



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



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

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Microbiologie

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*.

Intitulé :

Etude préliminaire de la biodégradation des pesticides parmi les plus utilisés à Constantine par une collection d'actinobactéries

Présenté et soutenu par : *Ouis Kaouther*

Le : 17/07/2019

Mezaili Soumeya

Jury d'évaluation :

Président du jury : BENHIZIA Yacine (Prof. UFM Constantine).

Rapporteur : BOUDEMAGH Alloueddine (Prof. UFM Constantine).

Examineurs : CHABBI Rabeh (MAA. UFM Constantine).

*Année universitaire
2018 - 2019*



Remerciements

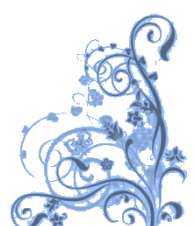
الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين، المبعوث رحمة للعالمين، محمد وعلى آله وصحبه أجمعين، أما بعد

Les remerciements, c'est toujours un moment émouvant...! Cela signifie que nous sommes arrivés à la fin de notre parcours de Master 2.

De nombreuses personnes ont contribué à l'achèvement de ce travail. Nous tenons à les remercier très chaleureusement, et tout particulièrement :

Notre encadreur Professeur Boudemagh Allaoueddine, qui a su orienter nos recherches en nous faisant découvrir le domaine de la biologie à travers sa compétence scientifique, ses remarques et ses conseils ont été très bénéfiques. Nous vous remercions pour la patience et la confiance que vous nous avez accordée tout au long de ce travail,

Comme nous tenons à remercier vivement Professeur ALI-KHODJA, qui nous a accueillis dans son laboratoire, et ainsi les doctorantes Lefeida et Boufercha pour leur aide.





Dédicace

A mes chers parents :

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

A ma tante Nora, qui m'a assisté dans les moments difficiles. A ma chère sœur Afef ma conseiller, A mes frères et mes amies et tous les membres de ma famille.

Ouis Kaouther

Dédicaces

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son Paradis, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur. Rien n'aurait été possible sans toi Maman, cette réussite est donc un peu la mienne, mais surtout beaucoup la tienne. Aucun remerciement ne serait être suffisant.

A mes très chères sœurs : Manel, Esma, Oumeima pour leurs disponibilités et leurs encouragements incessants que le dieu les protège et leurs donne une vie pleine de réussite et de bonheur

A ma très chère grand-mère : Gharbi Aicha

A ma sœur, super copine, une amie de cœur, à toi ma chère cousine Ismahane

A mes amies de toujours : Oumnia, Aya, Ikram, Assia En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

A la personne qui a su guider mes pas égarés vers un horizon plus clair, plus joyeux .. Cher Redouane j'aimerais bien que tu trouves dans ce travail l'expression de mes sentiments de reconnaissance les plus sincères car grâce à ton aide et à ta patience avec moi que ce travail a pu voir le jour...

MEZAILI SOUMEYA

Table des matières

Résumé

Abstract

الملخص

I- LISTE DES ABREVIATIONS

II- LISTE DES TABLEAUX

III- LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides et ses différentes voies de dégradation

1-1 Historique.....	3
1-2 Définition.....	4
1-3 Classification.....	4
1-4 Composition et formulation.....	6
1-5 1-4-1 Composition.....	6
1-4-1-1 Une matière active.....	6
1-4-2 Formulation.....	6
1-5 Mode d'action des pesticides.....	6
1-6 Situation des pesticides dans le monde.....	8
1-6-1 Législation internationale des pesticides.....	8
1-6-2 Marché mondiale des pesticides.....	9
1-7 Situations des pesticides en Afrique.....	9
1-8 Situations des pesticides en Algérie.....	10
1-9 Devenir et dispersion des pesticides dans l'environnement.....	11
1-9-1-1 1-9-1 Devenir dans le sol.....	11
1-9-1-2 Immobilisation et rétention.....	12
1-9-1-3 Dégradation.....	12
1-9-1-4 Couplage des phénomènes de rétention et de dégradation.....	12
1-9-2 Dispersion atmosphérique.....	13
1-9-3 Dispersion dans les eaux.....	13
1-9-3-1- Le ruissellement.....	13

1-9-3-2- La lixiviation.....	14
1-9-4- Transfert des pesticides aux êtres vivants.....	14
1-10- Toxicologie des pesticides.....	14
1-10-1- Écotoxicité.....	15
1-10-1-1- Impact sur l'environnement.....	15
1-10-1-2- Impact sur la faune et la chaîne alimentaire.....	15
1-10-1-3- Impact sur la flore.....	16
1-10-1-3- Impact sur la microflore du sol.....	16
1-10-2- Toxicité pour l'homme.....	16
- Toxicité aiguë (ou à court terme)	17
- La toxicité chronique.....	17
1-11- Problème de persistance des pesticides.....	17
1-12- Dégradation des pesticides.....	18
1-12-1- La dégradation abiotique ou chimique.....	18
- Photo-dégradation.....	19
1-12-2- La dégradation biotique (la biodégradation)	19
1-12-2-1- Notion de la biodégradation.....	19
1-12-2-2- La biodégradation totale.....	19
1-12-2-3- La biodégradation incomplète ou fermentation.....	19
1-12-2-4- Principales voies biochimiques de la dégradation des pesticides.....	20
1-12-2-5- Bases physiologiques de la dégradation des pesticides.....	21
- Dégradation par des « souches » cultures pures.....	21
- Dégradation par des communautés microbiennes complexes, Dégradation primaire et ultime.....	22
1-12-2-6- Bases génétiques de la biodégradation des pesticides.....	22
1-12-2-7- Principaux microorganismes impliqués dans la biodégradation des pesticides.....	23
- Les champignons.....	23
- Les bactéries	23
1-12-2-8- Biodégradation des pesticides par les actinobactéries.....	24
- <i>Streptomyces sp.</i>	24
- <i>Rhodococcus sp.</i>	25
- <i>Nocardia sp.</i>	25
- <i>Gordona sp.</i>	25

Chapitre 2 : Les actinomycètes

2-1 Introduction.....	23
2-2 Ecologie.....	27
2-2-1 Dans les sols.....	27
2-2-2 Dans les milieux aquatiques.....	28
2-2-3 Dans la flore, la faune et l'homme	29
2-2-4 Rôle dans la nature.....	30
2-3 Physiologie.....	30
2-3-1 Température.....	30
2-3-2 pH.....	30
2-3-3 Taux d'humidité.....	30
2-3-4 Rapport avec l'oxygène (type respiratoire)	31
2-3-5 Rapport avec la matière organique (type trophique).....	31
2-4 Morphologie.....	31
2-4-1 Mycélium végétatif.....	32
2-4-2 mycélium aérien.....	32
2-4-3 Les spores.....	33
2-4-4 Cycle biologique (biologie de développement).....	35
2-4-5 Culture.....	36
2-4-6 Les caractères cultureux.....	38
2-5 Le métabolisme.....	38
2-5-1 Métabolisme primaire.....	39
2-5-2 Métabolisme secondaire.....	39
2-5-3 Diversité métabolique.....	39
2-6 Taxonomie.....	39
2-6-2 Classification des actinobactéries.....	39
2-6-2 Les clés d'identification des genres et des espèces de l'ordre « <i>Actinomycetales</i> ».....	41
- Les caractères morphologiques.....	42
- Les caractères chimio-taxonomiques.....	42
- Génétique et structure de l'ADN	44
MATERIEL ET METHODES	
1- Origine des isolats d'actinomycètes utilisés.....	45
2- Repiquage et entretien des isolats.....	45

