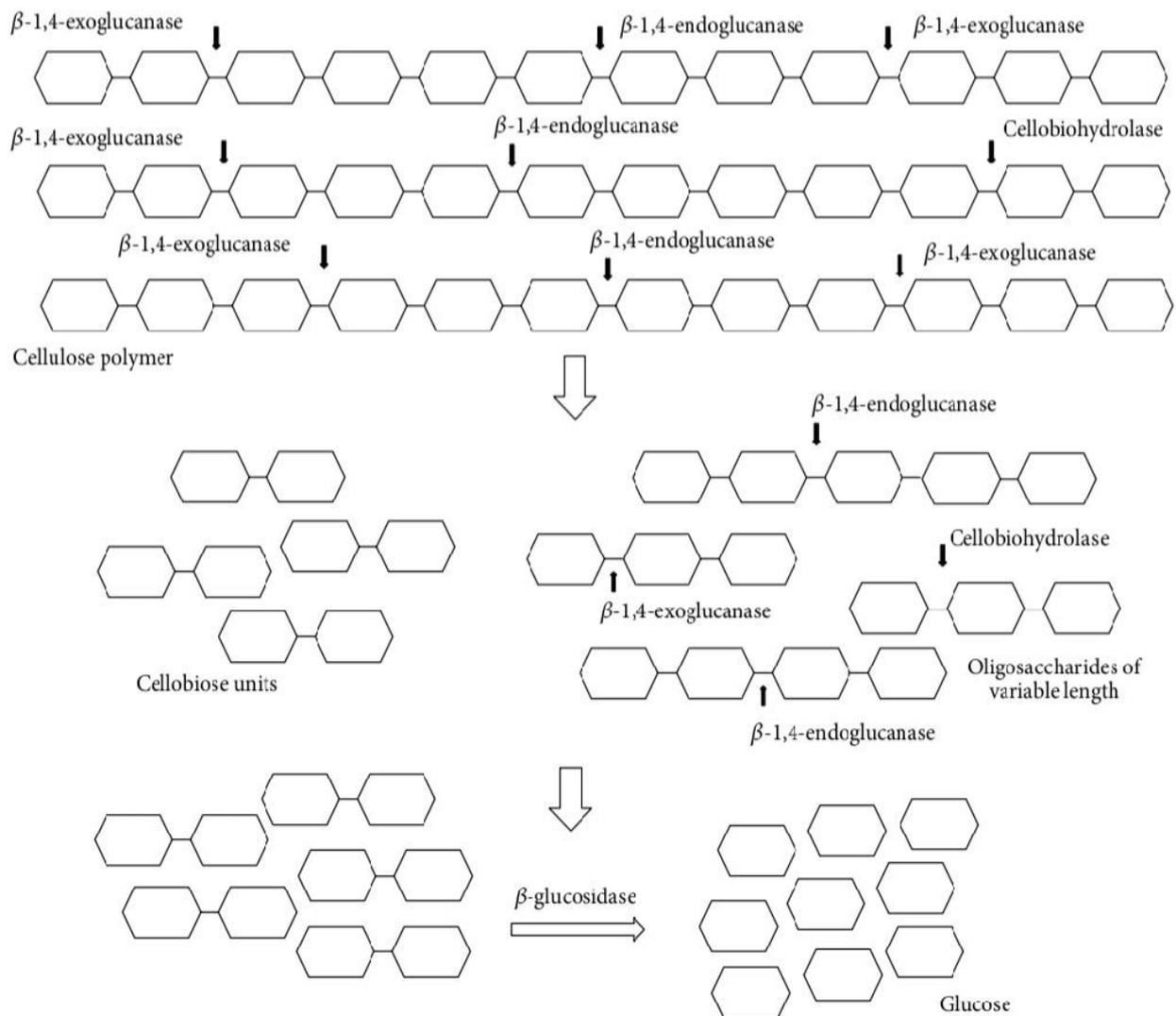


Figure 09. Schéma d'hydrolyse la cellulase. (Saini *et al.*, 2015).

3.1.2. Application des cellulases

Les applications des cellulases sont multiples et variés. Les plus connues sont regroupées dans le tableau 10.

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

Tableau10. Applications des cellulases dans divers industries (Ramesh *et al.*, 2011).

Industries	Applications
Agriculture	Lutte contre les agents pathogènes et les maladies des plantes; génération de protoplastes végétaux et fongiques; amélioration de la germination des graines et amélioration du système racinaire; amélioration de la croissance et de la floraison des plantes; amélioration de la qualité du sol; réduction de la dépendance aux engrais minéraux.
Bioconversion	Conversion de matériaux cellulosiques en éthanol, autres solvants, acides organiques et protéines unicellulaires, et lipides; production d'aliments pour animaux riches en énergie; amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments pour animaux; amélioration des performances des ruminants; amélioration de la digestion et de l'absorption des aliments; préservation d'un fourrage de qualité.
Détergents	détergents à base de cellulase; action nettoyante supérieure sans endommager les fibres; amélioration de la luminosité des couleurs et de l'élimination de la saleté; éliminer les protubérances rugueuses des tissus en coton; anti-ré déposition des particules d'encre.
Fermentation	Maltage et brassage améliorés; amélioration du pressurage et de l'extraction de la couleur des raisins; amélioration de l'arôme des vins; amélioration de la fermentation primaire et de la qualité de la bière; amélioration de la viscosité et de la filtrabilité du moût; amélioration de la clarification des moûts dans la production de vin; amélioration du taux de filtration et de la stabilité du vin.
Aliments	Libération des antioxydants des marcs de fruits et de légumes; amélioration des rendements dans l'extraction de l'amidon et des protéines; amélioration de la macération, du pressage et de l'extraction de la couleur des fruits et légumes; clarification des jus de fruits; amélioration de la texture et de la qualité des produits de boulangerie; purées de fruits à viscosité améliorée; amélioration de la texture, de la saveur, de l'arôme et des propriétés volatiles des fruits et légumes; amertume contrôlée des agrumes.

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

Pâtes et papiers	Co-additif dans le blanchiment de la pâte; réduction en pâte biomécanique; drainage amélioré; désencrage enzymatique; besoins énergétiques réduits; réduction des besoins en chlore; amélioration de la brillance des fibres, des propriétés de résistance et de l'exemption et de la propreté de la pâte; amélioration du drainage dans les papeteries; production de carton biodégradable, d'essuie-tout et de papier hygiénique.
Textile	Bio stone de jeans; bio polissage de fibres textiles; amélioration de la qualité des tissus; propriété d'absorption améliorée des fibres; assouplissement de vêtements; stabilité améliorée des tissus cellulosiques; élimination de l'excès de colorant des tissus; restauration de la luminosité des couleurs.
Autres	Extraction améliorée des caroténoïdes; amélioration de l'oxydation et de la stabilité de la couleur des caroténoïdes; amélioration de l'extraction de l'huile d'olive; malaxage amélioré de la pâte d'olives; amélioration de la qualité de l'huile d'olive; réduction du risque de déchets de biomasse; production de molécules hybrides; production de cellulosomes de créateurs.

Dans les travaux de **Boughachiche et al., 2005**, des échantillons de sol saharien de Boussaâda ont été testés et analysés pour leurs biodiversités en actinobactéries capables de synthétiser des cellulases. L'activité cellulosique des isolats a été évaluée par la méthode des cylindres d'agar sur un milieu contenant le Carboxyle Méthyle Cellulose (CMC) comme seule source de carbone. Cette méthode consiste à ensemercer les souches à tester sur la surface du milieu CMC, contenant des cylindres de gélose de 6 mm de diamètres. Les boîtes de Pétri sont ensuite incubées pendant 5 jours à 28°C. La révélation de l'activité des cellulases a été réalisée à l'aide d'une solution de rouge Congo à 0.1% (p/v) pendant 20 min, suivi de lavage avec une solution de Na Cl à 1M pendant 15 min (**Ninranjane et al., 2007**). Des halos oranges claires autour des cylindres sur un fond rouge correspondent aux zones d'hydrolyse de la CMC. Dans ces mêmes travaux, les chercheurs ont réalisés des pré-cultures sur milieu liquide contenant 2 ml de CMC. Les erlenmeyers de 100 ml de volume, sont mises en fermentation dans un bain marie agité pendant 5 jours à 28°C. Afin de mettre en évidence l'activité cellulosique, sur le

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

surnageant des cultures sont récupérés par centrifugation à (8000 g pendant 10 min à 4°C), selon la technique préconisée par **Grigorevski de Lima *et al.*, 2005**.

Dans les travaux de **Laishram *et al.*, 2019**, des échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur de 5 à 10 cm de la rhizosphère de *Panax bipinnatifidus* de la région de Domang. Ces environnements arides font partie de la région de l'Himalaya oriental. Plusieurs milieux ont été utilisés dans cette étude afin d'isoler des actinobactéries. Il s'agit de la Gélose à l'amidon et à la caséine (SCA) et la Caséine Amidon Peptone Extrait de levure Gélose à l'extrait de malt (CSPY-ME). Tous les isolats ont été testés pour leurs aptitudes à produire des enzymes extracellulaires. Parmi ces isolats 25 (soit 96 %) de l'ensemble des actinobactéries récoltées, ont montré une capacité de production de la cellulase. Les autres actinomycètes ont montré d'autres activités enzymatiques. La présence de cette enzyme a été mise en évidence par la technique de **Kasana *et al.*, 2008**. Cette technique consiste à inoculer dans un milieu gélosé basale, contenant 0,5 % de carboxyle méthyle cellulose (CMC) avec les isolats d'actinobactéries. Les boîtes ont été incubées à 28°C pendant 7 jours. Après incubation, les plaques ont ensuite été inondées d'iode de Gram et observées après 5 minutes. L'iode de Gram forme un complexe noir bleuâtre avec la cellulose mais pas avec la cellulose hydrolysée, produisant ainsi une zone claire distincte autour des isolats producteurs de cellulase. Des plaques sans CMC (sans substrat) ont été utilisées comme témoins dans toutes les expériences. La formation d'une zone claire indique un résultat positif pour la production de cellulase par les isolats qui ont été enregistrés.

Dans les travaux relativement récents de **Reffas, 2017**, 16 souches des actinomycètes ont été collectées et isolées à partir des échantillons prélevés dans un sol aride au Japon. Le milieu utilisé dans cette étude est le CMS (cellulose medium Salt) composé en (g/l) : peptone 10g; CMC (cellulose microcristalline) 10g; K₂HPO₄ 2g ; Agar 10g ; MgSO₄ 0.3g ; (NH₄)₂SO₄ 2g ; Gélatine 2g et pH 7. Les cultures sont incubées à une température de 30°C pendant 48 heures. Les boîtes de pétri ont été inondées avec une solution de rouge Congo à une concentration de 1% puis lavées avec une solution de 1M de Na Cl. Les zones d'hydrolyses, indiquent des tests positifs. Les résultats ont montré qu'il y avait 5 souches d'actinomycètes qui hydrolysent la cellulose. Par ailleurs, l'étude du suivi de la cinétique enzymatique et l'optimisation des différents paramètres impliqués dans la production de la cellulase. Les 5 souches sélectionnées

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

sont de grandes productrices de la cellulase qui pourrait être exploitée dans le domaine industriel.

D'après les travaux de **Al-Tai et al., 1989**, La souche AT7 a été isolée à l'origine d'un échantillon de sol aride prélevé à Abou-Graib (près de Bagdad). Ensuite, la gélose minérale-salée à basse et haute viscosité et 1% d'agar ont été inoculés en surface en deux exemplaires par une boucle de suspension de spores de la souche AT7 cultivée sur une gélose nutritive. Les milieux des plaques ont été ajustés à différents pH (entre 4 et 10) avant l'autoclavement et ont été inoculés pendant 3 jours à différentes températures (28°, 37° et 48°C) et pour détecter l'activité du cellulase ont été utilisé une solution de bromure de acétyltriméthylammonium 1%. En outre, la croissance et les caractéristiques morphologiques d'AT7 sur le milieu susmentionné ont été étudiées en utilisant diverses concentrations de CMC, à faible viscosité (1 ; 2 ; 3 ; 4 et 5%) et différentes températures d'incubation (28°, 37°, 48° et 55°C) pendant 3-6 jours. Les résultats ont été indiqués que, la souche AT7 décrite comme une souche *Streptomyces sp.* AT7 et se caractérise par la formation d'hyphes végétatifs non fragmenté. Cette souche était capable se développer et produire la cellulase à ph acide et alcalin et à diverses températures de croissance (28°C-48°C).

Dans les travaux de **Yassien et al., 2014**, La souche de *Streptomyces* qui produit la cellulase, a été isolée d'un échantillon de sol aride en Arabie Saoudite et identifiée comme *Streptomyces longispororuber* par séquençage de l'ADNr 16S. Cette souche a été ensemencé en stries sur le milieu gélose amidon-nitrate agar. Une suspension sporale a servi à ensemencer un milieu liquide à base de carboxyméthyl-cellulase (CMC) et incubé à 30°C pendant 96 h. Après incubation, la culture a été centrifugé à 12 000 × g pendant 20 minutes. Et par la suite a été purifié par la précipitation au sulfate d'ammonium, diéthylaminoéthyl cellulose et chromatographie sur gel Sephadex G-75. Les résultats obtenus indiquent, que l'activité enzymatique est positive et est maximale à pH 6-6,5 et à température de 50°C, tandis que la stabilité maximale a été obtenue à pH 6.

D'après les travaux de **Jaradat et al., 2008**, vingt échantillons de sol ont été collectés dans 20 régions de la Jordanie. Un enrichissement des *Streptomycète* sa été décrit par (Saadoun et al., 2008). Les colonies sélectionnées ont été purifiées et testés pour leurs capacités à produire de la cellulase sur un milieu de gélose. Chaque isolat a été mis en suspension dans un

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

flacon stérile contenant 3 ml d'eau distillée, pour créer une suspension de spores de 10^7 spores/ml. Une goutte de 0.1 ml de chaque suspension sporale, a été cultivée au centre d'une plaque d'agar-cellulose (CA) et incubés pendant 4 jours à 28°C, ensuite inondées avec 0,1% de rouge Congo pendant 15-20 min. Un lavage avec 1ml de NaCl a été réalisé. Un mélange réactionnel composé de 0,2 ml de solution d'enzyme brute et 1,8 ml de 0,5% de carboxyméthylcellulose (CMC) dans un tampon phosphate de sodium 50 mm (pH 7,0) a été incubé à 37 °C dans un bain-marie à agitation pendant 30 minutes. La réaction a été arrêtée par l'ajout de 3 ml de réactif DNS. La production de cellulase a été évaluée en mesurant la quantité de glucose libérée en $\mu\text{mol/ml/min}$ en utilisant la méthode de dosage de l'acide dinitrosalicylique. L'activité enzymatique la plus élevée a été observée après 3 jours d'incubation à pH 7 et à 60 °C dans un milieu complété par 0,5 % de glucose, 0,2 % d'amidon et 0,2 % et de 0,2 % de NH_4Cl et diminuées à 45 °C et à un pH acide.

Dans les travaux de **Macedo et al., 2013**, Un isolement des actinobactéries dégradant la cellulose a été réalisé dans des sols arides au Brésil. D'après Cette étude, une souche prometteuse a été sélectionnée et identifiée comme *Streptomyces sp.* SLBA-08. Cette souche a été testée pour la production de la cellulase en milieu minéral en utilisant différentes sources de carbone (bagasse de sisal, bagasse de canne à sucre et paille), ainsi que du sulfate d'ammonium à différentes concentrations comme source d'azote. Les résultats obtenus indiquent que *Streptomyces sp.* SLBA-08 était capable de produire de la CMCCase (Carboxyméthyl cellulase) en utilisant des résidus lignocellulosiques avec une activité optimale à pH6 et 50°C.

3.2. Protéases

Il existe plusieurs genres d'actinomycètes qui produisent les protéases. Ce sont généralement les *Streptomyces*, les *Nocardia* et les *Nocardiopsis* (**Mukhtar et al., 2017**). Plusieurs facteurs peuvent affecter la sécrétion de protéase par les bactéries. Il s'agit principalement de la température, du pH et de la concentration de chlorure de sodium... (**Vonthini et al., 2008**).

Les protéases des *Nocardiopsis spp.* sont utilisés pour l'épilation des cuirs et des peaux dans l'industrie du cuir (**Preaksh et al., 2013**). Les protéases des *Streptomyces spp.* sont employées dans les déchets agroindustrielles par exemple : les plumes et les ongles et dans les déchets végétaux (**Mukhtar et al., 2017**).