3- Milieux de culture utilisés pour l'étude de la biodégradation.....	45
4- Enquête sur terrain.....	45
5- Caractéristiques des pesticides testés à la biodégradation.....	45
6- Test de la biodégradation des pesticides.....	46
6-1 Préparation des solutions mères des pesticides.....	46
6-2 Stérilisation des pesticides.....	47
6-3 Culture des actinobactéries sur milieux minimums contenant des pesticides.....	48
7- Test de tolérance des souches performantes à des concentrations des pesticides.....	48
8- Pré-identification des souches performantes.....	48
8-2 Macromorphologie et caractères cultureux.....	48
8-2 Observation microscopique	49
8-2-1 La technique de culture sur lamelle.....	49
8-2-2 Coloration de Gram.....	49

RESULTATS ET DISCUSSION

1- Résultats de l'enquête.....	50
2- Repiquage et entretien des isolats.....	50
3- Test de biodégradation des pesticides.....	51
3-1 Cas du fongicide Tachigazole (hymexazole).....	52
3-2 Cas du fongicide Teldor® (Fenhexamid).....	56
3-3 Cas de l'insecticide Rustile (Acetamipride).....	57
3-4 Cas de l'insecticide Deltamight 2,5 EC (Deltaméthrine).....	60
3-5 Cas de l'insecticide Karateka (Lambda-cyhalothrine).....	61
3-6 Cas de Prowl aqua (Pendiméthaline).....	64
3-7 Cas de l'herbicide Zoom (Dicamba+Triasulfuron).....	66
3-8 Cas de l'herbicide Granstar 75DF (Tribenuron methyl).....	68
3-9 Cas de l'herbicide Glyphosate.....	70
4- Pré identification des souches performantes.....	72
4-1 Les caractères cultureux.....	72
4-2 Identification microscopique.....	74

4-2-1 Coloration de Gram.....	74
4-2-2 Technique de culture sur lamelle.....	75
CONCLUSION.....	79
REFERENCE BIOBLOGRAPHIQUE.....	81
ANNEXE	

Résumé

Au cours de notre travail nous nous sommes intéressés à tester la capacité des actinobactéries provenant de différents écosystèmes à dégrader certains pesticides. Après une enquête sur la situation des pesticides dans la wilaya de Constantine, une gamme d'herbicides, d'insecticides et de fongicides ont été sélectionnés pour cette étude. Une collection des isolats d'actinobactéries est purifiée par repiquages successifs sur milieu ISP2. Cette collection est composée de 10 isolats provenant des eaux usées, 9 isolats des eaux thermales et 4 isolats du sol Saharien, ils sont testés pour leurs aptitudes à dégrader les pesticides choisis. Le test préliminaire consiste à tester l'utilisation des pesticides, comme seule source de carbone et d'azote. Ce test est réalisé sur deux milieux minimums, respectivement, celui de Vandermess. et celui de Bano et Mussarat, additionnés de 0,2g/l du pesticide. Les isolats actifs sont ensuite testés pour leur tolérance à différentes concentrations (0.5g/l, 1 g/l, 3 g/l, 6 g/l, 12 g/l) afin d'évaluer leur performance vis-à-vis ces pesticides. Les résultats montrent que le pesticide le plus dégradé est le Tachigazole qui est utilisé comme seule source de carbone par 55,55% des isolats des eaux thermales et par 20% des isolats des eaux usées, aussi comme seule source d'azote par 44,44% des isolats des eaux thermales. En outre, le Deltamight 2,5 EC, le Zoom et le Granstar75DF se sont avérés toxiques aux actinobactéries testées pour des concentrations supérieures à 0,2 g/l. Un pourcentage de 56,52 % des isolats testés dégradent au moins un pesticide. En se basant sur les critères morphologiques, ces isolats performants se rapprochent aux genres : *Streptomyces*, *Thermomonospora*, *Actinoplanes* et *Nocardia*. ils peuvent être utilisés pour la bioremédiation des différents écosystèmes contaminés par ces pesticides.

Mots clés : Actinobactérie, biodégradation, herbicides, insecticides, fongicides, bioremédiation.

Abstract

During our study we have been interested in testing the ability of actinobacteria from different ecosystems to degrade some pesticides. Firstly, we investigated the situation of pesticides in the wilaya of Constantine, then a range of herbicides, insecticides and fungicides was selected for this study. A collection of actinobacterial isolates is purified by successive transplanting on ISP2 medium, this collection consists of 10 isolates from wastewater, 9 isolates from thermal water and 4 isolates from Saharan soil. These isolates are tested for their ability to degrade the chosen pesticides. The preliminary test is about the use of pesticides as the sole source of carbon and nitrogen on two minimum media which are respectively, the one of Vandermess and the one of Bano and Mussarat supplemented with 0.2 g / l of the pesticide. The active isolates are then tested for their tolerance to different concentrations in the aim of making sure of their performance towards pesticides, in fact, 6 concentrations are chosen (0.5 g / l, 1 g/l, 3 g / l, 6 g / l, 12 g / l). The results show that the most degraded pesticide is Tachigazole which is used as the sole source of carbon by 55.55% of thermal water isolates and by 20% of wastewater isolates and thus as the only source of nitrogen by 44.44% of thermal water isolates, in addition, Deltamight 2.5 EC, Zoom and Granstar75DF are considered to be toxic to actinobacteria tested at concentrations greater than 0.2 g / l. 56.52% of the isolates tested degrade at least one pesticide. Based on morphological criteria, these isolates are similar to the genera; *Streptomyces*, *Thermomonospora*, *Actinoplanes* and *Nocardia*. They can be used for the bioremediation of different ecosystems polluted by these pesticides.

Key words: Actinobacteria, biodegradation, herbicides, insecticides, fungicides, bioremediation.

ملخص

خلال دراستنا ركزنا على اختبار قدرة أكتينوبكتيريا معزولة من نظم بيئية مختلفة على هدم مبيدات الآفات. في البداية تحرينا عن حالة المبيدات في ولاية قسنطينة ثم اخترنا قائمة تضم بعض مبيدات الأعشاب والمبيدات الحشرية و المبيدات الفطريات. تم تنقية الأكتينوبكتيريا المعزولة من خلال زراعات متعاقبة على وسط ISP2 ،العزلات النقية التي تم الحصول عليها هي كما يلي: 10 عزلات من المياه العادمة و 9 عزلات من المياه الحرارية و 4 عزلات من التربة الصحراوية، ثم تم اختبار هذه العزلات لقدرتها على هدم مبيدات الآفات من خلال استخدامها كمصدر وحيد للكربون والنيروجين في وسطين هما، وسط vandermess و وسط Bano et Mussarat يحتويان على تركيز 0.2 غ / لتر من المبيد، بعد ذلك تم اختبار تحمل العزلات النشطة لتركيزات مختلفة للتأكد من أدائها اتجاه المبيدات ، من أجل ذلك تم اختيار 6 تركيزات (0.5 غ / لتر ، 1 غ / لتر ، 3 غ / لتر ، 6 غ / لتر ، 12 غ / لتر). أظهرت النتائج أن مبيد الآفات الأكثر هدما هو تاشيجازول ، والذي يستخدم كمصدر وحيد للكربون من طرف 55.55% من عزلات المياه الحرارية و 20% من عزلات المياه العادمة وأيضا كمصدر النيروجين الوحيد من طرف 44.44% من عزلات المياه الحرارية ، من ناحية أخرى ، تم اعتبار دالتا مايت EC 2.5 و الزوم و جرانستار DF75 كموا د سامة للأكتينوبكتيريا المختبرة في تركيزات أكبر من 0.2 غ / لتر. في النهاية، 56.52% من العزلات المختبرة نجحت بهدم مبيد واحد على الأقل. استنادا إلى المعايير المرفولوجية، السلالات الناجحة في الهدم تشبه الاجناس التالية: *Thermomonospora*, *Streptomyces*, *Actinoplanes* و *Nocardia* ، يمكن استخدام هذه السلالات في المعالجة البيولوجية للنظم البيئية الملوثة بهذه المبيدات .

الكلمات المفتاحية : أكتينوبكتيريا ، المبيدات الحشرية ، مبيدات الأعشاب ، مبيدات الفطريات ، الهدم البيولوجي ، المعالجة البيولوجية .

LISTE DES ABREVIATIONS

2,4-D : Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique

Bt : Protéine produite par *Bacillus thuringensis*

CCA : Commission du Codex Alimentarius

CCLS : Coopérative des céréales et légumes secs.

CCPR : Comité du Codex sur les résidus des pesticides

CE50 : la concentration qui provoque un effet

CIRC: Collaboration Internationale dans la Recherche sur le Cancer

CL50 : Concentration Létale médiane

CS : Capsule suspension

DDT : Di-chloro -Diphényl-Trichloréthane

DE50 : la dose qui provoque un effet

DF : Dry flowable

DL50 : Dose Létale médiane

DMSE : Dose maximale sans effet

DNOC : Dinitro-ortho-crésol

DT50 : durée de demi-vie de dégradation

DTT : Dithiothréitol (molécule Redox)

EC : Concentré émulsifiable

EPA : Agence américaine de protection de l'environnement

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

GC% : coefficient de Chargaff.

GEMS/Food : Global Environment Monitoring System – Food Contamination Monitoring and Assessment Programme

INPV : Institut National de la Protection des Végétaux

ISP : International *Streptomyces* Project

J.C : Jésus-Christ

Koc : le coefficient de partage

Kow : Coefficient de partage octanol-eau

LMR : La limite maximale de résidus

MA : Mycélium aérien

MS : Mycélium de substrat

NA : Non applicable ou non déterminé.

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des céréales

OMS : Organisation mondiale de la santé

PEN: Pendiméthaline

pH : Potentiel Hydrogène

POP : polluants organiques persistants

PPP : Produits de protection des plantes

SC : Suspension concentrée

SL : concentré soluble

SP : Water soluble powder

UNP : Union Nationale des Parachutistes

WG : Water dispersible granules (granulés à disperser dans l'eau)

WHO : World Health Organization

WP : Wettable Powder (poudre mouillable)

Liste des tableaux

Tableau N°01: Système de classification des produits phytosanitaires.....	05
Tableau N°02: Modes d'action des insecticides et acaricides.....	07
Tableau N°03: Modes d'action des fongicides.....	07
Tableau N°04: Modes d'action des herbicides.....	08
Tableau N°05: Importation des pesticides en Afrique de 1990-2010.....	10
Tableau N°06: La classification hiérarchique de la classe Actinobacteria basée sur l'analyse phylogénétique de l'ADNr / ARNr 16S.....	41
Tableau N°07: Types de paroi chez les actinomycètes.....	43
Tableau N°08: les quatre Spectres des sucres caractéristiques des Actinomycetes.....	43
Tableau N°09: Types de phospholipides des Actinomycetes.....	44
Tableau N°10: Différentes valeurs de GC% rencontrée dans le groupe des Actinomycètes.....	44
Tableau N°11: Caractéristiques des pesticides testés à la biodégradation.....	46
Tableau N°20: Résultats de tolérance de différentes concentrations du Tachigazole dans le milieu MM1	54
Tableau N°21: Résultats de tolérance de différentes concentrations du Tachigazole dans le milieu MM2.....	54
Tableau N°22: les Résultats de tolérance des différentes concentrations du Rustile dans milieu MM1.....	58
Tableau N°23 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Rustile dans milieu MM2	59
Tableau N°24 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Deltamight dans milieu MM2	61
Tableau N°25 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Karateka dans milieu MM1.....	63
Tableau N°26 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Karateka dans milieu MM2.....	63
Tableau N°27 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Prowl aqua dans milieu MM1	65

Tableau N°28 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Prowl aqua dans milieu MM2	66
Tableau N°29 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Zoom dans milieu MM1	68
Tableau N°30 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Zoom dans milieu MM2	68
Tableau N°31 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Granstar dans milieu MM1	70
Tableau N°32 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Granstar dans milieu MM2	70
Tableau N°33 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Glyphosate dans milieu MM2	71
Tableau N°34 : Caractères cultureux des souches performantes	73

Liste des figures

Figure N°01: Vente de produits phytosanitaires dans le monde	09
Figure N°02: Vente mondiale des pesticides en 2008	10
Figure N°03: Mécanisme de transfert et de transformations des pesticides dans les milieux.	11
Figure N°04: Clichés de microscopie électronique à balayage illustrant les types fragmentaire et permanent du mycélium des actinomycètes.....	32
Figure N°05: Organisation des conidies chez quelques genres d'actinomycètes	33
Figure N°06: Clichés de microscopie électronique illustrant la diversité des types de surface de spores chez le genre Streptomyces.....	34
Figure N°07: Formes et disposition de sporanges chez quelques genres d'actinomycètes	35
Figure N°08: Représentation schématique du cycle de vie des actinomycètes sporulant....	36
Figure N°09: La croissance d'une colonie d'actinomycète sur milieu solide	37
Figure N°10: Les classes morphologiques de Streptomyces cultivé en milieu liquide	38
Figure N°11: Structure des isomères de l'acide diaminopimélique	43
Figure N°12: les solutions mères préparés à partir de certains pesticides, (A) :Teldor ; (B) : Rustile ; (C) : Granstar ; (D) : Zoom.....	47
Figure N°13: Aspect Macroscopique des Actinobactéries sur milieu ISP2 ; (B6 et B11) : isolats du sol Saharien; (ETAT3 et KSR) : isolats des eaux thermales; (MI et AG) : isolats des eaux usées.....	51
Figure N°14 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l du fongicide Tachigazole sur des intervalles de temps différents.....	52
Figure N°15 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l du fongicide Tachigazole sur des intervalles de temps différents.....	52
Figure N°16 : Culture de l'isolat KSR sur milieux minimums additionnés de 0,2g/l de Tachigazole ; (A) :MM1, (B) : MM2.....	53
Figure N°17 : Croissance des isolats des eaux thermales (KSR, SEA1, GA3, ETAT10) sur MM2 additionnée de 12g/l du fongicide Tachigazole.....	55
Figure N°18 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l de fongicide Teldor sur des intervalles de temps différents.....	56