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

Les protéases sont utilisées également dans la synthèse et/ou l'hydrolyse de liaisons peptidiques, d'esters et d'amides des acides carboxyliques. Ce sont des outils efficaces pour la résolution de paires d'énantiomères, ainsi que des aides nutritionnelles comme aides digestives et thérapeutiques pour le traitement de la thrombose et du cancer (**Murray, 2011**).

A partir des sols arides, plusieurs souches d'actinobactéries ont été isolées. Les premiers travaux dans ce domaine sont ceux de **Moreira et al., 2002**, où les *Nocardiopsis sp* ont été isolées à partir d'un échantillon de sol arides collectés dans le nord-est du Brésil. Le micro-organisme a été maintenu à 28°C sur des plaques de gélose contenant le milieu ISP-2 (extrait de malt 1,0 % (p/v), extrait de levure 0,4 % (p/v), agar 2,0 % (p/v)). L'inoculum a été réalisé dans des flacons erlenmeyer (250 ml) contenant 50 ml du milieu de fermentation.

Plusieurs techniques d'extractions de l'enzyme protéase sont disponibles mais la plus simple et la plus utilisée est celle décrites par (Ginther, 1979). Qui consiste à clarifier par centrifugation (12 000g, pendant 5 min), un milieu de culture préalablement ensemencé par des bactéries productrices. L'Azocaséine à 1,0 % (p/v) est utilisée comme substrat, dans du Tris-HCl, 1 M. à pH 7.6. Une unité d'activité est définie comme la quantité d'enzyme qui produit une augmentation de la densité optique de 1,0 en 1 h à 440 nm.

Les expériences de **Sampath et al., 1997**, ont montrés la capacité de *Streptomyces sp*G157 à produire des protéases extracellulaires. Ces investigations montrent que cette souche produit des protéases possédant des caractéristiques très intéressantes. Ce sont des protéases qui sont stables à 40°C et à 50°C ou après 30 min à 80°C. Ces enzymes peuvent même être utilisées en présence des détergents. Elles sont donc thermostables en milieu très alcalin et stable en présence de tous les tensioactifs utilisés avec les détergents. Ces enzymes, très efficaces contre plusieurs taches, ont trouvées des applications valorisantes dans l'industrie des lessives. D'autres substances, peuvent être également hydrolysées par ces enzymes. Ce sont principalement les hémoglobines, les sérums bovins, l'ovalbumine, l'albumine et l'azocaséine.

Dans les travaux récents de **Laishram et al., 2019**. Des échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur de 5 à 10 cm dans la région aride de Domang, Les milieux suivants ont été utilisés dans cette étude. Il s'agit de la gélose à l'amidon et à la caséine (SCA), le milieu (CSPY-ME) et Streptomyces Agar (SA). Une technique simple de la mise en évidence de la production des protéases par les actinobactéries a été décrite dans les travaux de **Jeyadharsan,**

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

2013. Elle consiste à utiliser un milieu gélosé au lait écrémé contenant 2,8 % de poudre de lait écrémé. Les isolats d'actinomycètes sont inoculés au centre de la plaque et incubés à 28°C pendant 7 jours. Après incubation, les plaques ont été observées pour le développement d'un halo clair autour des colonies.

Dans les travaux de **Naif et al., 2019**, un *Actinobacteria* baptisé *Streptomyces sp.* Al-Dhabi-49 a été isolé à partir des échantillons de sol de l'environnement Saoudien pour la production simultanée de lipase et de protéase en fermentation submergée. La production de protéase et de lipase s'est avérée maximale après 5 jours d'incubation (139,2±2,1U/ml, 253±4,4U/ml). Ces enzymes augmentent avec l'augmentation du pH jusqu'à 9,0 (147,2 ± 3,6 U/ml) et diminuent de manière significative à des valeurs de pH plus élevées. Cette souche a été cultivée en présence de glucose et l'activité enzymatique s'est avérée optimale dans la plage de températures allant de (30 à 50°C). La production maximale a été atteinte à 35°C (168± 7,8U/ml). Parmi les sources de carbone évaluées, le maltose a significativement influencé la production des protéases avec (218 ± 12,8 U/ml). Diverses concentrations de peptone, ont considérablement amélioré la production des protéases. Ainsi que la présence de Ca²⁺ comme source ionique considéré comme facteur essentielle de la production maximale des protéases.

Dans le but de produire des enzymes protéases alcalo-thermophile, des actinomycètes ont été recherchés dans des sols arides dans les travaux de **Gamal et al., 2017**. Ainsi, 38 échantillons ont été prélevés dans 7 localités différentes du gouvernorat de Gizeh en Égypte. Neuf milieux d'isolement sélectifs ont été utilisés. Les résultats ont montré que l'isolement sur gélose basale aux sels minéraux additionnée de protéines comme seule source de carbone donne la meilleure récupération et élimine la contamination par d'autres microbes. De plus, l'utilisation des mêmes milieux pour la maintenance des isolats peut entraîner leur perte tandis que l'utilisation de milieux enrichis avec une source de carbone appropriée a entraîné leur récupération et leur conservation complètes. 12 protéases alcalino-thermophiles puissantes ont été produites par ces isolats d'actinomycètes. De plus, l'isolat le plus puissant a été caractérisé et l'optimisation de la production de protéases a également été étudiée.

Dans les travaux de **Sangeeta et al., 2012**, une souche OK-5 tolérante au sel, a été isolée par culture d'enrichissement d'un sol aride du Gujarat en Inde. Le milieu de criblage des actinomycètes producteurs de protéases contiennent en (p/v) 0.5% de gélatine, 0.5% de peptone,

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

0.5% d'extrait de levure et 5% de Na Cl. Le pH du milieu a été ajusté à 9 avec 20% de NaCO₃. La croissance a été réalisée en aérobiose à 37°C dans des conditions de flacon agité à 120 tours/minute. Les résultats obtenus indiquent que la souche OK- 5 produit la protéase avec grande activité avec une stabilité à un pH alcalin de 10 à 11. Cette enzyme s'avère très résistante à la dénaturation chimique.

Les travaux de **Cavalcanti *et al.*, 2005**, ont permis d'isoler *Nocardiopsis sp*, à partir d'un échantillon de sol aride prélevé dans le nord-est du Brésil. Cette souche a été maintenue à 28 °C sur des plaques de gélose ISP-2 contenant 1,0 % (p/v) d'extrait de malt, 0,4 % (p/v) d'extrait de levure et 2,0 % (p/v) d'agar. Ensuite, ont été utilisées quatre milieux à base de farine de soja pour la culture de cette souche. Les expériences visant à tracer les courbes de croissances ont été réalisées dans des flacons erlenmeyer (50 ml de volume) contenant 20 ml de milieu de culture et 10% (v/v) d'inoculum. Les erlenmeyer sont incubés pendant 56 heures à 28° C sous agitation orbital à (200 tours par min). Ensuite, l'activité protéolytique a été déterminée dans le surnageant exempts de cellule clarifiés par centrifugation (12 heures) pendant 5 min à 25°C. L'azocaséine à 1,0 % (p/v) a été utilisé comme substrat. Les résultats ont montrés que la meilleure production de protéase, qui se traduit par la coagulation du lait, a été obtenue par *Nocardiopsis sp* dans le milieu M1, contenant du glucose.

Selon les travaux de **Mohamedin, 1999**, des échantillons de sols arides agricoles ont été collectés dans la ville de Mansoura en (Egypte). Les sols ont été enrichis avec des morceaux de plumes de poulet, puis incubés pendant 2 semaines à 50°C. Plusieurs isolats ont été obtenus. Un criblage qualitative pour l'activité protéolytique des isolats ont été indiqué par la croissance et l'apparition de zones claires sur le milieu de caséine-agar (10g de caséine, 5g de l'extrais de levure et 20g d'agar) par litre d'eau du robinet. L'isolat (MG093) est le plus actif. 10⁶ spores/ml des spores de cette bactéries ont été cultivé dans le milieu liquide de sels basique qui contenant en (g/l) : (K₂HPO₂ 1,5 ; MgSO₄.7H₂O 0.025 ; CaCl₂ 0,025 ; FeSo₄.7H₂O 0,0015 ; ZnSO₄.7H₂O 0,005 ; pH (7,8-8,0), additionné du duvet de plumes de poulet (stérilisé à l'autoclave à 120°C pendant 20 min). Les flacons inoculés ont été incubés à 50°C sous une agitation rotative (150rpm) pendant 72h. L'activité enzymatique a été mise en évidence sur le surnagent. Les résultats indiquent une bonne activité protéasique de cette souche. L'identification de cette actinobactérie permet de l'assigner à *Streptomyces thermonitricans*.

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

Dans les travaux de **Rifaat et al., 2006**, *Streptomyces microflavus* a été isolé et identifié à partir d'échantillons de sol égyptien. L'inoculum cellulaire avec une taille de (10^7 /ml) ont été cultivées dans des flacons contenant 50 ml du milieu de croissance de cette actinobactérie décrit dans les annexes et maintenues à 28 °C sous agitation constante de 150 rpm. Après une incubation pondant 3 jours, l'enzyme brut a été récupérée à partir du surnageant. Une purification des protéases a été réalisée par salage avec du sulfate d'ammonium. Une filtration sur gel a été appliquées sur une colonne (1,6 X 60 cm) de Sephadex G-75 équilibrée avec un tampon phosphate 0,05 m (pH 7,2) et éluées avec un litre du même tampon à un débit de 35 ml/hr. Dans le cas du sulfate d'ammonium, différentes concentrations de 20, 40, 60 et 80 % (p/v) ont été utilisées et pour chaque concentration l'activité enzymatique a été mesurée. Les résultats ont montrés que, *Streptomyces microflavus* produit une protéase dans un pH 7 et température de 40°C).

3.3. Chitinases

Les chitinases sont des enzymes qui affectent la dégradation de la chitine et l'utiliser comme source d'énergie. La liaison B-1,4 entre les résidus de N-acétylglucosamine dans la chaîne de chitine, sont clivé (**Gasmi et al., 2019**).

Cette enzyme a été obtenue par plusieurs actinomycètes comme *Streptomyces* et *Microbispora* (**Mukhtar et al., 2017**). Elle possède des caractères uniques comme la thermo-stabilité et l'activité dans un large gamme de pH (**Preaksh et al., 2013**).

3.3.1. Application des chitinases

Les chitinases ont diverses applications dans les industries biochimiques, alimentaires et chimiques diverses. Surtout dans le domaine de la biotechnologie pour la gestion des déchets, dans la conversion des déchets chitineux comme bio-fertilisants ou dans la production de protéines unicellulaires (SCP). Ainsi que des applications dans lutte antiparasitaire dans l'agriculture et les soins de santé humaine. Elles sont également utilisées pour convertir la biomasse contenant de la chitine en composants utiles (dépolymérisés) pour le contrôle des agents pathogènes fongiques et les insectes qui attaquent les plantes. Dans le domaine médical, les chitinases sont importantes pour augmenter l'activité des médicaments antifongiques dans le traitement des maladies fongiques (**Rifat et al., 2013**).

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

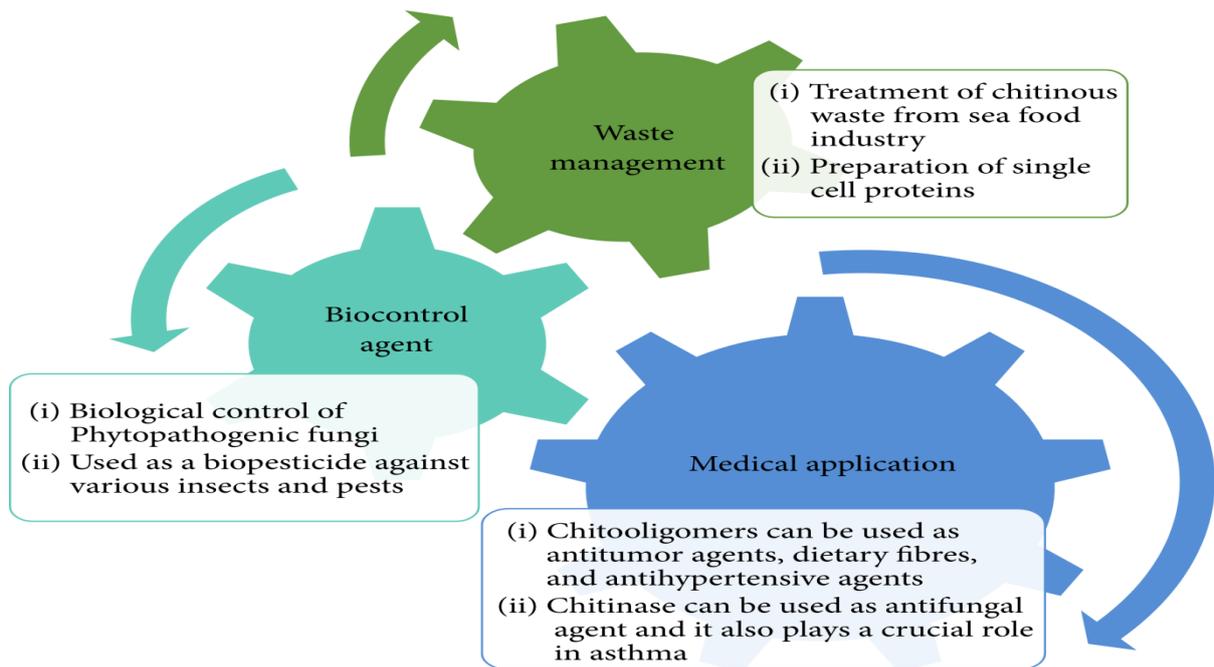


Figure 10. Différentes applications industrielles des enzymes chitinolytiques (Singh et Gupta, 2015).

Dans une recherche menée par **Gasmi et al., 2019**, un échantillon de sol a été prélevé et analysé dans une région semi-aride de Laghouat (Algérie). Dans un gramme de l'échantillon a été mélangé avec 0.1g de CaCo₃ puis incubé pendant 7 jours à 28°C dans le milieu de Bennett. La chitine colloïdale a été utilisée comme seule source de carbone et d'azote. Les bactéries qui présentent un halo clair, sont considérées comme étant positives. *Streptomyces coelicolor*M145, a été utilisée comme souche référence. Les colonies isolées positives ont été purifiées et conservées à -80°C dans des stocks de glycérol et un pH 7.

L'analyse d'échantillon du sol a montré que ce sol semi-aride et alcalin (pH=8.11) est une source d'actinobactéries produisant de la chitinase. Dans cet écosystème, toutes les souches isolées ont dégradé la chitine à pH7 et à température égale 30°C.

L'isolement des actinomycètes par plusieurs milieux et avec des composants précis, qui résultent de la détection de plusieurs enzymes par des méthodes différents et spécifiques. Dans les travaux de **Laishram et al., 2019**, des échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur de 5 à 10 cm de la rhizosphère de *Panax bipinnatifidus* de la région aride de Domang. Trois milieux d'isolement ont été utilisés dans cette étude, le plus important est le milieu d'amidon a

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

la caséine (SCA) (voir l'annexe). Après incubation, l'évaluation de l'activité chitinase par les isolats a été estimée. Parmi ces isolats, 14 soit un pourcentage de (54 %) des isolats, ont montré une activité de chitinase.

Dans ces mêmes travaux, La propriété chitinolytique des actinomycètes a été détectée en adoptant la méthode de **Nagpure *et al.*, 2014**, Les isolats ont été ensemencés ponctuellement par une boucle au centre du milieu de gélose saline basale. Pour détecter l'activité de la chitinase, les plaques ont été incubées à 28 °C pendant 7 jours, puis inondées avec une solution aqueuse de 0,1 % (p/v) de rouge Congo pendant 40 min. La solution de rouge Congo a ensuite été déversée et décolorée avec du Na Cl 1M pendant 20 min. Toute les zones claires formée autour de la colonie, indiquent un résultat positif de la production de lachitinase.

D'après les travaux de **Brezezinska *et al.*, 2013**, des actinomycètes chitinolytiques ont été isolés à partir de sol aride en Pologne, la détection de l'activité chitinolytique a été basée sur des zones d'éclaircissement autour des colonies poussant sur milieu « Actinomycète Isolation » Agar (Difco) avec chitine colloïdale (2%). Les cultures ont été incubées pendant 7 jours à 28°C. L'actinomycète avec forte activité enzymatique a été identifié comme étant *Streptomyces rimosus*. L'identification a été basée sur des tests biochimiques standards et sur l'analyse de la séquence du gène de l'ARNr 16S. L'enzyme a catalysé l'hydrolyse du disaccharide 4-MU-(GlcNAc) 3 le plus efficacement et a donc été classée comme une endochitinase. La chitinase a été purifiée du milieu de culture par sulfate d'ammonium et chromatographie d'affinité. La masse moléculaire de l'enzyme purifiée était de 63kDa. La plus forte activité de cet enzyme a été obtenue à la température de 40-45°C. Le pH optimal était de 7.0, l'activité de l'enzyme a été inhibée par les ions Hg²⁺ et Pb²⁺. La chitinase a inhibé la croissance des fongiques phytopathogènes *Fusarium solani* et *Alternaria alternata*.

3.4. Les amylases

Les amylases sont des enzymes thermostables et sont divisées en 2 classes qui sont : les endoamylases et les exoamylases. Ces enzymes hydrolysent les molécules d'amidon en polymères composés d'unités de glucose.

La production d' α -amylase est essentielle pour la conversion des amidons en oligosaccharides. L'amidon est un constituant important de l'alimentation humaine et est un

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

produit de stockage majeur de nombreuses cultures économiquement importantes telles que le blé, le riz, le maïs, le tapioca et la pomme de terre (De Souza et Magalhães, 2010).

3.4.1. Mode d'action des amylases

Rapporté par Kar et Ray, 2007, que les actinomycètes tels que les *Streptomyces erumpens* sécrètent des amylases à l'extérieur des cellules pour effectuer une digestion extracellulaire.

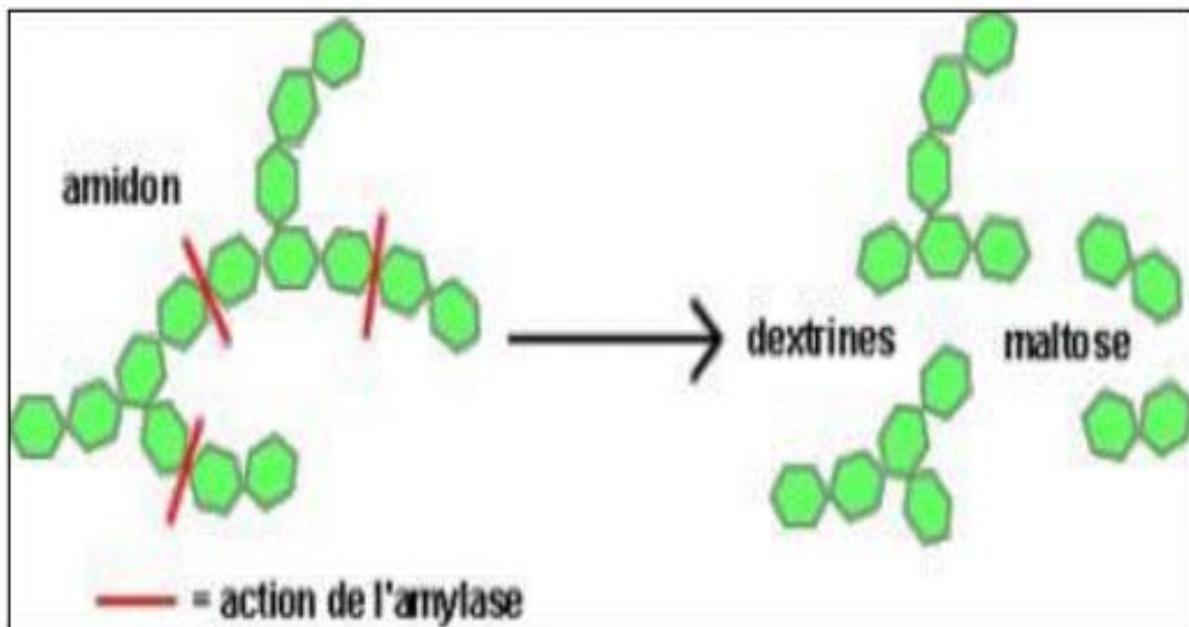


Figure 11. Mode d'action de l'alpha-amylase (Meziani et Mahcene, 2017).

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

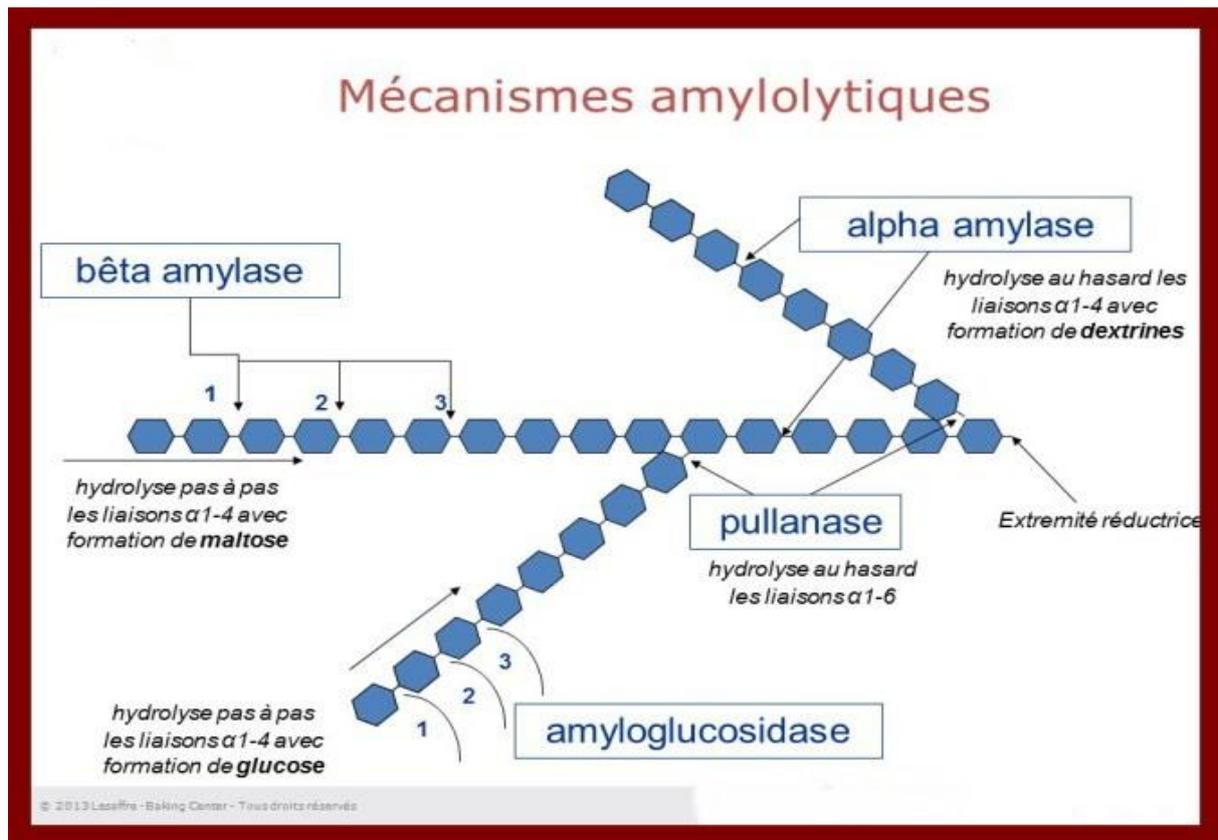


Figure 12. Mécanismes d'action des enzymes amyolytiques (Pierre, 2000).

3.4.2. Application des amylases

Les amylases sont les principales enzymes utilisées dans l'industrie alimentaire comme la boulangerie, le brassage et la distillation (Kar et Ray, 2007). Dans l'industrie pharmaceutique et dans la Production d'alcool de carburant, ces enzymes trouvent d'autres applications.

Dans des travaux récents, deux souches *Streptomyces erumpens* et *Thermobifida fusca* ont la capacité de produire des amylases extracellulaires (Mukhtar et al., 2017). Ces derniers sont utilisés dans l'industrie alimentaire comme conservateur dans la fabrication de gâteaux, de jus et de sirops, dans l'élimination de l'amidon et dans la décontamination de l'environnement par les techniques de bioremédiation (Dehkordi et Javan, 2012).

Dans les travaux de Shivilata et Satyanarayana, 2017, trente souches d'actinobactéries ont été isolées à partir de sol aride de New Delhi, en Inde. Ces souches ont été criblées pour la production d'amylase par la méthode de dosage halo-qualitatif. Les souches ont été cultivées sur gélose à la peptone d'amidon en $g.L^{-1}$: amidon (10,0); peptone (5,0); Na_2HPO_4 (3,0);

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

NaH₂ PO₄ (1,0); Mg Cl₂ (0,15); pH 7,0). Après 3 jours d'incubation, les souches productrices d'amylase ont été identifiées par inondation avec une solution d'iode de Lugol (contenant 3,0 % KI et 0,3 % I₂). Les souches d'actinobactéries formant des zones d'élimination de l'amidon sur un fond bleu foncé ont été sélectionnées et criblées sur la base d'un dosage quantitatif de l'amylase et les produits finaux formés par l'action enzymatique. Dans ces mêmes travaux, la formation des produits finaux a été analysée par la technique de chromatographie sur couche mince (TLC). La souche DB-1 présente des caractéristiques morphologiques typiques du genre *Streptomyces*. L'activité amylolytique a été dosée, elle est élevée avec un degré de (9,47 U ml⁻¹), avec un optimale de croissance à 50 °C et à pH de 6,0, pouvant libérer une quantité relativement élevée de sucres réducteurs.

les travaux mené par **Dastager et al., 2009**. La souche de *Streptomyces gulbargensis* DAS 131 a été isolée à partir d'un échantillon de sol semi-aride, prélevé à Gulbarga, Karnataka, Inde, en utilisant la méthodologie décrite par Goodfellow, 1989. Les cultures mères ont été maintenues sur du milieu ISP-2, additionné de 1 % (p/v) d'amidon. Le milieu de production d'enzymes était l'urée d'amidon. Le pré-inoculum a été préparé dans des flacons Erlenmeyer, contenant 50 ml de milieu amidon-urée, préalablement stérilisé à 121°C pendant 15 min et inoculé avec 2,0 ml de suspension de spores contenant 3–4.10⁸ UFC ml⁻¹ sous agitation à 180 tr/min, pendant 24 h. Cinq millilitres de pré-inoculum ont été ajoutés à 50 ml de milieu amidon-urée et incubé à 28°C pendant 96 h. A la 12ème heure d'incubation, des échantillons (de 5 ml) ont été prélevés dans chacun des trois flacons répliqués. Les cellules ont été récoltées par centrifugation à 4000 rpm pendant 15 min, à 4°C. Les résultats indiquent que la production d'amylase la plus élevée a été obtenue par la souche de *S. gulbargensis* DAS 131. Cette dernière a montré une activité maximale à pH 9,0 et 45°C et relativement stable dans des conditions alcalines à (pH=11).

Dans une autre étude, une grande biodiversité microbienne des sols semi-arides brésiliens a été mise en évidence. Elle a donnée différents profils enzymatiques à côté des activités amylasiques (**Édilla et al., 2012**). La production d'enzymes amylolytiques a été observée chez *Streptomyces sp.* SLBA-08, isolée du même sol du Brésil. Les souches ont été cultivées sur gélose à l'extrait de malt-extrait de levure (**Shirling et Gottlieb, 1966**), pendant 10 jours, à 30°C. Les boîtes de Pétri ont été inoculées ponctuellement. Les souches productrices

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

d'amylase ont été identifiées, après croissance par addition d'une solution de lugol à 0,1 %, La meilleure activité de l' α -amylase a été observée à 50°C et pH 7,0.

Les actinobactéries isolées à partir des différents échantillons peuvent donner plusieurs activités enzymatiques en même temps. C'est le cas par exemple, des travaux de **Laishram et al., 2019**. Où les actinobactéries isolées ont montrées des activités de chitinases, de cellulase ; des protéases et 77 % de ces isolats ont produit l'enzyme amylase.

La détection de la production d'amylase a été réalisée selon **Rengasamy, 2018**, en utilisant un milieu de gélose à l'amidon contenant 0,2 % d'amidon soluble. Les isolats d'actinomycètes ont été inoculés dans une plaque de gélose à l'amidon et incubés à 28°C pendant 7 jours. Après incubation, 3ml d'iode à 1 % ont été inondés dans chaque plaque. Le développement d'une zone autour des colonies indique la production d'amylase. L'iode forme un complexe noir bleuté avec l'amidon mais pas avec l'amidon hydrolysé, produisant ainsi une zone claire autour des isolats producteurs d'amylase.

Des travaux récents de **Al-Dhabi et al., 2020**, montrent qu'un échantillon de sol aride prélevé dans la région de Jazan en Arabie Saoudite est une source d'actinomycètes. Les isolats obtenus présentent des aspects morphologiquement différents. Tous les actinomycètes isolés, ont été criblés pour leurs aptitudes à produire de l'amylase. L'analyse de la séquence ADNr 16S à montrer un rapprochement au genre *Streptomyces sp*, plus exactement à une espèce nouvelles dénommée *Streptomyces Al-Dhabi-46*. Cette souche présente une activité amyliasique. L'amylase a été purifiée suite à une série d'étapes réalisées à 4°C. Les étapes principale de la purification sont la précipitation avec du sulfate d'ammonium, la dialyse et la chromatographie. La production d'amylase était maximale avec une activité de (108 \pm 4,1 U/ml) à un pH basique de 8,0 à une température de 40° C.

3.5. Lipases

Les lipases sont des enzymes ayant un pH neutre (8-8,5), possèdent la capacité d'hydrolyse les triglycérides en glycérols et en acides gras (**Fickers et al., 2007**).

Ils sont produites par plusieurs genres d'actinomycètes comme *Streptomyces exfoliates* et *Nocardopsis alba* (**Mukhtar et al., 2017**).

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

3.5.1. Application des lipases

Les lipases sont couramment utilisées en boulangerie, en biscuiterie, en chocolaterie, en fabriquant les fromages, et dans le traitement des sols contaminés par des hydrocarbures (Fickers *et al.*, 2007).

Les techniques de transformation génétiques des actinobactéries pour la production des lipases ont été entreprises. Ces techniques permettent de donner des quantités importantes d'enzymes. Ces approches ont été bien élucidées dans les travaux de Meilleur, 2009. Dans ces travaux, le milieu R5 a été utilisé lors la transformation des protoplastes de *Streptomyces lividans* et leur composition voir les annexes puis stérilisé 20 minutes à 121°C. Lorsque la température a atteint 55°C, 15ml de L-proline 20% et 5ml de NaOH 1N (stérilisée par filtration). Une fois les boîtes pétri coulées, ils ont été laissé sécher à la température de la pièce jusqu'à ce qu'ils perdent 15% de leurs poids (6-7 jours) car la croissance de *S.lividans* est défavorisée par la présence d'humidité. Dans ces mêmes travaux, le milieu Bennett a été utilisé en vue de favoriser la sporulation de *S.lividans*.

Dans ces travaux, les transformant obtenus chez *S.lividans* avec le vecteur pIAFC109 et pIAFD95A ont été repiqués sur la gélose de Bennett contenant de la tributyrine. Les deux transformant possédant la plus grande zone d'hydrolyse. Des extractions des plasmides ont été réalisées. La réussite du clonage étant confirmée et l'expression extracellulaire de la lipase a été vérifiée. Le surnageant de cultures en M14 après 24, 48 et 72h a été traité à l'acétone puis analysé par électrophorèse sur gel de poly acrylamide en présence de SDS. On remarque que la lipase est présent dans le surnageant des cultures et son expression semble la plus marquée après 48 heures d'incubation avec le vecteur p1AFD95A.

Selon les travaux de Titiporn *et al.*, 2020, Soixante-dix-sept échantillons de sol ont été prélevés à la station environnementale de Sakaerat (SERS) en Thaïlande. Un gramme de chaque sol a été ajouté à 50 ml de milieu d'enrichissement (0,5 g/L peptone ; 1,5 g/L KH_2PO_4 1 g/L Na_2HPO_4 0,5 g/L ; MgSO_4 5 g/L; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 0,5 g/L de Na Cl et 120 ml de Tween 80) et incubé à température ambiante de (30°C) à une agitation de 150 tr/min pendant 2 jours. Les cultures de pré-enrichissement ont été diluées avec 0,85% (p/v) de Na Cl, étalées sur des plaques de gélose Tween 80 contenant la solution A et la Solution B (voir les annexes). Des actinomycètes producteurs de lipase produisent des zones de précipitation sur la gélose Tween 80. Les isolats sont ensuite sélectionnés puis ensemencés par stries sur gélose ISP2 (extrait de

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

levure 4 g/L, extrait de malt 10 g/L et dextrose 4 g/L). Les résultats ont indiqué que le meilleur isolat pour la production de lipase tolérante à de hautes températures était la souche A3301. Elle produit une enzyme avec une activité de 108 U/ml dans le milieu de production. L'enzyme brute produite par cette souche a démontré des degrés de thermo stabilité optimales à une température allant jusqu'à 60 °C.