Figure N°19 : Culture de l'isolat AC sur milieu minimum MM1 additionné de fongicide Teldor après 72 h d'incubation à 28 ± 2 °C.....	57
Figure N°20 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l de l'insecticide Rustile sur des intervalles de temps différents.....	57
Figure N°21 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l de l'insecticide Rustile sur des intervalles de temps différents.....	58
Figure N°22 : Croissance des isolats des eaux thermales (ETAT5, ETST4, GA3C) sur milieu MM1 additionné de l'insecticide Rustile après 72h.....	59
Figure N°23 : Croissance des isolats des eaux thermales (GA3, ETST8) sur milieu MM2 additionné de l'insecticide Rustile après 72h	59
Figure N°24 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l de l'insecticide Deltamight	60
Figure N°25 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l de l'insecticide Karateka sur des intervalles de temps différents.....	62
Figure N°26 : Pourcentage des isolats actif sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l de l'insecticide Karateka sur des intervalles de temps différents.....	62
Figure N°27 : Croissance de l'isolat GA3 des eaux thermales sur milieu MM2 additionné de l'insecticide Karateka	63
Figure N°28 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l de l'herbicide Prowl aqua sur des intervalles de temps différents	64
Figure N°29 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l de l'herbicide Prowl aqua sur des intervalles de temps différents.....	65
Figure N°30 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionnée de 0,2g/l de l'herbicide Zoom.....	67
Figure N°31 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l de l'herbicide Zoom.....	67
Figure N°32 : Pourcentage des isolats actifs sur MM1 additionné de 0,2g/l de l'herbicide Granstar	69
Figure N°33 : Pourcentage des isolats actifs sur MM2 additionné de 0,2g/l de l'herbicide Granstar	69
Figure N°34 : Pourcentage des isolats actifs sur MM2 additionné de 0,2g/l de l'herbicide glyphosate.....	71
Figure N°35 : Photographies présentat les différents aspects cultureux des souches performantes dans la biodégradation des pesticides	74

Figure N°36: Observation microscopique de coloration de Gram des souches des eaux usées performantes dans la biodégradation des pesticides (G×100).....	75
Figure N°37 : Observation microscopique de coloration de Gram des souches des eaux thermales performantes dans la biodégradation des pesticides (G×100).....	76
Figure N°38 Aspect microscopique et genres proches des souches performants dans la biodégradation des pesticides (G×100).....	77

Introduction

Dans le monde moderne, la pollution a pris une telle ampleur qu'elle met en danger la vie des êtres vivants surtout dans les régions où se développe l'industrialisation et où les déchets domestiques et agricoles ne cessent de s'agrandir.

Les pesticides sont parmi les polluants de la nature les plus importants. Seulement 5% atteindraient leur cible quelle que soient les conditions de leur utilisation et les caractéristiques du milieu, le reste étant dispersé dans les différents compartiments de l'environnement (**Bertrand *et al* , 2011**). Les pesticides sont qualifiés de xénobiotiques, car ce sont des produits chimiques de synthèse qui doivent être absents des différents secteurs de l'environnement.

Les moyens de dépollution mis en jeu sont les traitements physico-chimiques. Ces techniques sont malheureusement très coûteuses et les produits résultants peuvent être encore plus toxiques. Il était donc nécessaire pour les chercheurs de développer des méthodes alternatives moins coûteuses et appréciable pour la nature, afin de palier à ce problème.

Les phénomènes naturels de dépollutions par les microorganismes, ont orientés les chercheurs à des applications biologiques. En effet, de nombreuses observations ont montré que les eaux de surfaces ainsi que les eaux usées, bien aérées sont capables de s'auto-épurer. Ces phénomènes d'épuration naturelle résultent de l'action combinée de diverses facteurs : d'une part les facteurs physico-chimiques tel que la dilution, la sédimentation, les rayonnements solaires ...etc; et d'autre part des facteurs biologiques auxquels participent intensément la microfaune et la microflore aquatique (**Chea, 1975**).

Dans l'environnement naturel, les matières organiques sont dégradées essentiellement par les microorganismes hétérotrophes dont le nombre croit énormément dans les milieux riches en nutriments comme les eaux usées et qui sont adaptés parfaitement à la dégradation des polluants (**Tortora, 2003 ; Bertrand *et al*, 2011**). Ainsi, les systèmes actuels de traitement des eaux usées utilisent la dégradation microbienne comme principale moyen. L'adaptation des microorganismes à la dégradation des xénobiotiques repose essentiellement sur une grande diversité des « outils » enzymatiques des communautés microbienne naturelles, associés à une grande plasticité de leurs génomes de faire apparaître des combinaisons nouvelles adaptées à un environnement chimique nouveau.

Parmi les microorganismes qui ont un rôle important dans la biodégradation des différents xénobiotiques comme les pesticides, les actinomycètes retiennent particulièrement notre attention. Ce sont d'excellentes producteurs d'enzymes diverses appliqués aux différents domaines notamment la dépollution.

Cependant, les travaux faisant appel aux actinomycètes dans ces biodégradations restent moins apportés dans la littérature comparativement aux autres bactéries (**Hocinat, 2018**).

Les actinomycètes appelés maintenant actinobactéries, présentent un sous-groupe des bactéries à Gram positif qui possède un GC% important. Ils se présentent généralement sous forme de filaments multicellulaires semblables à des hyphes fongiques. Elles peuvent sporuler en réponse à des conditions défavorables, les spores asexuées peuvent germer et donner de nouveau le mycélium végétatif, ce qui favorise leur propagation.

Ce sont des microorganismes ubiquitaires adaptés à divers milieux écologiques terrestres et aquatiques. Le genre *Streptomyces* est le plus fréquent, dans ces milieux.

La question principale qui s'impose est de savoir comment déterminer la capacité des actinobactéries provenant des différents segments de la nature à biodégrader les pesticides.

A cet effet, nous avons mis l'accent sur la capacité des actinomycètes à biodégrader les pesticides. Nous avons choisi certains pesticides parmi ceux les plus utilisés dans la wilaya de Constantine. Pour cela, nous nous sommes fixés comme objectif de :

- Purifier et entretenir les souches d'actinomycètes provenant de différents écosystèmes (eaux usées, eaux thermales, sol Saharien).
- Chercher les pesticides commercialisés et distribués à Constantine et de déterminer ceux qui sont les plus utilisés depuis des années.
- Mettre en évidence la capacité de ces souches à biodégrader ces pesticides.
- En fin, d'identifier par méthodes morphologiques les souches les plus performantes.

Revue
Bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides et ses différentes voies de dégradation

1-1- Historique

Les humains ont utilisé des pesticides depuis 500 ans avant J.C en quantités considérables en agriculture intensive pour protéger leurs cultures.

Selon **Bertrand et al., 2011**, les civilisations du pourtour de la méditerranée utilisaient comme insecticides des extraits de capitules de fleurs de pyrèthre ou de feuilles de Tabac, dès le Vème siècle, les chinois utilisaient dans le même but des préparations à base d'arsenic, les égyptiens utilisaient l'huile de pétrole pour contrôler le développement de fongiphytopatogène.

De nombreux pesticides de synthèse apparaissent dès le début du XXème siècle, C'est le cas par exemple du dinitro-ortho-crésol (DNOC) ou encore Le Di-chloro -Diphényl-trichloréthane (DDT) dont La première large application a été pendant la Seconde Guerre Mondiale en 1943 dans la région de Naples (Italie), pour lutter contre le pou de corps (*Pediculus humanus*), au même époque, la découverte des premiers herbicides sélectifs et des herbicides à activité hormonale, a contribué largement au développement de la lutte chimique.

Depuis lors et au cours des dernière années, les pays industriels ont développé des pratiques culturales reposant largement sur une utilisation toujours plus abondante des produits phytosanitaires.

Plusieurs facteurs ont eu un effet marquant sur cette évolution tel que :

- La recherche d'un rendement élevée
- La protection de la qualité des produits alimentaires.
- Une main d'œuvre plus réduite.
- De nombreuses substances ont été découvertes ; ils appartiennent aux familles chimiques des organophosphorés, des carbamates et des pyrèthrinoides.