Dans les travaux de **Praveen et al., 2017**, cinq souches de sol ont été prélevées en Inde. Ces échantillons ont été étalés sur la gélose de peptone tween (PTA) additionnée d'actidione (à 20 mg/L) et d'acide nalidixique (à 100 mg/l) pour inhiber la croissance fongique et bactérienne respectivement. Après 7 jours d'incubation à 28 ± 2 ° C, les colonies d'actinobactéries obtenues ont été repiquées sur la gélose à l'extrait de malt et à l'extrait de levure (ISP2). Les résultats obtenus montrent que les souches isolées possèdent une activité enzymatique lipasique. Parmi les cinq souches, la souche Loyola lipase-1 nommé *Streptomyces sp.*, a montré une activité lipasique extracellulaire inductible maximale (523,33 U/ml) à pH 7,0 et température de 40°C.

Une étude a été réalisée par **Al-Dhabi et al., 2019**, qui a été collectés 100g d'échantillon du sol aride de la région des sources chaudes d'Al-Aselah environnement Saoudien. L'isolement des actinomycètes a été réalisé par la méthode standard d'isolement **Al-Dhabi et al., 2019**. Pour le criblage de la lipase, la tributyrine (1.0%) a été incorporée au milieu minimal. Les producteurs de lipase ont montré une zone claire sur les plaques contenant de tributyrine. Après 5 jours la production d'enzyme a été maximale entre (30-50°C). La production de lipase était très élevée en présence de glucose du Mg^{2+} .

3.6. Xylanases

Ce sont des enzymes qui entraînent l'hydrolyse des liaisons (1→4)-β-D-xylosidiques dans les xylanes pour libérer de la xylose. Ces enzymes interviennent dans la dégradation de l'hémicellulose, qui est le principal constituant des parois cellulaires chez les plantes (**Ghribi, 2019**).

3.6.1. Application des xylanases

La xylanase ont été utilisée dans l'industrie de la pâte à papier, dans le blanchiment biologique, dans la biotransformation des textiles et dans la fabrication des aliments pour animaux (**Mukhtar et al., 2017**). Elles varient selon leurs modes d'action, les propriétés du

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

substrat, leurs propriétés biochimiques, leurs structure 3D. Elles sont largement produites par une grande variété de bactéries et de champignons. Actuellement, la production à grande échelle de xylanase est possible en appliquant des outils de génie génétique qui identifient rapidement de nouveaux gènes de xylanase et leurs variations génétiques, ce qui en fait des enzymes idéales (Uma *et al.*, 2016).

Les actinobactéries qui proviennent des sols arides, sont une source importante de ces enzymes. Selon les travaux de Do Nascimienti *et al.*, 2003, 162 souches d'actinomycètes isolées à partir des sols arides Brésiliens ont été criblées pour leur activité xylanase. Ces souches ont été testées sur le milieu (extrait de malt-extrait de levure-agar) pendant 10 jours à 30°C. Les résultats montrent qu'un grand nombre de ces isolats, présentent cette activité enzymatique.

Les techniques de prétraitements utilisées, comme l'ajout du phénol, de l'acide humique ; la température d'incubation et l'emploi de milieu sélectif et les techniques du génie-génétiques, favorisent une sélection d'une catégorie de bactéries capables de donner des enzymes recherchés. Dans les travaux d'Ethier et François, 1992, des souches d'actinomycètes thermophiles xylanolytiques ont été sélectionnées et montre une aptitude à produire des xylanases thermostables et acido-résistantes. L'activité xylanolytique des souches a été caractérisée à l'aide de dosages enzymatiques et de zymogrammes. On a ainsi démontré que la souche la plus intéressante était la souche FC7 puisqu'elle conservait une très bonne activité à des températures élevées (70°C) et à un pH de 4. De plus, elle montrait une activité relativement forte lorsqu'on lui fournissait une liqueur d'hémicellulose comme substrat. Dans ces mêmes travaux, une banque de gènes de cette souche a donc été construite dans *Escherichia coli* afin de cloner les gènes de xylanases. Les clones positifs ont par la suite été transférés dans *Streptomyces lividans* 10-164, qui est un mutant cellulase et xylanase négatif. Le vecteur navette pFD666 a été utilisé afin de faciliter le clonage. Cette banque de gènes nous a permis d'obtenir cinq clones positifs que l'on peut diviser en deux classes de gènes de xylanases différentes. Finalement, ces clones ont été caractérisés enzymatiquement afin d'établir leur activité xylanolytique.

Les travaux mené par Xiuting *et al.*, 2010, un *Streptomyces rameus* L2001 isolé à partir d'échantillons de sol aride en chine (Tianshan, Xinjiang). Les souches ont été cultivées sur le milieu de croissance qui cité ces compositions dans les annexes, et incubé pendant 3-4 jours à

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

40°C. La production de xylanase a été mise en évidence dans des flacons contenant le même milieu. La xylanase extracellulaire a été purifiée 13,3 fois par précipitation avec 40-60% de (NH₄)₂SO₄, DEAE-52 et à l'aide d'une chromatographie d'échange d'ions. La xylanase purifiée a été obtenues à des pH de 4.3 à 6.7. La température optimale stable de cette enzyme était de 70°C.

Selon les travaux de **Suchita et al., 2006**, des échantillons de sol contiennent quatre-vingt-huit d'actinomycètes ont été collectés dans différents sites à Delhi et ses environs et ont été traités initialement avec de l'alcali en suspendant 1 g de chaque échantillon dans de l'eau distillée stérile (pH 9.0). Le milieu d'isolement des actinomycètes est l'AIA (voir les annexes). L'incubation a été réalisée à 30°C pendant 96 heures. Les cultures d'actinomycètes ont été purifiées par transfert répété de cultures et maintenues sur gélose nutritive. Ensuite les isolats d'actinomycètes ont été testés pour leurs capacités à produire de la xylanase, en les cultivant sur un milieu xylan-agar (agar nutritif ajouté avec 2,5 g/l de xylane) à 30°C pendant 48 heures. Les plaques ont été colorées avec une solution de 0,5% (p/v) rouge Congo ensuite décolorées avec du NaCl 1M. Des zones jaunes dans les isolats producteurs de xylane sont apparues. Les isolats positifs ont été cultivés dans un milieu liquide modifié d'Horikoshi dépourvu de glucose supplémenté par 2 % d'azote (w/v) du son de blé à (pH 9.0) à une température de 30°C pendant 144 heures sous agitation de (200 rpm). Les résultats ont montré sur 88 isolats, 69 isolats produisaient l'enzyme xylanase. Dans ces 69 isolats, trois isolats (SN32, SN77, SN83) ont une production de xylanase supérieure à 125 UI/ml. Les études d'identification ont montré que les 3 isolats, sont classés dans le genre *Streptomyces*. Les études phylogénétiques montrent que les isolats SN32, SN77 et SN83 sont assignés respectivement à *Streptomyces cyaneus*, *Streptomyces tendae* et *Streptomyces caelestis*.

Les actinobactéries produisent des enzymes de la dégradation de la lignocellulose, parmi ces enzymes il y a la xylanase. Selon les travaux de **Putri et Setiawan, 2019**. Au total, 57 isolats d'actinomycètes ont été isolés à partir du sol semi-aride de l'Indonésie. Un gramme de chaque échantillon a été dissous dans 10 ml d'eau distillée stérile. Les échantillons ont été incubés à 40°C pendant 20 minutes dans un bain-marie. Par la suite, la suspension de sol a été diluée avec de l'eau stérile jusqu'à 10 fois et a été étalée sur des plaques de milieu Humic Acid Vitamin Agar (HVA) complété par du cycloheximide (50 mg/l) et de l'acide nalidixique (20 mg/l). Les plaques ont été incubées à 30°C pendant 7-14 jours. Les isolats d'actinomycètes qui ont bien poussé sur le milieu HVA ont été sélectionnés sur la base de leur morphologie, afin d'être

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

purifiés sur Yeast Starch. Les résultats indiquent que la capacité des actinomycètes à dégrader le xylane se traduit par une zone claire sur milieu CMC et milieu gélosé additionné de xylane. Sur 57 isolats, cinq ont produit de la xylanase et trois isolats produisaient à la fois de la cellulase et de la xylanase. Après l'identification des isolats performants, les actinomycètes xylanolytiques appartiennent à 3 genres (*Asanoa*, *Kribella* et *Streptomyces*). Le résultat a montré que ces niches écologiques sont capables d'offrir des actinomycètes capables de produire des xylanases et des cellulases très bio technologiquement intéressantes.

Selon les travaux de **kumar et al., 2012**, des échantillons de sols arides dans une région à New Delhi, en Inde, ont été analysés pour leur composition en actinobactéries. Les échantillons ont étéensemencés par la technique conventionnelle sur le milieu d'isolement des actinomycètes contenant (g/L) : (caséinate de sodium 2,0 ; L-asparagine 0,1 ; propionate de sodium 4,0 ; K_2HPO_4 0,5 ; $MgSO_4$ 0,5 ; $FeSO_4$ 0,001 et gélose 15,0 ; pH 8,0) et incubé à 37°C pendant 96 h. Les colonies d'actinomycètes développées ont été purifiées puis testées pour leurs aptitudes à produire de la xylanase. La méthode sur plaque congo-rouge a été utilisée pour mettre en évidence l'activité enzymatique. Les résultats ont montré que 13 isolats possèdent la capacité de produire de la xylanase. Parmi ces isolats, R-10 présente la plus grande zone d'hydrolyse sur une plaque de gélose au xylane inondée de rouge congo. L'identification moléculaire basée sur la séquence du gène de l'ARNr 16S a montré que l'isolat R-10 était apparenté au genre *Streptomyces*. L'actinobactérie a été baptisée *Streptomyces sp. RCK-2010*. L'activité enzymatique était plus active à 60 °C et pH 6,0 et stable à 40 % après 4 h à température optimale.

Dans les travaux de **Rifaat et al., 2006**, vingt souches de *streptomycètes* ont été isolées à partir de sols arides égyptiens. Une recherche des isolats qui produisent de la xylanase sans production de cellulase ont été testés, en utilisant un déchet agricole comme substrat à faible coût. Les études d'identification des isolats actifs, ont montré que, les deux souches sont assignées à *Streptomyces albus* et *Streptomyces chromofuscus*. L'activité de la xylanase maximale était de 13,25 ; 19,31 et 32,53 ; 43,01 sur la pulpe de paille de riz non traitée et la pulpe traitée avec du TiO_2 chez les deux espèces de *Streptomyces* respectivement. Cette activité enzymatique a augmenté lorsque les deux isolats ont été cultivés sur extrait de levure et la production optimale de xylanase a été enregistrée après cinq jours de fermentation. La xylanase

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

produite avec *Streptomyces chromofuscus* a montré une activité plus élevée que celle de *Streptomyces albus*.

Les travaux récents de **Rafai, 2019**. Montrent que les sols arides de la région Sidi Okba de la wilaya de Biskra, sont aussi une source importante d'actinobactéries possédant des activités enzymatiques intéressantes. L'isolement a été effectué dans le milieu de Gausse (la composition de ce milieu dans les annexes). Les résultats obtenus indiquent que les isolats sont capable l'hydrolyser le xylène montrant que ces souches produisent la xylanase.

3.7. Kératinases

Ce sont des enzymes utilisées pour l'hydrolyse de la kératine pour le recyclage des déchets kératique (**Mukhtar et al., 2017**). La kératinase est responsable du clivage des peptides, ce qui la rend attrayante dans les industries pharmaceutiques et de la plume (**Qingxin, 2021**)

3.7.1. Mode d'action des kératinases

Les kératinases identifiées soient la sérine et les métallo-protéases sont capables de rompre la liaison peptidique dans les chaînes peptidiques. Elles reconnaissent les substrats hydrophobes et affectent les liaisons disulfures. Cette liaison est cassée par les kératinases à l'aide d'autres enzymes.

La dégradation de la kératine, implique le passage de la kératinase par deux étapes successives. Elle débute par la libération du peptide de la kératine et leur dégradation. La deuxième étape est la réaction de la réduction, qui peut être catalysée par des disulfure réductases ou des agents réducteurs (**Sangali et Brandelli, 2000; Rahayu et al., 2012; Lange et al., 2016**).

Des techniques de cellules immobilisées ont été largement appliquées dans ce domaine, afin de traiter certains déchets (**Li et al., 2018; Song et al., 2018; Pinski et al., 2020; Zolfaghari et al., 2021**).

Selon des rapports récents, il apparait que la dégradation complète de la kératine ou des déchets kératiniques, nécessitent l'intervention de plusieurs enzymes (**Qiu et al., 2020**).

3.7.2. Application des kératinases

La kératine est une source précieuse de carbone, d'azote et de soufre qui peut être convertie en divers produits, il se trouve largement dans la nature (**McKittrick et al., 2012; Wang et al., 2016**). Les kératinases ont de nombreuses applications industrielles et

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

biotechnologiques en raison de leur capacité à dégrader les kératines (Qingxin, 2021). Ils sont regroupés dans la figure 16.

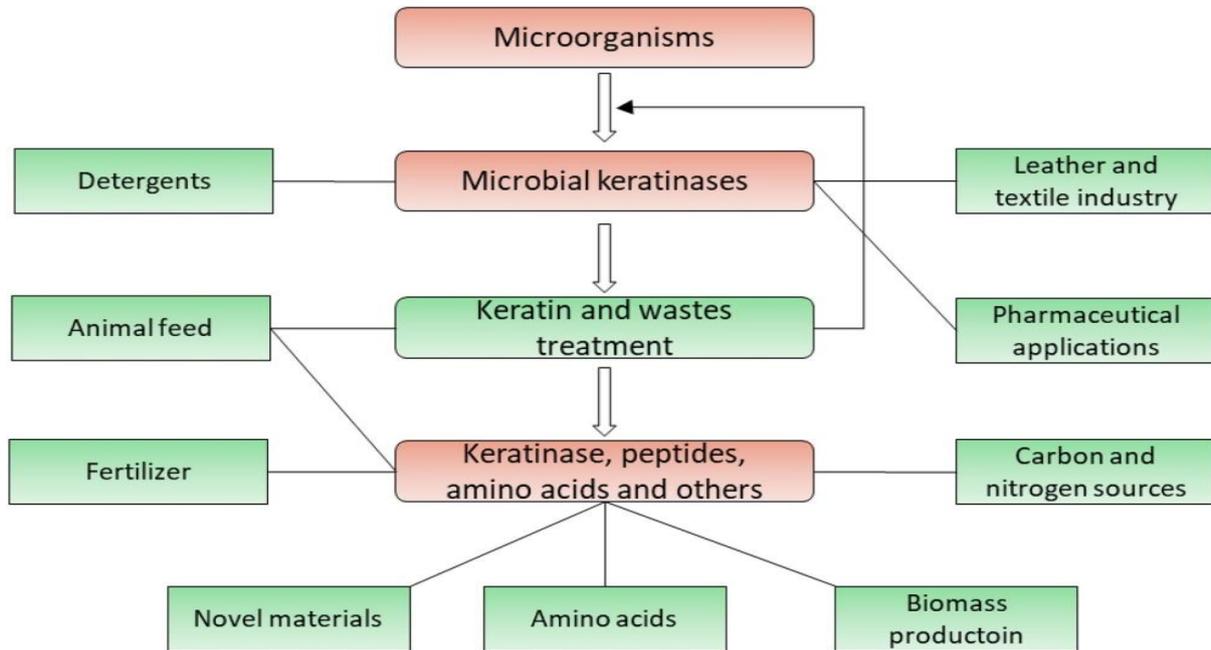


Figure 13. L'application des kératinases dans différents domaines (Qingxin, 2021).

3.8. Pectinases

Les pectinases sont un groupe d'enzymes qui catalysent la dégradation des substances pectiniques, soit par des réactions de dépolymérisation (hydrolases et lyases), soit par une dés-estérification (estérases) (Ram et Ashok, 2019). Certaines actinobactéries peuvent en produire c'est le cas par exemple de *Streptomyces lydicus* (Mukhtar et al., 2017).

Il existe aussi d'autres pectinases appelées (polygalacturonase). Elles forment un groupe de pectinase très importants et très employées dans l'industrie (Mukhtar et al., 2017).

3.8.1. Application de pectinases

Elles sont appliquées dans la clarification des vins, des jus des huiles et des composés aromatiques (Preksh et al., 2013).

Les travaux de Saudi et al., 2006, sur l'isolement d'actinobactéries capables de produire des enzymes pectinolytiques, ont été effectués au niveau de deux stations de palmeraies de la wilaya de Biskra, l'une étant une station privée à environ 10Km de Sour El

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

Khizlane, et l'autre dans la station technique de développement agricole saharien « Oued Ben El Noui».

Cinq souches de *Streptomyces* ont été testées pour leurs activités pectinolytiques. La souche *Streptomyces coelicolor* ATCC 10147 a été prise comme référence pour la comparaison des activités pectinolytiques. Les souches sont repiquées sur milieu minérale de Hankin, en ajoutant comme unique source de carbone, la pectine de citrus estérifiée à 72 %.

Après six jours de culture en milieu liquide, l'activité pectinolytique est recherchée directement dans les filtrats de culture par chromatographie sur couche mince. La cuve de migration contient le mélange de solvants: acide formique n-butanol-H₂O (3 : 2 : 1) V/V. Après révélation par l'acide sulfurique à 5% dans l'éthanol à 95% et un chauffage à 100°C. La mesure du Real UA du digalacturonate insaturé, permet d'identifier les produits finaux de dépolymérisation.

Les pectinases peuvent être des polygalacturonases ou des lyases ou un mélange d'estérase et de dépolymérasés. Les résultats ont révélés que plusieurs de ces isolats ont des activités pectinolytiques.

Ce sont les travaux de **Ladjama et al., 2007**, effectués sur les sols arides de Biskra qui ont montrés qu'il existe un grand pourcentage d'actinomycètes qui possèdent cette activité pectinolytique. En effet dans ces investigations, 70% des espèces étaient pectinolytiques et plus de 80% font partie du genre *Streptomyces*.

Tableau 11. Enzymes produites par des actinomycètes provenant des systèmes arides et leurs caractéristiques et applications (**Mukhtar et al., 2017; Preaksh et al., 2013**).

Enzyme	Production de souche	Stabilité au pH	Stabilité thermique	Spécificité du substrat	Application industrielle
Cellulase	<i>Streptomyces recombinant sp.</i>	5,0–12,0	40–50°C	Carboxyméthylcellulose	Papier de pulpe textiles Détergent
	<i>Thermobifida halotolerants.</i>	6.0–8.0	40–50°C	CMC	
	<i>Thermomonospora sp.</i>	7.0–10.0	50°C	CMC	
				CMC	

Actinobactéries provenant des sols arides et semi-arides comme source d'enzymes

	<i>Streptomyces ruber</i>	5,5–7,0	35–40°C		
Protéase	<i>Streptomyces pactum</i>	7.5	40°C	Caséine	Pharmaceutique
	<i>Streptomyces thermoviolaceus</i>	6,5	65°C	kératine	détergent cuir
Kélatinase	<i>Actinomadura keratinilytica</i>	10	70°C	Kératine	cuir
Amylase	<i>Streptomyces serumpens</i>	9	45°C	Amidon	Détergent
	<i>Thermobifida fusca</i>	6	60°C	Amidon	Papier de pulpe
Xylanase	<i>Streptomyces spp</i>	9	50°C	Xylane	Papier de pulpe
	<i>Actinomadura sp</i>	4	70°C	Xylane	
Lipase	<i>Streptomyces exfoliates</i>	6	37°C	Triglycéride	Papier de pulpe
	<i>Nocardiopsis alba</i>	7	30°C	triglycéride	détergent
Chitinase	<i>Streptomyces thermoviolaceus</i>	6	60°C	Chitine	Textiles
		7	55°C	chitine	cuir
	<i>Nocardiopsis prasina</i>				
Pectinase	<i>Streptomyces lydicus</i>	6.5	45°C	Acide polygalacturonique	Textile Boisson

Discussion générale

Discussion générale

L'exploration des écosystèmes nouveaux est une approche scientifique très demandée et nécessaire. Les directions des chercheurs s'orientent vers des niches et des endroits les moins explorés. Les sols arides et semi-arides sont considérés comme étant des environnements extrêmes où la vie est rude et que la microflore doit s'adapter afin de vivre dans ces conditions difficiles. Les travaux récents montrent une biodiversité insoupçonnée de microorganismes dans ces biotopes.

Les actinobactéries sont universellement répandus dans presque tous les écosystèmes, avec toutefois une préférence pour les sols grâce à leurs capacités d'adaptation aux différentes conditions environnementales et leurs variabilités métaboliques. Malgré la lenteur de leur croissance, ces microorganismes sont très recherchés en biotechnologie. Les raisons principales sont leurs aptitudes à produire de nombreuses biomolécules et substances qui ont un rôle essentiel dans la décomposition de la matière organique et dans le recyclage des éléments dans les sols (**Lamari, 2006**). Les sols forestiers, de prairies, agricoles et autres des zones non arides ont été amplement explorés et les actinobactéries qui y regorgent ont été largement exploitées. Pour ces raisons et dans l'espoir d'augmenter la probabilité de découvrir de nouveaux actinomycètes, possédants des aptitudes métaboliques d'adaptation, pouvant être innovantes, les recherches ont pris les stratégies d'explorer les écosystèmes extrêmes tels les sols arides et semi-arides.

Dans notre recherche bibliographique, plusieurs travaux ont montrés que les sols arides et semi-arides sont une source très appréciée d'actinobactéries. En outre, dans ces biotopes rudes, les rapports indiquent que ce sont les genres rares (autre que les *Streptomyces*) qui sont retrouvés, comme *Nocardia*, *Nocardiopsis*, *Microbispora*, *Thermobifida*, *Asanoa* et *Kribella* (**Mukhtar et al., 2017; Putri et Setiawan, 2019**).

Ces recherches sont confirmées et s'accordent parfaitement avec ceux de (**Putri et Setiawan, 2019**), qui disent que beaucoup d'échantillons de sols arides, sont peuplés d'actinobactéries rares, comparativement aux mêmes travaux qui ont été menés anciennement sur des sols non arides.

Les rapports s'accordent à dire aussi que ces sols sont une source importante de nouveaux genres et de nouvelles espèces. Cependant, le genre *Streptomyces* reste le plus répandu où plusieurs espèces et souches nouvelles ont été découvertes.

Discussion générale

Ces actinomycètes ont montrés des activités enzymatiques différentes comme les cellulases, les protéases, les kératinases, les amylases, les xylanases, les lipases, les chitinases et les pectinases. Ces enzymes, sont actives à des températures qui varient entre 30-50°C et des pH allant de 4 à 7. Ces caractéristiques sont très recherchées en biotechnologie et permettent d'utiliser ces molécules protéiques dans plusieurs secteurs comme l'industrie des lessives, en agro-alimentaire, en médecine etc.,

Le milieu le plus couramment utilisé pour l'isolement des actinobactéries à partir des sols arides et semi-arides est le milieu ISP-2 (gélose d'extrait de malt et de levure milieu 2 de projet international Streptomyces), L'extrait de malt est utilisé comme source de sucre, de carbone, et d'énergie, tandis que l'extrait de levure est la source essentielle de vitamines de complexe B hydrosoluble et d'acide glutamique libre. Selon (**Dastager *et al.*, 2009; Moreira *et al.*, 2002; Praveen *et al.*, 2017**), le milieu ISP-2 pouvez être le plus favorable pour l'isolement des actinomycète de sol aride et semi-aride. D'autres milieux ont été utilisés pour isoler les actinomycètes. Il s'agit selon les travaux regroupé dans ce mémoire du SCA; CSPY-ME; SA. (**Laishram *et al.*, 2019**). A notre avis, il serait intéressant de tester de nouveaux milieux d'isolement, afin d'augmenter les chances de succès dans ce type de recherche.

La majorité des chercheurs découvrent que les pluparts des actinomycètes isolés de ces écosystèmes arides et semi-arides se développent à des températures comprises entre 35 et 70°C. De plus, il est à noter que la plupart des nouveaux genres et nouvelles espèces ont été isolées dans différents pays tel que l'Inde, le Brésil, l'Egypte, l'Algérie et l'Arabie saoudite. Il serait très prometteur d'explorer d'autres régions du monde entier et même de chercher dans d'autres niche écologiques spécialement rudes comme les roches, les caves et bien d'autres.

La plus longue durée d'incubation dans ces travaux est d'environ 14 jours. Nous pensons que cette durée est insuffisante. Il serait plus judicieux de laisser les biotes en culture pendant une durée d'environ 1 mois. Dans cette situation il faut prendre en considération le fait que les boites se sèchent durant cette longue période et trouver par conséquent, des moyens de garder les boites humides.

Conclusion

Et

perspectives

Conclusion et perspectives

L'objectif de cette étude est de montrer que les sols arides et semi-arides, sont une source d'une biodiversité importante d'actinomycètes. Ces derniers peuvent être des genres des espèces ou des souches inédites.

Dans ces sols, plusieurs recherches concernant l'étude de la biodiversité microbienne et métabolique des actinobactérie sont été publiées. Ils témoignent d'une richesse inattendue de ce genre de bactéries. Nous avons pu décrire plusieurs représentants de cette catégorie bactérienne très importante en biotechnologies. Dans cette revue bibliographique, nous avons constaté que ces dernières années, les publications scientifiques qui concernent les actinobactéries des sols arides et semi-arides deviennent relativement abondantes comparativement à un passé proche. Plusieurs travaux mettent en évidence la présence dans ces écosystèmes extrêmes, d'actinobactéries thermophiles capable de vivre à des températures élevées et quelques fois extrêmement élevée.

Ces écosystèmes mal exploré offrent des actinobactéries mal exploités. Ce sont des produits pharmaceutiques divers et plus spécialement des enzymes, qui sont produit par ces bactéries. Un large éventail d'enzymes appliqués dans les industries biotechnologiques et les domaines biomédicaux ont été signalé à partir de divers genres d'actinomycètes (**Nawani et al., 2013**). Les genres *Streptomyces*, *Nocardiopsis*, *micromonospora* sont dominant parmi les actinomycètes isolés à partir de ces niches écologiques. Ils ont montrés des capacités uniques à produire une variété d'enzymes hydrolytiques extracellulaires (**Laishram et al., 2019; Mukhtar et al., 2017**).

Nous signalons cependant, que les genres d'actinobactéries rares (autres que les *Streptomyces*), sont bien représentés et mérite d'être mieux étudiés pour leurs potentiels biotechnologiques.

Compte tenu de nos résultats, plusieurs perspectives peuvent être proposées:

- Il serait toujours intéressant de continuer à valoriser les sols arides et semi-arides par l'emploi de nouvelles techniques d'isolement et l'utilisation des approches de screening orientés et de diversifier les échantillons de sols.
- Des études métagénomiques sont plus que souhaitables, afin d'élargir l'étude de la biodiversité en actinobactéries.

Les références bibliographiques

Les références bibliographiques

A

Al-Dhabi NA., Ali Esmail G., Ghilan,AKM., Arasu MV., Duraipandiyam V., Ponmurugan K. (2020). Isolation and purification of starch hydrolysing amylase from *Streptomyces* sp. Al-Dhabi-46 obtained from the Jazan region of Saudi Arabia with industrial applications Journal of King Saud University – Science 32, 1226–1232.

Al-Dhabi NA., Esmail GA. Et Ghilan. MA. (2019). Isolation and screening of *Streptomyces* sp. Al-Dhabi-49 from the environment of Saudi Arabia with concomitant production of lipase and protease in submerged fermentation. Saudi Journal of Biological Sciences, 27, 474-479.

Al-Tai AM., Abdul-NourBA.,Razzak SH. (1989). Cellulase production from actinomycetes isolates from IRAQ soils: Characterization of a cellulolytic *Streptomyces* Sp. AT7. Journal of IslamicAcademy of Sciences, 2(2), 109-112.

Amandine, G. (2016). Plantes médicinales et antioxydants. Thèse de Doctorat : Science pharmaceutiques. France(Toulouse) : Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 102pp.

Anandan R., Dharumadurai D. and Gopinath PM. (2016). Actinobacteria-Basics and biotechnological Applications: An Introduction to Actinobacteria. India: Dharumadurai, Dhanasekaran., Yi, Jiang. 400p.

Andriambololona, T. (2010). Etude biologiques et chimiques des métabolites secondaires des actinomycètes telluriques cas de la forêt d'Ankafobe. Thèse de doctorat. Université d'Antananarivo. 5-10.

Aouar, L. (2012). Isolement et identification des actinomycètes antagonistes des microorganismes phytopathogènes, Thèse de doctorat : biochimie et microbiologieappliquées. Algérie(Constantine): Université Mentouri-Constantine, 240p.

Athalye M., Goodfellow M., Lacey J. And White RP. (1985). Numerical Classification of *Actinomadura* and *Nocardioopsis*. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 35(1), 86-98.

B

Backer B., Lechevalier MP. And Lechevalier HA. (1965). Chemical Composition of CellWall Preparations from Strains of Various Form-Genera of Aerobic Actinomycetes. ApplMicrobiol, 13(2), 236-243p.

Badji, B. (2006). Etude de la taxonomie et des antibiotiques de trois souches d'actinomycètes d'origine saharienne appartenant aux genres *Actinomadura* et *Nonomuraea*. Thèse de Doctorat de l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 226 p.

Bailey MJ., Biely P. And Poutanen K. (1992). Interlaboratory testing of methods for assay of xylanase activity. *Journal of Biotechnology*, 23(3), 257-270.

Balagurunathan R., Radhakrishnon M and Somasundaram ST. (2010). L-glutaminase Producing Actinomycetes from marine sediments-selective isolation, semi quantitative assay and characterization of potential strain. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(5), 698-705.

Beckers. HJA., Van Der Hoeven JS. (1982). Growth Rates of *Actinomyces viscosus* and *Streptococcus mutans* During Early Colonization of Tooth Surfaces in Gnotobiotic Rats. *Infection and immunity*, 35(2), 83-587.

Belyagoubi, L. (2014). Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels algériens. Thèse de Doctorat Université Aboubakr Belkaid-Tlemcen. 14-17.

Berkal, I. (2006). Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie. Mémoire de magister : science agronomique. Algérie : Institut National Agronomique-El Harache-Alger, 118p.

Blais, S. (2002). La problématique des cyanobactéries (algues bleu-vert) à la baie Missisquoi en 2001. *Agrosol*, 13(2), 103-110.

Bouchlaghem W. And Aggoun A. (2020). Activités antimicrobienne et antioxydante des actinobactéries. Mémoire de master : Microbiologie Appliquée. Algérie (Oum El Bouaghi) : université Larbi Ben M'hidi, 63p.

Boudjella, H. (2007). Etude taxonomique et des propriétés antagonistes des *Streptosporangium* des sols sahariens : caractérisation des principaux antibiotiques sécrétés par trois souches. Thèse de Doctorat : Botanique. Institut National Agronomique El Harrach (Alger), 177pp.

Boughachiche F., Reghioia S., Oulmi L., Boudemagh A. and Boulahrouf A. (2005). Isolement d'actinomycétales productrices de substances antimicrobiennes à partir de la sebkha de Ainmlila. *Sciences. Technol.* 23, 5-10.

Boukahili AB., Chachoua H. And Mamames M. (2020). Caractéristiques Des Actinomycètes Et De Certains De Leurs Métabolites Bioactifs (antibiotiques Et Enzymes). Mémoire de Master : Microbiologie Appliquée. Algérie (Om El-Bouaghi): Université Larbi Ben M'hidi, 55p.

Boullard B. et Moreau J. (1962). *Sol : microflore et végétation*. Paris : Masson. 289p.

Bouras N., Merrouchen R., Lamari L., Mathieu F., Sabaou N., Lebrihi A. (2008). Precursor directed biosynthesis of new dithiopyrrolone analogs by *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137. *Process Biochemistry*, 43(11), 1244-1252.

Bourguignon C. ET Bourguignon L. (2015). Le sol la terre et les champs : Pour retrouver une agriculture saine. Claude Bourguignon et Lydia Bourguignon. 256p.