A partir des débuts de 1960, l'utilisation des pesticides est montée en flèche en Asie et en Amérique du Sud 4. 65 % des pesticides dans le monde sont utilisés dans les pays développés, mais l'utilisation dans les pays en développement est de plus en plus élevée (**Clavet et al ; 2005**).

1-2- Définition

Etymologiquement, Le mot pesticide composé de deux parties: le suffixe «cide» qui a pour origine le verbe latin «caeder» qui signifie « tuer ». On lui a adjoint la racine anglaise « Pest» qui signifie animal ou plantes nuisibles à la culture (**Colin, 2000**).

Un pesticide est une substance, ou un mélange de substances, utilisé pour empêcher d'agir, détruire ou neutraliser un ravageur, un vecteur de maladie humaine ou animale, une espèce végétale ou animale nocive (**FAO, 1986**).

Il existe, parallèlement, de nombreuses autres appellations des pesticides telles que produits phytosanitaires, produits agro pharmaceutiques, produits antiparasitaires, les produits phytopharmaceutique, ou encore produits agri sanitaire (**Belmonte et al ., 2005**).

1-3- Classification

Les pesticides disponibles aujourd'hui sur le marché, sont caractérisés par une telle variété de structures chimiques, de groupes fonctionnels et d'activité que leur classification est complexe (**Merhi, 2008**)

Deux systèmes sont actuellement utilisés :

- **Le premier** tient compte la nature chimique
- **Le deuxième** repose principalement sur la nature des cibles visée (**Tableau 1**).

Tableau 01: Système de classification des produits phytosanitaires (El Mrabet, 2008).

Deuxième système de classification		Premier système de classification
En fonction de la Cible	Spectre d'action	En fonction de la nature chimique de la substance active
Herbicides	Les végétaux rentrant en concurrence avec les plantes à protéger en ralentissant leur croissance.	<ul style="list-style-type: none"> • Organochlorés • Organophosphorés • Les carbamates • Les pyréthrynoïdes • Les triazines • Les urées- substituées
Fongicides	Les champignons ou encore les bactéries responsables des phytomaladies.	
Insecticides	Protection des plantes contre les insectes.	
Acaricide	Acariens.	
Némantocides	Contre les vers du groupe Nématodes.	
Rodenticides	Contre les rongeurs	
Molluscicides	Contre les limaces et les escargots	
Taupicides	Contre les taupes	
Corvicides et Corvifuges	Contre les corbeaux et les autres oiseaux, ravageurs des cultures.	

1- 4- Composition et formulation

1-4-1-Composition

Un pesticide est une préparation composé de plusieurs substances

1-4-1-1-Une matière active

C'est une substance qui confère au produit l'effet poison désiré, tels que: le sulfosulfuron, le glyphosate, le métaldéhyde, l'isoproturon. Une matière active à l'état pur ne constitue que rarement un pesticide, car elle doit être préparée formulée avant de pouvoir être utilisée.

1-4-1-2-Les additifs

Des substances qu'on ajoute pour renforcer l'efficacité et la sécurité du produit et qui peuvent être :

- un diluant ou une charge, substances neutres, permettant de réduire la consommation de matière active
- des adjuvants, qui améliorent l'efficacité de la matière active, Ces adjuvants peuvent être: des mouillants, des adhésifs, des stabilisants, des synergistes, des substances colorantes, des substances odoriférantes (**Appert, 1988**).

1-4-2- Formulation

Les PPP sont disponibles en différentes formulations (liquide, solide ou gazeuse), afin de rendre leur application la plus efficace possible :

- Les formulations liquides incluent les suspensions (suspensions concentrées), les solutions, les concentrés émulsifiables, les suspensions en micro-capsules et les aérosols.
- Les préparations solides comprennent les poussières, les particules, les granulés, les pastilles, les granules solubles, les poudres solubles, les appâts, les tablettes, les comprimés, les pâtes granulées et les poudres mouillables.
- Les PPP gazeux sont généralement des fumigants, ils peuvent être vendus sous forme de liquide ou de gaz (Annexe 1).

1-5- Mode d'action des pesticides

Selon (**Comité sécurité Alimentaire d'Aprifel, 2004**), les principaux modes d'action des pesticides sur les organismes cibles se résument dans les tableaux 2, 3 et 4 :

Tableau 2 : Modes d'action des insecticides et acaricides

<ul style="list-style-type: none"> • Action sur le système nerveux -Action sur les synapses H et les neuromédiateurs -Action sur la transmission axonale 	<ul style="list-style-type: none"> • Action sur la cuticule - Inhibition de la chitine H
<ul style="list-style-type: none"> • Action sur la respiration -Inhibition du transport des électrons dans les Mitochondries H -Inhibition de la phosphorylation oxydative H 	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbateurs de mue -Action sur l'ecdysone H - Action sur l'hormone juvénile H

Tableau 3 : Modes d'action des fongicides

<ul style="list-style-type: none"> • Action sur les processus respiratoires -Inhibition des complexes II et IIIH Phosphorylation oxydative - Inhibition de la germination 	<ul style="list-style-type: none"> • Action sur les biosynthèses - Biosynthèse des stérols - Biosynthèse de l'ARN et de l'ADNH -Biosynthèse des mélanines H
<ul style="list-style-type: none"> • Action sur les microtubules -Combinaison avec la tubuline 	<ul style="list-style-type: none"> • Autres modes d'action -Action sur les membranes et la croissance -Inhibition de la germination -Modification de la perméabilité cellulaire -Inhibition de l'élongation des tubes Germinatifs

Tableau 4 : Modes d'action des herbicides

<ul style="list-style-type: none"> • Inhibition de la photosynthèse <p>-Inhibition du PS I et du PS IIIH</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibiteurs de la synthèse des caroténoïdes <p>-Inhibition de la PDSH et de la 4-HPPD</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Inhibition de la synthèse des lipides <p>-Inhibition de l'enzyme ACCase, des élongases et des enzymes de cyclisation du GGPPH</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibiteurs de la synthèse des chlorophylles
<ul style="list-style-type: none"> • Inhibition de la synthèse des acides aminés (chloroplastes) <p>- Inhibition de la synthèse de la glutamine, des AA aromatiques et des AA ramifiés</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Découplants
<ul style="list-style-type: none"> • Perturbation de la régulation de l'auxine AIA <p>- Inhibiteurs de la division cellulaire, blocage de la tubuline, du fuseau achromatique, blocage de la synthèse de l'acide folique</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbateurs de croissance <p>-Inhibition du transport auxinique et de la synthèse de la cellulose</p>

1-6 - Situation des pesticides dans le monde

1-6-1- Législation internationale des pesticides

Un organe subsidiaire de la Commission du Codex Alimentarius (CCA) appelé Comité du Codex sur les résidus des pesticides (CCPR) émet des avis sur toutes les questions relatives aux résidus de pesticides.

En 1989, un guide pour le calcul prévisionnel des quantités de résidus de pesticides apportées par l'alimentation a été préparé par le Global Environment Monitoring System – Food Contamination Monitoring and Assessment Programme (GEMS/Food) en collaboration avec le CCPR47, Ce guide a pour but d'aider les autorités nationales à examiner l'acceptabilité des LMRs Codex et à prendre des décisions nationales concernant l'enregistrement des pesticides (**Comité sécurité Alimentaire d'Aprifel, 2004**).