Bousnina H. Et Ghedeir AS., (2020). Synthèse bibliographique sur la recherche de souches bactériennes locales productrices de substances antimicrobiennes de la région d'Ouargla. Mémoire de master : Qualité des produits et sécurité alimentaire. Algérie (OUARGLA) : Université KasdiMerbah, 84p.

Boutray, ML. (2017). Les cyanobactéries et leurs toxines dans les sources d'eau potable. Thèse de doctorat : Sciences et Techniques de l'Environnement. France : Université Paris-Est, 513p.

Brzezinska MS., Jankiewicz U. et Walczak M. (2013). Biodegradation of chitinous substances and chitinase production by the soil actinomycete *Streptomyces rimosus*. International biodeterioration and biodegradation, 84, 104-110.

C

Cai YQ., Xue Z. Chen et Zhang R. (2009). Classification and salt-tolerance of actinomycetes in the Qinghai lake water and Lakeside saline soil. J. Sust. Dev02(1),107- 110.

Calvet, R. (2003). Le Sol, Propriété Et Fonction. Tome 2 : Phénomènes physiques et chimiques, applications agronomiques et environnementales. France: Calvet, R. 511p.

Cavalcanti, MTH. Martinez, CR, Furtado, VC. Neto, BB. Teixeira, MF. Lima Filho, JL and Porto, ALF. (2005). Milk-clotting protease production by *Nocardopsis* sp. in an inexpensive medium. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 21,151–154.

Chargaff E., Zamenhof S., Green C. (1950). Human Desoxyribose nucleic acid: composition of human desoxyribose nucleic acid. Nature, 165, 756-757.

Cho SH., Hwang HK. Chuang et Yang CS. (1994). A new medium for the selective isolation of soil actinomycetes. J. Appl. Microbiol. Biotech. 22, 561- 563.

Colombié V. (2005). Description de la production de la spiramycine par *Streptomyces ambofaciens*. Modélisation métabolique, simulation et capteur logiciel. Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 174p.

Colombié, V. (2005). Description de la production de spiramycine par *StreptomycesAmbofaciens*. Modélisation métabolique, simulation et capteur logiciel. Thèse de Doctorat :Microbiologie et Biocatalyse industrielles. Institut National des Sciences Appliquées. France(Toulouse) : Institut National des Sciences Appliquées, 174p.

Cook AE. And Meyers PR. (2003). Rapid identification of filamentous actinomycetes to the genus level using genus-specific 16S rRNA gene restriction fragment patterns. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 53(6), 1907-1915.

Cross, T. (1981). Aquatic actinomycetes : a critical survey of the occurrence, growth and role of actinomycetes in aquatic habitats. J. Appl. Bacteriol 50, 397-423.

D

Dabin, B. (1970). Technique rurales en afrique : chapitre IX : les facteurs climatiques et physiques de la fertilité des sols. Paris :Dabin, B. 29p.

Danilenko VN., Mironov VA., Elizarov SM. (2005). Calcium as a Regular of Intracellular Processes in Actinomycetes. A review app BiochemMicrobiol 41 (4) , 319-329.

Dastager G., Syed DA., Ashok P. (2009). Production and partial purification of α -amylase from a novel isolate *Streptomyces gulbargensis*. Journal IndMicrobiolBiotechnol, 36, 189-194.

De Souza PM., Magalhães PO. (2010). Application of microbial α -amylase in industry. Brazilian journal of microbiology, 41(4), 850-861.

Dehkordi MM. et Javan FA. (2012). Application of alpha-amylase in biotechnology. Journal of Biology and today's world, 1(1), 39-50p.

Dharmaraj, S. (2010). Marine *Streptomyces* as a novel source of bioactive substances. World journal of microbiology and biotechnology, 26(12), 2123-2139.

Djaballah, C. (2010). Biodiversité des actinomycètes halophiles et halotolérants isolés de la sebkha de Ain M'lila. Mémoire de Magister : Microbiologie. Algérie(Constantine) : Université Mentouri-Constantine, 85p.

Do Nascimento RP., Marques S., Alves L., Grírio F., Amaral-Collac MT., Doralice Rodrigues Sacramento DR., da Silva Bon EP. and Rodrigues Coelho RR. (2003). A novel strain of *Streptomyces malaysiensis* isolated from Brazilian soil produces high endo-b-1, xylanases. Journal of Microbiology&Biotechnology, 19, 879–881.

Dommergues Y., Mangenot F. (1970). Écologie Microbienne Du Sol. Paris : Masson et Cie. 803p.

Donadio S., Monaciradini P., Alduina R., Massa P., Chiocchini C., Cavaletti L., Sosio M and Puglia AM. (2002). Microbiol Technologies for the discovery of novel bioactive metabolites. J. Biotechnol., 99, 187-198.

E

Édilla RDS., ZozileneNST., Núria MC., Diogo AJDS., Aline SDRB. and Rodrigo PDN. (2012). Production of α -Amylase from *Streptomyces* sp. SLBA-08 Strain Using Agro-Industrial By-Products. In international journal: Brazilian archives of biology and technology, 55(5), 793-800pp.

El-Nakeeb M. Et Lechevalier H. (1962). Isolation of aerobic actinomycetes. Appl. Microbiol. 11, 75- 77.

Ensign JC., 1978. Formation, properties and germination of actinomycetes spores. Annu. Rev. Microbiol. 144, 657-660.

Essaid, AB. (2016). Taxonomy, physiology, and natural products of actinobacteria. Journal of microbiology and molecular biology reviews, 80(1), 1-43.

Ethier. Et François. (1992). Isolement d'actinomycètes thermophiles et clonage de gènes de xylanases. Mémoire de master : biotechnologie. Canada : université de Sherbrooke, 67p.

F

Fickers P., Destain J., Thonart P. (2007). Les lipases sont des hydrolases atypiques: principales caractéristiques et applications. biotechnol. Agron. Soc. Environ, 12(2), 119-130.

Flardh K. et Buttner JM. (2009). Morphogénétique de Streptomyces : dissection de la différenciation chez une bacteria filamenteuse. Nat Rev Microbiol, 7(1), 36-49.

G

Gamal MES. Oussama MD., Ahmad SEH. (2017). Screening for alkaline proteases produced by thermophilicactinomycetes isolated from Egyptian localities. Reaserchgateureau al azhar, 9, 289-299.

Ganesh Kumar C., Mongolla P., Joseph J., Nageswar YVD . 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 Medical (20), 283-289.

Garet, G. (2014). Classification et caractérisation de familles enzymatiques à l'aide de méthodes formelles. Thèse de doctorat:bio- informatique. Bretagne: Université Rennes 1, 153 pp.

Gasmi M., kitouni M., Carro L., Pijic P., Normand P., Boubakri H. (2019). Chitinolyticactinobacteria isolated from an Algerian semi-arid soil: development of an antifungal chitinase-dependent assay and GH18 chitinase gene identification. Annals of Microbiology, 69,395-405.

Gasmi, M. (2019). Isolement, identification et criblage d'actinomycètes à activité chitinolytiquea partir du sol de la région de Laghouat. Optimisation de la production de chitinase par *streptomycesgriseorubens* C9 par la méthode des surfaces de réponse. Thèse de doctorat : Biotechnologies et Biochimie. Algérie(Constantine): université Mentouri-Constantine, 164p.

Gazenko SV., Reponen TA., Grinshpun SA., Willeke K. (1998). Analysis of airborne actinomycetes spores with fluorescent substrates. *Appl. Environ. Microbiol*, 32(1), 24-32.

Ghose TK. and Sahai V. (1979). Production of cellulases by *Trichoderma reesei* QM 9414 in fed-batch and continuous-flow culture with cell recycle. *Biotechnology and Bioengineering*, 21(2), 283-96.

Ghribi, M. (2019). La biodiversité microbienne des déchets (Boues papetières et huiles usées) et son potentiel d'application enzymatique. Thèse de doctorat. Biologie cellulaire et moléculaire. Québec: Université du Québec: 201pp

Girard MC., Walter C., Remy JC., Berthelin J. et Morel JL. (2005). *Sols et environnements*. France : Dunod. 80p.

Gobat JM., Aragno M. et Matthey W. (2003). *Le sol vivant : Bases de pédologie, Biologie des sols*. 2ème Edition. Lausanne, Italie : Gobat, JM., Aragno, M. et Matthey, W. 569p.

Gobat JM., Aragno M. et Matthey W. (2010). *Le Sol Vivant : Bases de Pédologie Biologie Des Sols*. Lausanne, Italie : Jean-Michel Gobat, Michel Aragno et Willy Matthey. 569p.

Gobat JM., Aragno M., Matthey W. (1998). *Le Sol Vivant. Bases De Pédologie, Biologie Des Sols*. Lausanne, Italie : Gobat, JM., Aragno, M., Matthey, W. 569p.

Goodfellow M. and Williams ST. (1983). Ecology of actinomycetes. *Annual Review of Microbiology*, 37, 189-216.

Goodfellow, M *et al.*, (2012). Phylum XXVI. Actinobacteriophyl. Springer New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Goodfellow. *Bergey Manual of Systematic Bacteriology. The Actinobacteria*, 5(A), 1455-1616pp.

Gottlieb D. (1973). General consideration and implication of the Actinomycetales. In: *Actinomycetales characteristics and practical importance*. Edited by G. Sykes and FA. SK.

Gratzfeld, J. (2004). *Industries extractives dans les zones arides et semi-arides : Planification et gestion de l'environnement*. United Kingdom. 112p.

Grigorevski de Lima AL., Nascimento RP., Bon EP. And Coelho RR. (2005). *Streptomyces drozdowiczii* cellulase production using agro-industrial by-products and its potential use in the detergent and textile industries. *Enzyme. Microbial technol.* 37, 272-277.

H

Hagedorn C. (1976). Influences of soil activity on *Streptomyces* population inhabiting forest soils. *Appl. Environ. Microbiol.* 32, 868- 375.

Harvey, I. (1999). Selection de tests discriminants pour l'identification rapide des actinomycètes thermophiles impliqués dans l'évolution allergique extrinsèque. Thèse de Doctorat. Université Laval (Canada). 127p.

Hasani A., Kariminik A., Issazadeh K. (2014). *Streptomyces* characteristics and their antimicrobial activities. *International journal of advanced biological and biomedical research*, 2(1), 63-75

Hayakawa, M. (2008). Studies on the isolation of rare actinomycetes in soil. *Actinomycetol.* 22, 12- 19.

Henri J., Jurion F. (1969). Can primitive farming be modernized .publication INEAC, Horssérie, Bruxelles, 457p.

Holt JG., Krieg NR., Sneath PHA., Staley JT., Williams ST. (1994). In: *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 9th edition. Williams and Wilkins, Baltimore, 786-788.

Hsu SC. Et Lockwood JL. (1975). Powdered chitin agar as a selective medium for enumeration of actinomycetes in water and soil. *Applied microbiology* 29 (3), 422-426.

J

Jaradat Z., Dawagreh A., QotaibaAbabneh Q., IsmailSaadoun I. (2008). Influence of Culture Conditions on Cellulase Production by *Streptomyces*Sp. (Strain J2). *Jordan Journal of Biological Sciences*,1(4), 141- 146.

Jaune, GM. (2011). *Les Bactéries leur monde et nous : vers une biologie intégrative et dynamique*. Edition Dunod. 181p.

Javiera VD., Felipe M., Isidora M., Pulgar R. et González M. (2020). Microbial communities from arid environments on a global scale. A systematic review. *Biological Research*, 53, 29p.

Jeyadharsan, VN. (2013). Production et purification partielle de la protéase par les espèces *Actinomyces*. *Journal international des publications scientifiques et de recherche*, 3, 1-3.

K

Kanayo FN. (2018). L'avantage des terres arides. Protéger l'environnement, autonomiser les populations. Kanayou F. Nwanze, Président Du FIDA. 44p.

Kar S., Ray RC. (2007). Statistical optimization of α -amylase production by *Streptomyces erumpens* MTCC 7317 cells in calcium alginate beads using response surface methodology. *Polish journal of microbiology*, 57(1), 49-57

Kasana RC., Salwan R., Dhar H., Dutt S. et Gulati A. (2008). Une méthode rapide et facile pour la détection des cellulases microbiennes sur des plaques de gélose à l'aide d'iode de Gram. *Microbiologie actuelle*, 57(5), 503-507.

Kieser T., Bibb JM., Buttner JM., Chater FK., David AH., (2000). *Practical Streptomyces Genetics*. The John Innes Foundation. 161-171.

Kitouni, M. (2007). Isolement de bactéries Actinomycétales productrices d'antibiotiques à partir d'écosystèmes extrêmes. Identification moléculaires des souches actives et caractérisation préliminaires des substances élaborées. Thèse de Doctorat : microbiologie appliquée. Algérie (Constantine): Université Mentouri de Constantine., 205p.

Kumar A., Gupta R., Shrivastava B., Pal Khasa Y., Ramesh Chander Kuhad RC. (2012). Production de xylanase à partir d'un isolat d'actinomycètes alcalophiles *Streptomyces* sp. RCK-2010, sa caractérisation et son application à la saccharification de la biomasse de seconde génération. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatique*, 74(3-4), 170-177.

L

Lacey, Y. (1973). Actinomycetes in soils, composts and fodders. *Soc. Appl. Bacteriol. Sym. Ser. 2*, 231-251.

Ladjama A., Chardron-Loriaux I., Foglietti MJ. (2007). On the pectolytic activity of two streptomyces strains. *FEMS. Microbiol. Lett*, 79, 279-284.

Laishram SS., Hemant S., Dinabandhu S. (2019). Actinomycetes from Soil of Lachung, a Pristine High Altitude Region of Sikkim Himalaya, Their Antimicrobial Potentiality and Production of Industrially Important Enzymes. *Advances in Microbiology and Scientific Research*, 9(8), 750-773.

Lamari, L. (2006). Production de nouveaux antibiotiques du groupe des pyrrothines par une nouvelle espèce d'actinomycète, *Saccharothrix algeriensis*. Thèse de doctorat : biologie, option microbiologie. Algérie (Tizi-Ouzou): Université Mouloud Mammeri, 45- 186 pp.

Lange L., Huang Y. et Busk PK. (2016). Microbial decomposition of keratin in nature-a new hypothesis of industrial relevance. *Appl Microbiol Biotechnol*, 100(5), 2083-2096.

Larparent JP. and Larparent GM. (1985). *Éléments de Microbiologie*. Paris: Hermann (10 avril 2016). 264p.

Larparent JP., Sanglier JJ. (1989). *Biotechnologie des antibiotiques*. Paris, Masson: Larparent Jean-Paul., Sanglier Jean-Jacques. 481p.

Lechevalier MP., De Bievre C., Lechevalier HA. (1977). Chemotaxonomy of aerobic actinomycetes: phospholipid composition. *Biochemical Systematics and Ecology*, 5, 249-260.

Lechevalier HA. And Lechevalier MP. (1970). A critical evaluation of the genera of aerobic actinomycetes. *The Actinomycetales. The Jena International Symposium on Taxonomy*, September 1968, 393-405pp.

Li F., Wang Y., Li C., Marquez-Lago TT., Leier A., Rawlings ND., *et al.*, (2018). Vingt ans de recherche bioinformatique pour la prédiction des substrats et des sites spécifiques aux protéases : une révision complète et une analyse comparative des méthodes existantes. *Brève Bioinform*, 20(6), 2150-2166.

Loqman, S. (2009). La lutte biologique contre la pourriture grise de la vigne: Isolement, caractérisation de souches de bactéries Actinomycétales antagonistes à partir des sols rhizosphériques de vignes saines sauvages d'origine marocaine. Thèse: Biologie et Physiologie Végétales. France : Université de Reims Champagne-Ardenne, 253p.

M

Maameri, M. (2007). Caractérisation microbiologique des sols sous conditions semi-arides. Mémoire de master : Ing. Agronomique. Algérie(Tiaret) : Université Ibn-Khaldoun, 83p.

Macedo E P., Cerqueira C L O., Souza D A J., Bispo A S R., Coelho R RR., Nascimento R P. (2013). Production d'enzyme dégradant la cellulose sur du sisal et d'autres résidus agro-industriels à l'aide d'une nouvelle souche d'actinobactérie brésilienne *Streptomyces* sp. SLBA-08. *Journal brésilien de génie chimique*, 30 (4), 729-735.

Maier RM., Pepper IL., Gerba CP. (2000). Microorganisms in surface soils. In: *Environmental microbiology*. Academic press. A Harcourt Science and technology company. Canada. 79-82.

Mariat F. et Sebald M. (1990). « Les actinomycètes. » Dans : *Bactériologie médicale*. Le Minor. Edition Médecine-Science. Flammarion. France.

Marmur J., Doty P. (1962). Determination of the base composition of deoxyribonucleic acid from its thermal denaturation temperature. *Journal of molecular biology*, 5, 109-118.

Mazodier, J. (1974). *Société industrielles et déchets solides*. Science de vie. 106, 109-115.

McKittrick J., Chen PY., Bodde SG., Yang W., Novitskaya EE. Et Meyers MA. (2012). La structure, les fonctions et les propriétés mécaniques de la kératine. *JOM*, 64(4), 449-468.

Mederbal K. (2002). Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à l'évaluation et la réduction des risques menaçant la diversité biologique en Algérie : cas du surpâturage, du défrichement et de la désertification. Rapport d'expertise, acte de l'atelier du PNAUD sur le thème « évaluation des besoins en matière de renforcement des

capacités nécessaires à l'évaluation et la réduction des risques menaçant la diversité biologique en Algérie ». Alger 9-10 décembre 2002, 40p.

Meilleur, C. (2009). Isolement et caractérisation lipolytiques par criblage d'une banque métagénomique. Mémoire de magister : microbiologie appliquée. INRS-Institut Armand –Frappier : université du Québec, 141p.

Meziani, Amina et Mahcene, Hadjer. Mode d'action de l'alpha-amylase. (Sans date)[Photo]. Activités hydrolases des souches fongiques. Production par fermentation de cellulase et alpha-amylase par *Penicillium sp* sur substrat solide, 2017, 81p.

Miller, GL. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry. Scientific research, 31, 426-428.

Mirsal, IA. (2004). Soil pollution. : Origin, monitoring and remediation. Germany: Ibrahim A. Mirsal. 312p.

Mohamedin, AH. (1999). Isolation, identification and some cultural conditions of a protease producing thermophilic *Streptomyces* strain grown on chicken feather as a substrate. International Biodeterioration + Biodegradation, 43, 13_21.

Mokhtari N., Mrabet R., LebaillLy P., Bock L. (2013). Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires. 2 (1):50-66.

Moreira KA., Albuquerque BF., Teixeira MFS., Porto ALF. and Lima Filho JL. (2002). Application of protease from *Nocardopsis sp.* as a laundry detergent additive. Journal of Microbiology & Biotechnology, 18, 307–312.

Morel, R. (1989). Les sols cultivés. Pris : Tech et Doc, Lavoisier. 72p.

Mostephaoui T., Merdas S., Sakka B., Hanafi MT. Et Benazzouz MT. (2013). Journal algériens des régions arides : cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'el Hamel (boussaada) Algérie. Algérie : Mostephaoui, T., Merdas, S., Sakka, B., Hanafi, MT. Et Benazzouz, MT. 17p.

Mukhtar S., Zaheer A., Aiysha D., Malik K and Mehnaz S. (2017). Acinomyces: a source of industrially important enzymes. Journal of proteomics and bioinformatics, 10(12), 316-319.

Murray, MY. (2011). Protease. Comprehensive biotechnology (3rd Edition), 3, 571-582.

Musy A., Soutter MI. (1991). Physique du sol. Presses polytechniques et universitaires romandes Lausanne. 331p.

N

Nagpure A., Choudhary B., Kumar S. Et Gupta RK. (2014). Isolation and characterization of chitinolytic *Streptomyces sp.* MT7 and its antagonism towards wood-rotting fungi. Cab direct, Annales de microbiologie, 64(2), 531-541.

Naif AAD., Galal AE., Abdulkareem MG. Et Mariadhas VA. (2019). Isolation and screening of *Streptomyces sp.* Al-Dhabi-49 from the environment of Saudi Arabia with concomitant production of lipase and protease in submerged fermentation. Saudi J BiolSci, 27(1), 474-479.

Nawani N., Aigle B., Mandal A., Bodas M., Ghorbel S. And Prakash D. (2013). Actinomycetes: role in biotechnology and medicine. Biomed research international, 1p.

Ninranjane AP., Malhou P. and Stevenson TW. (2007). The effect of carbohydrate carbon sources on the production of cellulase by *Phlebia gigantea*. Enzyme and MicrobialTechnology. 40, 1464-1468.

P

Palmont, J. (2005). Biodégradation et métabolisme: Les bactéries pour les technologies de l'environnement. EDP sciences. 798p.-(collection grenoble sciences-rencontres scientifiques).

Park JO., El-Tarabily KA., Ghisalberti EL. And Sivasithamparam, K. (2002). Pathogenesis of *Streptovorticillium albireticuli* on *Caenorhabditis elegans* and its antagonism to soil-borne fungal pathogens. Letters in Applied Microbiology, 35(5), 361-365.

Patel JD., Parmar M., Patel P., Rohit P., Taviad R., Ansari P., Bhattacharya B., Vyas D., Kumar V., Sahay NS. Et Singh PK. (2014). Dynamism of antimicrobial activity of actinomycetes-a case study from undisturbed microbial niche. Advances in microbiology, 4 (6), 11p.

Paul, J. (1912). The Distribution of the flora in the alpine zone. New Phytologist, 11(2), 37-50.

Perry J., Staley JT. et Lory S. (2004). Microbiologie. Paris, Dunod. 497-498.

Pierre, F. Mécanismes d'action des enzymes amylolytiques. (Sans date)[Photo]. In : Pierre feillet. Livre le grain de blé : Composition et utilisation. Edition Quae : Pierre feillet, 2000, 123p.

Pine, L. (1970). Classification and phylogenetic relationship of microaerophilic actinomycetes. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 20, 445-474.

Pinski A., Zur J., Hasterok R. ET Hupert-Kocurek K. (2020). La génomique comparative de *Stenotrophomonas maltophilia* et de *Stenotrophomonas rhizophila* a révélé les caractéristiques des deux espèces. Int J MolSci, 21(14), 4922.

Prakash D., Nawani N., Prakash M., Bodas M., Mandal A., Khetmalas M and Kapadnis B. (2013). Actinomycetes: A repertory of green catalysts with a potential revenue resource. Biomed research international, 8 p

Praveen Kumar PR., Sagaya J., Saravana KP., Nimal CIVS., Preetam RJP., Vijayakumare A., Agastiana P., Ignacimuthuc S. (2017). Optimization of biosynthesis parameters, partial purification and characterization of extracellular lipase from soil derived Streptomyces sp. Loyola Lipase-1. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 12, 241-247.

Prescott LM., Harley JP., Klein DA. (2003). Microbiologie. De Boeck : Bruxelles. 2eme édition. 1164.

Putri AL. Et Setiawan R. (2019). Isolation and screening of actinomycetes producing cellulase and xylanase from Mamasa soil, West Sulawesi. Earth and Environmental Science, 308, 1-7.

Q

Qingxin L. (2021). Structure, Application, and Biochemistry of Microbial Keratinases. Frontiers in microbiology (microbiotechnology), 12, 14p.

Qinyuan Li., Xiuchen., Chenglin Jiang. (2016). Actinobacteria-Basics and biotechnological Applications: Morphological Identification of Actinobacteria. India: Dharumadurai, Dhanasekaran., Yi, Jiang. 400p.

Qiu J., Wilkens C., Barrett K. Et Meyer AS. (2020). Enzymes microbiennes catalysant la dégradation de la kératine : classification, structure, fonction. Adv Biotechnologique, 44, 107607.

R

Rafai, FZ. (2019). Caractérisation phénotypique des actinomycètes du sol des régions arides. Mémoire du Master : Microbiologie Fondamentale et Appliquée. Biskra : Université de Biskra, 58p.

Rahayu S., Syah D. ET Thenawidjaja MS. (2012). Degradation of keratin by keratinase and disulfide reductase from bacillus sp. MTS of Indonesian origin. Biocatalysis and agricultural biotechnology, 1(2), 152-158.

Ram SS. Et Ashok P. (2019). Biomass, biofuels, biochemicals Advances in Enzyme Technology: Enzyme microbiennes-un aperçu. Elsevier: Ram S. Singh., Reeta Rani Singhanian., Ashok Pandey and Christian Larroche. 524p.

Ramesh CK., Rishi G., Ajay S. (2011). Microbial Cellulases and Their Industrial Applications. Enzyme Research, 2011, 10p.

Rangaswami G., Bagyaraj DJ. And Bagyaraj DG. (2004). *Agricultural Microbiology*. New Delhi: Prentice Hall of India. 413p.

Reffas, FZI. (2017). *Isolement et caractérisation de bactéries productrices de cellulases*. Thèse de doctorat : Microbiologie moléculaire et proteomics. Algérie (Sidi Bel Abbès): Université DjillaliLiabes, 150p.

Rengasamy S. And Thangaprakasam U. (2018). Isolation, Screening and Determination of α -Amylase Activity from Marine *Streptomyces* Species. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 10(4), 122-127.

Rifaat H M., Nagieb Z A., Ahmed Y M. (2006). Production de xylanases par les espèces de *Streptomyces* et leur effet blanchissant sur la pulpe de paille de riz. *Écologie appliquée et recherche environnementale*, 4 (1), 151-160.

Rifaat HM., Hassanein SM., El-Said OH., Saleh SA., Selim MSM. (2006). Purification and characterisation of extracellular neutral protease from *Streptomyces microflavus*. *Arab J. Biotech*, 9 (1), 51-60.

Rifat H., Khan MA., Ahmad M., Ahmad MM., Abdin MZ., Musarrat J. and Javed S. (2013). Chitinase: an update. *J Pharm BioalliedSci*, 5(1), 21.

Rom, F. (1992). *Foresterie en zones arides. Guide à l'intention des techniciens de terrain*. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. 153p.-(Cahier FAO).

Ruan, J. (2013). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Volume 5 and the study of Actinomycetes systematic in China*. *Wei Sheng wuxuebao= ActinmicrobiologicaSinica*, 53(6), 521-530.

S

Sabaou N., Boudjella H., Bennadji A., Zitouni A., Bennadji H., Lefebvre G. and Germain P. (1998). Les sols des oasis du Sahara Algérien, source rares producteuses d'antibiotiques. *Sécheresse*. 9, 147-153.

Saini A., Aggarwal NK., Sharma A. and Yadav A. (2015). Actinomycetes: A Source of Lignocellulolytic Enzymes. *Enzyme Research*, 2015, 15p.

Sampath P., Subramanian C. Et Chandrakasan G. (1997). Extracellular from *Streptomyces spp.* G157: purification and characterization. *Biotechnology and appliedbiochemistry*, 26. (2), 85-1997.

Samuel, O. (2012). *Adsorption et transport d'un Composé Organique Volatil (COV) dans un sol hygroscopique. Application aux pesticides dans un sol aride*. Thèse de doctorat : Mécanique et Génie Civil. France : Université Montpellier II, 231p.

Sangali S. Et Brandelli A. (2000). Isolation and characterization of a novel feather-degrading bacterial strain. *Appl Biochem Biotechnol*, 87(1), 17-24p.

Sangeeta D., Gohel SP. ET Singh. (2012). Purification strategies, characteristics and thermodynamic of a highly thermostable alkaline protease from a salt-tolerant alkaliphilic actinomycete, *Nocardiostrictum* Ok-05. *Journal of Chromatography B*. 61-68.

Sanglier J., Haag H., Huck Ta. Et Fehr T. (1993). Novel bioactive compounds from actinomycetes: a short review (1988–1992). *Research in Microbiology* 144 (8), 633-642.

Saoudi B., Kirane D., Taibi Z. et Ladjama A. (2006). Recherche d'enzymes pectinolytiques chez cinq souches de streptomyces isolées d'un sol saharien (Biskra). *Synthèse*, 12(1), 21-27.

Saranya S., Sathivelu M., Sagar G. (2022). Biocontrol mechanisms of endophytic microorganisms: Antimicrobial metabolites from endophytic microorganisms and its mode of action. In: Radhakrishnan, EK., Kumar, A., Aswani, R. 75-88p.

Shirling EB. And Gottlieb D. (1966). Methods for Characterization of Streptomyces Species. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 16, 313-340.

Shivlata L., Satyanarayana T. (2017). Characteristics of Raw Starch-Digesting α -Amylase of *Streptomyces badius* DB-1 with Transglycosylation Activity and Its Applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 181, 1283-1303.

Singh, Abhishek Rathore. And Gupta, Rinkoo D. Différentes applications industrielles des enzymes chitinolytiques (Sans date) [photo]. In : Singh, Abhishek Rathore. And Gupta, Rinkoo D. *Chitinases from Bacteria to Human: Properties, Applications, and Future Perspectives*. editeur: Hartmut Kuhn, 2015, 8p.

Sneath, PHA. (1989). Numerical taxonomy: Bergey's Manual of systematic Bacteriology. Baltimore: Williams, ST., Sharpe, ME. And Holt JG., Volume 4. Williams and Wilkins. 2303-2305.

Soltner, D. (2005). La base de la production végétale Tom I : Le sol et son amélioration 24eme Edition. Dominique Solter. 472p.

Somogyi, M. (1951). Notes on sugar determination. *Journal of Biological Chemistry*, 195(3), 19-23.

Song J., Wang Y., Li F., Akutsu T., Rawlings ND., Webb GI. Et Chou KC. (2018). IProt-Sub: a comprehensive package for accurately mapping and predicting protease-specific substrates and cleavage sites. *Brief Bioinform*, 20(2), 638-658.

Staneck JL., Roberts GD. (1974). Simplified approach to identification of aerobic actinomycetes by thin-layer chromatography. *Applied Microbiology*, 28(2), 226-231.

Suchita N., Rup I., Kuhad RC. (2006). Isolation of Three Xylanase-Producing Strains of Actinomycetes and Their Identification Using Molecular Methods. *CURRENT MICROBIOLOGY* Vol. 53, pp. 178–182.

Sumner, JB. (1921). Dinitrosalicylic acid: a reagent for the estimation of sugar in normal and diabetic urine. *Journal of Biological Chemistry*, 47(1), 5-9.

Syed SUH., Komal A., Syed KA., Akhter N., Shagufta BI., Sayed AAC. And Umber, T. (2017). Emerging biopharmaceuticals from marine actinobacteria. *National Library of Medicine (pubmed)*, 49, 34-47.

T

Tao Z., Dong B., Teng Z., Zhao Y. (2020). The classification of enzymes by Deep Learning. *Access IEEE*, 8, 89802-89811

Theileux J. (1993). Les actinomycètes en Microbiologie industrielle : Les micro-organismes d'intérêt industriel, Leveau JY et Moix M. Lavoisier Tech et Doc, Apria, V, 612-425.

Tir, C. (2007). Genèse de sols à accumulation gypso-calcaire et salines dans la région de Ain Ben Noui-Biskra. Diplôme de magistère : Science du sol. EL-HARACH : Institut National Agronomique EL-HARACH, 128p.

Titiporn P., Thanasak L., Wanlapa L., Jaran P., Shinji T., Vichien K. et Sukhumaporn K. (2020). New insight into thermo-solvent tolerant lipase produced by *Streptomyces* sp. A3301 for re-polymerization of poly (DL-lactic acid). *Polymer, science direct*, 204, 1-10.

Tomita K., Nishio M., Sitoh K., Yamamoto H., Hashino Y., Ohkuma H., Konishi M., Miyaki T. And Oki T. (1990). Pramimidines A, B and C: new antifungal antibiotics I. Taxonomy, production, isolation and physicochemical properties. *The journal of antibiotics*, 43(7), 755-762.

U

Uma SPU., Payel C., Tarun KB., Biswanath B. (2016). Classification, mode of action and production strategy of xylanase and its application for biofuel production from water hyacinth. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 1041-1054.

V

Vonothini G., Murugan M., Sivakumar k. and Sudha S. (2008). Optimization of protease production by an actinomycete strain, PS-18A isolated from an estuarine Shrimp pond. *African journal of biotechnology*, 7(18), 3225-3230.

W

Wang B., Yang W., McKittrick J. Et Meyers MA. (2016). Kératine : structure, propriétés mécaniques, présence dans les organismes biologiques et efforts de bioinspiration. *Progrès en science des matériaux*, 76, 229-318.

Wang, Y. (2015). The bacterial communities of sand-like surface soils of the San Rafael Swell (Utah, USA) and the Desert of Maine (USA) [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de la Vie et de la Santé. Orsay: Université Paris-Saclay, 176 p. (page consultée le 23 février 2020).

Weisburg WG., Barns SM., Pelletier DA. And Lane DJ. (1991). 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. *Journal of Bacteriology*, 173(2), 697-703.