La limite maximale de résidus (LMR) est la concentration maximale des résidus de pesticides légalement tolérée dans ou sur des denrées alimentaires ou des aliments pour animaux ; Elle s'exprime en mg/kg, en µg/l ou en ppm. Il existe pour chaque produit

des LMR nationales et des LMR internationales qui sont utilisées lors des échanges internationaux de denrées (Commission Européenne, 2008)

1-6-2- Marché mondiale des pesticides

Selon l'observatoire des Résidus de Pesticides (2015), la production mondiale des pesticides a généré un chiffre d'affaire d'environ 40 milliards de dollars. La répartition de ce marché entre les différentes catégories démontre la prédominance des herbicides qui détiennent 47% de cette somme, suivies des insecticides qui représentent près de 29 % et les fongicides 18 %, comme le montre la figure 1 (ACTA, 2002).

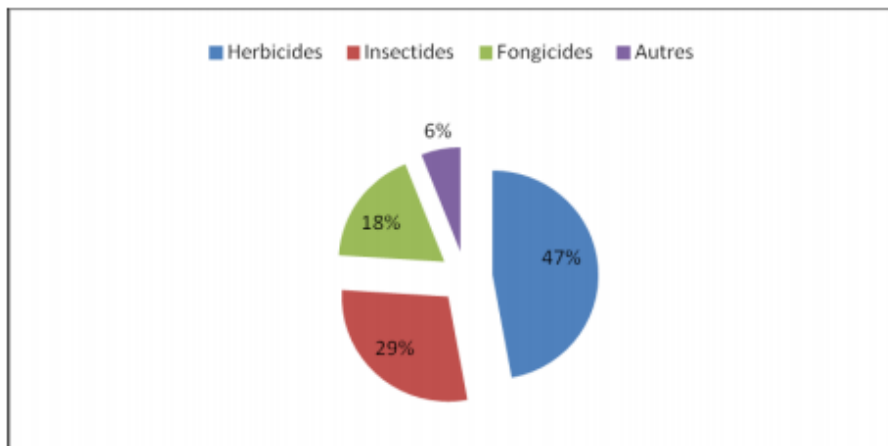


Figure 1. Vente de produits phytosanitaires dans le monde. (Source : Agrow, fév. 2000 Rapporté par ACTA 2002)

La consommation mondiale par région met au-devant l'Amérique du nord, suivie de L'Europe qui utilisent plus de la moitié de la production globale des pesticides (ONSSA, 2015).

1-7 - Situations des pesticides en Afrique

Selon **Aprifel 2016**, l'importation des pesticides en Afrique est faible par rapport au reste du monde (Figure 2) mais il y a une augmentation importante de 1990 à 2010 (Tableau 5).

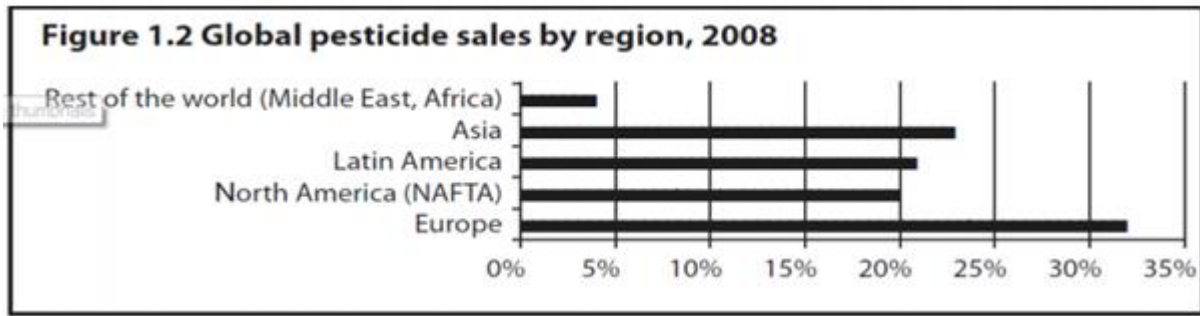


Figure 2 : Vente mondiale des pesticides en 2008 (Crop Protection Association UK, 2008)

Tableau 5 : Importation des pesticides en Afrique de 1990-2010 (Aprifel, 2016)

Year	1990	2000	2010
West Africa	106,839	163,324	500,008
Central Africa	30,102	27,625	47,270
East Africa	146,634	155,163	354,367
Total	283,575CA	346,112 (+122%)	901,645 (+261%)

1-8- Situation des pesticides en Algérie

ALGERIE ECO a publié le 29 novembre 2018 que l'utilisation des pesticides en Algérie est de 0,05 Kg par hectare seulement, très loin de ce qui est utilisé dans les autres pays à l'instar de la France, 3,5Kg par hectare, ou bien 2,5 Kg par hectare à l'USA, en outre, tous les produits phytosanitaires utilisés dans l'agriculture sont soumis à plusieurs opérations de contrôle afin d'obtenir une homologation qui permettra leur mise sur le marché étant donné que les demandes d'homologation sont examinées par la commission interministérielle composée de plusieurs départements, dont le Commerce, l'Environnement, la Santé..., Selon le ministre de l'agriculture, Abdelkader Bouazgui Lors du Conseil de la nation.

En Algérie, Les aspects relatifs à l'homologation, l'importation, la fabrication, la commercialisation et l'utilisation des pesticides sont régis par une loi promulguée en 1987, relative à la protection phytosanitaire, les pesticides sont soit importés ou produits localement notamment par Asmidal et d'autres usines privées (TSA, 2018).

1-9- Devenir et dispersion des pesticides dans l'environnement

Dès qu'ils ont atteint le sol ou la plante, les pesticides commencent à disparaître : ils sont dégradés ou sont dispersés. Les matières actives peuvent se volatiliser, ruisseler ou être lessivées et atteindre les eaux de surface ou souterraines, être absorbées par des plantes ou des organismes du sol ou rester dans le sol (Hayo, 1997).

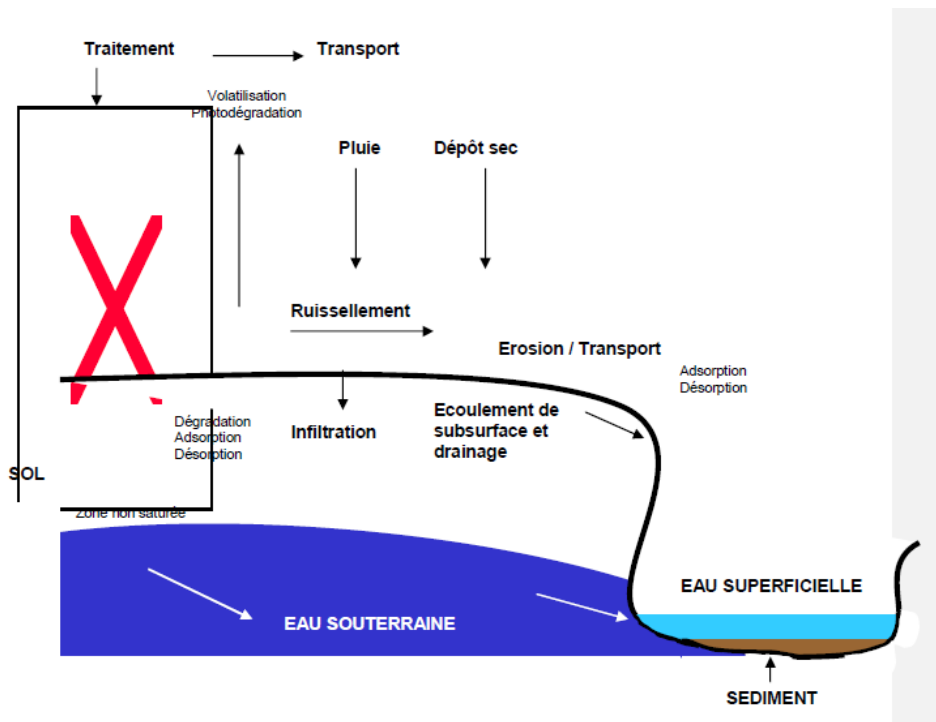


Figure 3 : Mécanisme de transfert et de transformations des pesticides dans les milieux

1-9-1- Devenir dans le sol

Les processus suivants déterminent le comportement des pesticides dans les sols :

- dégradation par les micro-organismes
- dégradation chimique (p. ex. par hydrolyse)
- rétention par des composants organiques et minéraux
- absorption par les racines des plantes
- volatilisation ;
- effet de dilution par les mouvements de l'eau. (Hayo, 1997).

1-9-1-1- Immobilisation et rétention

Les processus de rétention des pesticides dans le sol immobilisent les molécules dans le sol et évitent ainsi, au moins temporairement, une diffusion hors du lieu de rétention vers l'air par volatilisation ou vers l'eau par entraînement dans les flux hydriques.

La propriété de rétention d'une molécule est généralement définie par le coefficient de partage, K_{oc} entre phase organique solide du sol et phase liquide. Ce coefficient est surtout pertinent pour les molécules non ionisées, dont la rétention dans un sol est proportionnelle à la teneur en matière organique du sol.

La rétention évolue dans le temps et peut devenir irréversible jusqu'à créer des résidus liés, non extractibles, dont on ne connaît ni la nature chimique exacte, ni la capacité de libération ultérieure. C'est la matière organique du sol essentiellement qui retient les matières actives non ioniques (**Hayo, 1996**).

1-9-1-2- Dégradation

Le processus de dégradation est un facteur de dépollution majeur des compartiments environnementaux contaminés par les pesticides surtout s'il aboutit à une minéralisation totale, mais il peut aussi provoquer des pertes d'efficacité des pesticides utilisés pour le traitement des sols.

La dégradation dépend de la stabilité chimique de la molécule et de facteurs abiotiques (température, humidité) et biologiques (microflore). Les traitements répétés d'un sol avec un pesticide peuvent conduire à favoriser l'émergence d'une microflore dégradante adaptée qui accélère la dégradation de la molécule épandue.

1-9-1-3- Couplage des phénomènes de rétention et de dégradation

La rétention et la dégradation ne sont pas des phénomènes indépendants. La rétention conditionne la disponibilité des produits pour leur dégradation : ainsi les produits à K_{oc} élevés seront mieux "protégés" que les autres. Ces deux paramètres sont ceux qui servent à caractériser les risques de mobilité propre à chaque substance dans le cadre de l'évaluation du risque écotoxicologique préalable à l'homologation. Ils sont de ce fait disponibles pour la majorité des pesticides (base de données Agritox par exemple) (**Cemagref, 2005**).

1-9-2- Dispersion atmosphérique

Ce n'est que dans les années 1970 et 1980 que l'on a commencé à s'intéresser au passage des pesticides dans l'atmosphère.

On trouve dans l'air des pesticides provenant soit du sol par relargage, soit des végétaux traités par volatilisation. On retrouve aussi dans l'eau de pluie des composés non volatils (tel que l'isoproturon par exemple), dont la présence s'explique par le transport à longue distance des produits émis lors de l'épandage, la substance active épandue passe directement dans l'atmosphère lors d'applications effectuées par hélicoptère ou par avion, et reste plus limité lors d'applications terrestres classiques. Des résidus de pesticides peuvent passer des cultures vers le compartiment aérien par des phénomènes d'évaporation, de co-distillation avec l'eau ou encore par le biais de l'érosion éolienne (**Comité sécurité alimentaire d'Aprifel, 2004; Hayo, 1996 ; Observatoire régional de la santé, Rhône-Alpes, 2007**).

1-9-3- Dispersion dans les eaux

On s'intéresse à la présence de pesticides dans les eaux superficielles depuis les années 60, depuis qu'on s'est aperçu de la toxicité directe d'insecticides organochlorés pour des animaux aquatiques (**Carson, 1962; Cope, 1965**).

Durant les deux décennies suivantes, on a trouvé de plus en plus de pesticides dans les eaux souterraines (**Boesten, 1989 ; Schivon et al., 1995**) ce qui a inévitablement provoqué une grande inquiétude puisque l'eau de boisson est dans bien des cas puisée dans les nappes. (**Comité sécurité alimentaire d'Aprifel, 2004**)

Dans le journal de Agriculture, ecosystem and environment n°60 (1996), Hayo a publié un article portant pour titre « Assessing the impact of pesticides on the environment », dans lequel il a traité la dispersion des pesticides dans l'environnement notamment dans l'eau résumé ci-dessous :

L'eau peut entraîner la dispersion des pesticides dans le milieu par lavage des feuilles, ou par ruissellement et lixiviation, Le premier contribue à la pollution des eaux de surface tandis que le deuxième contribue surtout à celle des eaux profondes.

1-9-3-1- Le ruissellement

Le ruissellement peut être défini comme le mouvement à la surface du sol de l'eau et des matières dissoutes, suspendues, ou adsorbés sur les sédiments (**Leonard, 1990**).

Les substances qui sont fortement absorbées et résistent à la dégradation et à la volatilisation restent longtemps à la surface du sol et sont de ce fait plus sensibles à l'entraînement par l'eau. (*Larsonet al., 1995*).

1-9-3-2- La lixiviation

Le transfert par lixiviation peut causer la pollution des eaux souterraines. L'importance de cette pollution dépendra entre autres des propriétés du pesticide, de celles du sol, de la vitesse d'infiltration et de l'épaisseur de la zone non saturée.

Le taux de lixiviation des pesticides dans le sol décroît avec la teneur en matière organique de ces sols et l'épaisseur de l'horizon supérieur à forte activité biologique. Dans beaucoup de sols, la présence de macropores (fissures, galeries de vers de terre, passage de racines) favorise l'entraînement des pesticides par lixiviation (**Beven et Germann, 1982**).

1-9-4- Transfert des pesticides aux êtres vivants

Les êtres vivants peuvent être touchés soit par exposition directe durant l'application (inhalation), par contacte directe avec les contaminants (eau, sols, végétation...), par absorption des molécules à partir de milieu de culture (les végétaux) ou indirectement par consommation des eaux et des aliments contaminés (animale, végétale).

1-10- Toxicologie des pesticides

C'est le manque de sélectivité des pesticides vis-à-vis de leur cible qui provoque la plupart des effets nocifs pour l'environnement. Les animaux absorbent les pesticides via la nourriture ou l'eau d'alimentation, via l'air respiré ou au travers de leur peau ou de leur cuticule. Ayant franchi diverses barrières, le toxique atteint les sites du métabolisme ou est stocké. On utilise habituellement pour estimer la toxicité d'un pesticide la dose qui provoque un effet particulier chez la moitié de la population soumise au toxique (DE50 ou CE50) ou la dose létale 50 (DL50 ou CL50). La dose utilisée est la dose maximale sans effet (DMSE) qui est immédiatement inférieure à celle qui provoque le moindre effet dans la même épreuve expérimentale (**Severn et Ballard, 1990**). Pour ce qui est des substances liposolubles, la bioaccumulation dépend du coefficient de partage octanol-eau K_{ow} ; si celui-ci est élevé et la vitesse de dégradation faible, la substance s'accumulera à des concentrations croissantes dans les organismes se succédant le long de la chaîne trophique (**Cooper, 1991**). Il est évident

qu'un pesticide qui suit ce processus est, à exposition et toxicité égales, plus dangereux pour l'environnement qu'un autre produit qui ne s'accumule pas (**Hayo, 1996**).