Weyland, H. (1981). Distribution of actinomycetes on the sea floor. In : *Actinomycetes*. Eds: K. Schaal, G. Pulverer. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York. *Zbl. Bakt. Suppl.* 11, 185-193.

Williams ST. Et Davies FL. (1965). Use of antibiotics for selective isolation and enumeration of actinomycetes in soil. *J. Gen. Microbiol.* 38, 251- 261.

Williams ST., Lanning S., Wellington EMH. (1984). Ecology of Actinomycetes. In: *The Biology of the Actinomycetes*. Eds: M. Goodfellow, M. mordarski and S.T Williams. Academic press, London, New York, Sydney, Tokyo, Sao Palo. 481-528.

X

Xavier R et Laurence R. (1997). Bactéries, virus et champignons. *Dominos Flammarion*. France : Laurence Rolland , Xavier Rolland. 132p.

Xiuting L., Yuanli S., Baoguo S., Huanlu S., Yunping Z., Yuegang L. Et Hongxia S. (2010). Purification, and characterization of a cellulose-Free, thermostable xylanase from *Streptomyces rameus* L2001 and its biobleaching effect on wheat straw pulp. *Biochemical Engineering Journal*, 52, 71-78.

Y

Yamaguchi T. (1965). Comparison of the cell-wall composition of morphologically distinct actinomycetes. *Journal of Bacteriology* 89, 444-453.

Yassien MAM., Fatani AAMJ. And Asfour HZ. (2014). Production, purification and characterization of cellulase from *Streptomyces* sp. *African Journal of Microbiology Research*, 8(4), 348-354.

Yongxia W. And Yi J. (2016). Actinobacteria-Basics and biotechnological Applications: Chemotaxonomy of Actinobacteria. India: Dharumadurai, Dhanasekaran., Yi, Jiang. 400p.

Z

Zolfaghari ER., Kazokaite J. Et Yakhchali B. (2021). Analyse bioinformatique de la subtilisine E extracellulaire de *Bacillus subtilis*. Journal de la structure et de la dynamique biomoléculaires, 1, 8.

Les annexes

Les compositions des milieux de culture

Le milieu CMC

- 7 g/L de NaNO_3
- 1.2 g/L de KH_2PO_4
- 3.0 g/L de K_2HPO_4
- 6.0 g/L de MgSO_4
- 7 H_2O
- 0.2 g/L de CaCl_2
- 0.05 g/L de MnSO_4
- 0.01g/L de Zn SO_4
- 0.001g/L d'extrait de levure
- 1.0g/L de NH_4Cl_2
- Na Cl_2

Le milieu de la Gélose à l'amidon et à la caséine (SCA)

- Amidon soluble 10,0g
- Caséine 0,3 g
- KNO_3 2,0g
- Na Cl 2,0 g
- K_2HPO_4 2,0 g
- Mg SO^4 .
- $7\text{H}_2\text{O}$ 0,05g
- CaCO_3 0,02g
- Fe SO^4 .
- $7\text{H}_2\text{O}$ 0,01g
- Gélose 20,0 g
- L'eau distillée 1 000,0ml
- pH 7,0

Le milieu Caséine Amidon Peptone Extrait de levure Gélose à l'extrait de malt (CSPY-ME)

- K_2HPO_4 0,5 g
- Caséine 3,0g
- Amidon soluble 10,0g
- Peptone 1,0 g
- extrait de levure 1,0 g
- extrait de malt 10,0 g
- Gélose 20,0 g
- L'eau distillée 1000,0 ml
- pH 7,5

La gélose minérale-salée

- 0,4% de $(NH_4)_2SO_4$
- 0,6% de Na Cl
- 0,1% de K_2HPO_4
- 0,01 % de $MgSO_4$
- 0,01 % de $CaCl_2$ (3)
- 0,5 % de carboxy-méthyl-cellulose (CMC)

Le milieu gélose amidon-nitrate agar

- 20 g d'amidon soluble
- 2,0 g KNO_3
- 1,0 g K_2HPO_4
- 0,5 g $MgSO_4$
- 0,5 g NaCl
- 3,0 g $CaCO_3$
- 0,01 g $FeSO_4$
- 0,01 g $MnCl_2$
- 0,01 g $ZnSO_4$
- 20 g d'agar par litre

Le milieu de fermentation

- glucose 1,0% (p/v)
- farine de soja 4,0% (p/v)
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,06% (p/v)
- NH_4Cl 0,1% (p/v)
- K_2HPO_4 0,435% (p/v)
- 0,1 ml de solution minérale (100 mg de FeSO_4 , MnCl_2 , $4\text{H}_2\text{O}$, ZnSO_4 , CaCl_2 7 H_2O , eau distillée 100 ml, avec un pH initial de 7,0).

Le milieu Streptomyces Agar (SA)

- Amidon soluble 10,0g
- Caséine 0,3 g
- KNO_3 2,0g
- Na Cl 2,0 g
- K_2HPO_4 2,0 g
- Mg SO_4 .
- $7\text{H}_2\text{O}$ 0,05g
- CaCO_3 0,02g
- Fe SO_4 .
- $7\text{H}_2\text{O}$ 0,01g
- Gélose 20,0 g
- eau distillée 1 000,0ml
- pH 7,0

Le milieu de croissance de *Streptomyces microflavus* (par litre d'eau distillée)

- 20g d'amidon
- 3,8g de levure
- 1,0 g de K_2HPO_4
- 3,0 g de CaCO_3
- 0,01 g FeSO_4 .
- $7\text{H}_2\text{O}$
- pH 7

Le milieu de gélose saline basale ayant la composition suivante

- K_2HPO_4 0,7 g/L
- KH_2PO_4 0,3 g/L
- $Mg\ SO_4$ 0,5 g/L
- $Fe\ SO_4$ 0,01 g/L
- $Zn\ SO_4$ 0,001 g/L
- $Mn\ SO_4$ 0,001 g/L
- $(NH_4)_2SO_4$ 0,25 g/L
- Agar 20,0 g/L
- extrait de levure 1,0 %
- chitine colloïdale 1,0 %.

Le milieu de l'urée d'amidon

- amidon 10,0 g/L
- urée 2,0 g/L
- K_2HPO_4 0,5 g/L
- $Mg\ SO_4$. g/L
- $7H_2O$ 0,5 g/L
- Na Cl 0,5 g/L
- $Fe\ SO_4$. g/L
- $7H_2O$ 0,1 g/L
- pH 7,0

Le milieu R5 de *Streptomyces lividans*

- 103 g de saccharose
- 0.25g de K_2SO_4
- 10.12 g de $MgCl_2$
- $6H_2O$
- 10 g de glucose
- 0.1 g de Casamino acides
- 5 g d'extrait de levure
- 5,73 g d'acide N-[(hydroxyméthyl)-methyl]-2-amino éthane sulfonique (TES)

- 20g d'agar
- 2ml d'une solution d'éléments traces (40mg ZnCl₂, 200g FeCl₃.6H₂O, 10 mg CuCl₂.2H₂O, 10mg MnCl₂.4H₂O, 10mg Na₂B₄O₇.10H₂O, 10mg (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, compléter à un litre d'eau distillée stérile)

Le milieu gélose Tween 80

Solution A

- 10 g/L de peptone
- 5 g/L de Na Cl
- 0,1 g/L de Ca Cl
- H₂O
- 15 g/L de gélose
- 900 ml d'eau distillée.

Solution B

- 10 ml de Tween 80
- 90 ml d'eau distillée

Le milieu de croissance de *Streptomyces rameus* L2001

- xylane de rafle de maïs (100) g/L
- extrait de levure 2 g/L
- tryptone 3 g/L
- KH₂PO₄ 7.5 g/L
- K₂HPO₄ 1.5 g/L
- MgSO₄ 60 g/L
- 7H₂O 0.5 g/L

Le milieu AIA

- mélange de peptones 23,0 g /l
- extrait de levure 5,0 g/l
- amidon soluble 3,0 g /l
- glucose 0,5 g/l
- phosphate dipotassique 10 ,0 g/l

- phosphate monopotassique 1,0 g/l
- phosphate de magnésium 1,0 g/l
- chlorure de sodium 0,2 g/l
- sulfate de manganèse 0,01 g/l
- hydrochlorure de sodium 0,06 g/l
- sulfate ferrique 0,01 g/l
- tween 80 0,5 g/l
- agar 15,0 g/l
- pH 9.0

Le milieu de Gausse

- KNO₃ 1g
- K₂HPO₄ 0,5g
- MgSO₄ 0,5g
- Na Cl 0,5g
- FeSO₄ 0,01g
- Amidon 20g
- Agar 30g
- Eau distillée 1000ml
- pH 7,

Résumé

Dans ce mémoire, nous présentons des données théoriques sur les sols arides et semi-arides, en mettant en exergue des généralités sur la microflore de cet écosystème. Il s'agit également de mettre l'accent sur les différentes zones des sols arides et les facteurs physico-chimiques qui représentent ce système extrême. Une partie importante a été consacrée aux actinobactéries. Nous avons dans cette partie donné des informations nécessaires sur ces bactéries très prisées dans toutes les biotechnologies. Une étude de synthèse regroupant la majorité des actinobactéries présentes dans les sols arides et semi-arides a été également réalisée dans ce mémoire. Il s'agit d'évaluer l'abondance et la diversité de ce type de bactéries dans ces écosystèmes mal explorés. Dans notre recherche, plusieurs travaux ont montré que les sols arides et semi-arides sont une source très appréciée d'actinobactéries. En outre, dans ces biotopes rudes, les rapports indiquent que ce sont les genres rares (autre que les *Streptomyces*) qui sont retrouvés, comme *Nocardia*, *Nocardiopsis*, *Microbispora*, *Thermobifida*, *Asanoa* et *Kribella*. Le milieu le plus couramment utilisé pour l'isolement des actinobactéries à partir des sols arides et semi-arides est le milieu ISP-2. Nous avons également orienté notre recherche bibliographique vers la biodiversité métabolique des actinobactéries de ces écosystèmes arides et plus précisément vers les enzymes, en tant que bio-molécules très recherchées en biotechnologies. Ces actinomycètes ont montré des activités enzymatiques différentes comme les cellulases, les protéases, les kératinases, les amylases, les xylanases, les lipases, les chitinases et les pectinases. Ces enzymes, sont actives à des températures qui varient entre 30-50°C et des pH allant de 4 à 7.

Mots clés : Actinobactéries, sol, aride, sol semi-aride, enzymes.

الملخص

في هذه المذكرة ، نقدم بيانات نظرية عن التربة القاحلة وشبه القاحلة ، مع تسليط الضوء على العموميات حول البكتيريا الدقيقة لهذا النظام البيئي. إنها أيضا مسألة التأكيد على المناطق المختلفة للتربة القاحلة والعوامل الفيزيائية والكيميائية التي تمثل هذا النظام المتطرف. تم تخصيص جزء مهم للأكتينوباكثيريا. في هذا الجزء قدمنا المعلومات اللازمة عن هذه البكتيريا ، والتي تحظى بشعبية كبيرة في جميع التقنيات الحيوية. كما أجريت في هذه الأطروحة دراسة موجزة تجمع بين غالبية البكتيريا الأكتينوباكثيرية الموجودة في التربة القاحلة وشبه القاحلة والهدف من ذلك هو تقييم وفرة وتنوع هذا النوع من البكتيريا في هذه النظم الإيكولوجية التي لم يتم استكشافها بشكل جيد. في بحثنا ، أظهرت العديد من الدراسات أن التربة القاحلة وشبه القاحلة هي مصدر عالي القيمة للأكتينوباكثيريا. بالإضافة إلى ذلك، في هذه البيانات الحيوية القاسية، تشير التقارير إلى أنه تم العثور على أجناس نادرة (بخلاف *Streptomyces*)، مثل *Nocardia* و *Nocardiopsis* و *Microbispora* و *Thermobifida* و *Asanoa* و *Kribella*. الوسط الأكثر شيوعا المستخدم لعزل الأكتينوباكثيريا من التربة القاحلة وشبه القاحلة هو 2-ISP. كما ركزنا في بحثنا البيولوجي على التنوع البيولوجي الأبيض للأكتينوباكثيريا في هذه النظم الإيكولوجية القاحلة وبشكل أكثر تحديدا على الإنزيمات ، حيث أن الجزيئات الحيوية مطلوبة للغاية في التكنولوجيا الحيوية. أظهرت هذه الأكتينومييسيت أنشطة إنزيمية مختلفة مثل السليولاز والبروتياز والكيراتيناز والأميلاز والزيلاناز والليباز والكتيناز والبكتيناز. تنشط هذه الإنزيمات في درجات حرارة تتراوح بين 30-50 درجة مئوية ودرجات حموضة تتراوح من 4 إلى 7.

الكلمات المفتاحية: الأكتينوباكثيريا، التربة، التربة القاحلة، التربة النصف قاحلة، الإنزيمات.

Abstract

In this dissertation, we present theoretical data on arid and semi-arid soils, highlighting generalities about the microflora of this ecosystem. It is also a question of emphasizing the different zones of arid soils and the physico-chemical factors that represent this extreme system. An important part was devoted to actinobacteria. In this part we have given necessary information on these bacteria, which are very popular in all biotechnologies. A synthesis study bringing together the majority of actinobacteria present in arid and semi-arid soils was also carried out in this dissertation. The aim is to assess the abundance and diversity of this type of bacteria in these poorly explored ecosystems. In our research, several studies have shown that arid and semi-arid soils are a highly valued source of actinobacteria. In addition, in these harsh biotopes, reports indicate that rare genera (other than *Streptomyces*) are found, such as *Nocardia*, *Nocardiopsis*, *Microbispora*, *Thermobifida*, *Asanoa* and *Kribella*. The most common medium used for the isolation of actinobacteria from arid and semi-arid soils is ISP-2. We also focused our bibliographic research on the metabolic biodiversity of actinobacteria in these arid ecosystems and more specifically on enzymes, as bio-molecules highly sought after in biotechnology. These actinomycetes showed different enzymatic activities such as cellulases, proteases, keratinases, amylases, xylanases, lipases, chitinases and pectinases. These enzymes are active at temperatures that vary between 30-50 ° C and pH ranging from 4 to 7.

Keywords: Actinobacteria, soil, arid, soil semi-arid, enzymes.

Année universitaire : 2021-2022

Présenté par : Bouaouni Roumeysa

Charef Meryem

Fatmi Nour El Houda

Actinobactéries provenant à partir des sols arides et semi-arides : Une source importante d'enzymes.

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biologie Moléculaire des Microorganismes.

Résumé

Dans ce mémoire, nous présentons des données théoriques sur les sols arides et semi-arides, en mettant en exergue des généralités sur la microflore de cet écosystème. Il s'agit également de mettre l'accent sur les différentes zones des sols arides et les facteurs physico-chimiques qui représentent ce système extrême. Une partie importante a été consacrée aux actinobactéries. Nous avons dans cette partie donné des informations nécessaires sur ces bactéries très prisées dans toutes les biotechnologies. Une étude de synthèse regroupant la majorité des actinobactéries présentes dans les sols arides et semi-arides a été également réalisée dans ce mémoire. Il s'agit d'évaluer l'abondance et la diversité de ce type de bactéries dans ces écosystèmes mal explorés. Dans notre recherche, plusieurs travaux ont montré que les sols arides et semi-arides sont une source très appréciée d'actinobactéries. En outre, dans ces biotopes rudes, les rapports indiquent que ce sont les genres rares (autre que les *Streptomyces*) qui sont retrouvés, comme *Nocardia*, *Nocardiopsis*, *Microbispora*, *Thermobifida*, *Asanoa* et *Kribella*. Le milieu le plus couramment utilisé pour l'isolement des actinobactéries à partir des sols arides et semi-arides est le milieu ISP-2. Nous avons également orienté notre recherche bibliographique vers la biodiversité métabolique des actinobactéries de ces écosystèmes arides et plus précisément vers les enzymes, en tant que biomolécules très recherchées en biotechnologies. Ces actinomycètes ont montré des activités enzymatiques différentes comme les cellulases, les protéases, les kératinases, les amylases, les xylanases, les lipases, les chitinases et les pectinases. Ces enzymes, sont actives à des températures qui varient entre 30-50°C et des pH allant de 4 à 7.

Mots-clés: Actinobactéries, sol, aride, sol semi-aride, enzymes.

Laboratoires de recherche :

Laboratoire de (Université Frères Mentouri, Constantine 1).

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

Examineur 1 : Mme. Zermane Ferial (MAA Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 2 : Mme. Lifa Meroua (MAB Université Frères Mentouri, Constantine 1).