1-10-1- Écotoxicité

1-10-1-1- Impact sur l'environnement

Les pesticides peuvent être responsables de pollutions des différents compartiments environnementaux, tels que le sol, l'eau et l'air lors de leur fabrication, transport, utilisation ou lors de l'élimination de produits en fin de vie, dégradés, inutilisés ou interdits (**Briand et al., 2002**). L'impact des pesticides sur l'environnement varie en fonction d'un grand nombre de facteurs dont :

- la persistance du pesticide dans l'environnement (durée de demi-vie)
- le temps d'exposition, la dose et la toxicité
- la sensibilité relative des organismes ou de l'écosystème exposés
- l'âge de l'organisme exposé (**Margni et al., 2002**).

1-10-1-2- Impact sur la faune et la chaîne alimentaire

L'empoisonnement de la faune sauvage dépend de la toxicité d'un pesticide, de la quantité appliquée, de la fréquence, du moment et de la méthode de pulvérisation, du climat, de la structure de la végétation et du type de sol (**Isenring, 2010**).

Selon (**Comité sécurité alimentaire d'Aprifel, 2004**), Les espèces les plus étudiées sur le plan de la contamination du compartiment aérien par les produits phytosanitaires sont les oiseaux d'une part et les abeilles d'autre part.

En ce qui concerne les oiseaux, ils peuvent être exposés à une toxicité directe comme dans le cas du 2,4-D ou indirectement suite à des modifications de leur habitat, de leur nourriture ou de leur capacité de reproduction.

Les insecticides peuvent contaminer les abeilles par deux voies principales, soit directement en traversant leurs téguments, soit par ingestion du pesticide lors de la consommation de nectar contaminé.

Ainsi, les organismes aquatiques sont menacés par la toxicité subléthale, la bioaccumulation des xénobiotiques à partir de la nourriture et la bioconcentration des pesticides dans les tissus à partir de l'eau sont des phénomènes très graves.

1-10-1-3- Impact sur la flore

Les impacts des pesticides sur la végétation sont le plus souvent recherchés dans l'optique d'une préservation de la biodiversité.

Une diminution de la biodiversité végétale dans les zones cultivées, associée en particulier à l'usage intensif et extensif d'herbicides a été mise en évidence dans divers pays d'Europe (**Freemark et Boutin, 1994 in Freemark, 1995**)

Les insecticides n'ont pas vraiment d'effets marqués sur les végétaux. Toutefois, des perturbations de croissance des plantes par des composés organochlorés ont été observées ainsi que des effets toxiques sur les algues. En revanche, les herbicides peuvent avoir des effets très dommageables et cela en deux circonstances. Le premier correspond aux dérives et aux transferts sur les végétaux voisins d'une culture traitée et relève des pratiques de traitement mise en œuvre. La deuxième concerne la persistance des herbicides (**Clavet R. et al., 2005**).

1-10-1-3- Impact sur la microflore du sol

Les pesticides peuvent avoir un effet stimulant ou ralentissant sur l'activité des microorganismes du sol.

Un effet stimulant peut découler de l'utilisation par les micro-organismes survivants de nutriments provenant de la décomposition d'autres micro-organismes tués par les pesticides ou de la prolifération de microorganismes capables de dégrader ces substances (**Smith & Mayfield, 1977 ; Kunc et al., 1985 ; Venkatramesh & Agrihothrudu, 1988 ; Cortet et al., 2002**). Dans certains cas, une phase secondaire d'inhibition de la croissance des micro-organismes, voire de réduction de leur abondance, est observée, qui serait parfois liée à la formation de produits de dégradation toxiques (**Corke & Thompson, 1970 ; Taiwo et Oso, 1997**). puis une sélection des populations les mieux dotées pour résister à cette action toxique (**Barriuso et al., 2004**).

1-10-2- Toxicité pour l'homme

Les effets négatifs de pesticides sur la santé humaine résultent d'une exposition de longue durée de consommateurs. Les effets secondaires ont été observés Pour la première fois dans les années 1960 suite à l'application intensive de pesticides et l'exposition des populations à ce type de produits chimiques (**Juc, 2007**).

En 1989, WHO et UNP estimait à un million par an le nombre d'intoxications accidentelles par pesticides dans le monde et à 20 000 celui de cas mortels.

En principe tous les pesticides sont toxiques, mais leur degré de toxicité varie d'un produit à l'autre. Le DDT avec ses métabolites et le Lindane sont classés comme cancérigènes pour l'homme (classe 2B), (IARC, 1974).

Une exposition importante aux pesticides peut provoquer 2 types d'intoxications :

-Toxicité aigüe (ou à court terme)

Elle se manifeste généralement immédiatement ou peu de temps (quelques minutes, heures ou jours) après une exposition unique ou de courte durée à un pesticide. Les cas d'intoxication aigüe par les pesticides représentent une morbidité et une mortalité conséquentes dans l'ensemble du monde (OMS, 2008).

-La toxicité chronique

Elle survient après contact avec faibles doses répétées de pesticides pendant des jours, des mois ou des années. Le délai avant l'apparition de symptômes ou d'une maladie peut être très long. Les effets chroniques des pesticides sur la santé sont typiquement le cancer. Certaines études ont associé l'apparition de certaines formes de cancers (Leucémie, lymphomes non –hodgkiniens et cancer des poumons) à l'utilisation des organophosphorés.

D'autres effets ont été observés chez les mammifères tels que la perturbation du développement du fœtus et le dérèglement des systèmes reproducteurs, endocriniens, immunitaires et/ou nerveux central, respiratoires, cardio-vasculaires, hématologiques, gastro-intestinaux, ainsi que des modifications du comportement (Québec, 2007).

1-11- Problème de persistance des pesticides

La persistance d'un pesticide dans le sol peut être considérée d'un point de vue environnemental comme durée pendant laquelle un pesticide a un effet non souhaité sur des organismes vivants (Calvet *et al.*, 2005). La persistance est évaluée en déterminant la durée de demi-vie de dégradation (DT50) qui correspond à la durée au bout de laquelle la moitié de la quantité initialement présente est dégradée. (Mamy *et al* , 2008). La DT peut classer les pesticides : en pesticides peu persistants: qui ont une demi-vie de moins de six mois et en pesticides persistants qui appartiennent aux POP (polluants organiques persistants), qui ont une DT de plus de six mois. Ils sont plus mobiles et posent des risques plus élevés pour la biosphère et les êtres vivants que les premiers. Sachant que le taux de dégradation augmente généralement avec la température et avec la teneur en eau du sol. La persistance des matières actives peut être très longue dans un sol sec (Hayo, 1996).

La persistance de pesticides est estimée dans les eaux, à une dizaine d'années pour le dichlorodiphényl-trichloro-éthane (DDT) et plus de vingt ans pour la Dieldrine. (Zeboudji, 2005). Parmi les pesticides majoritairement néfastes en vue de leur persistance dans l'environnement, on fait appel aux organochlorés. Ils sont définis par (Observatoire régional de la santé, Rhône-Alpes, 2007) autant qu'insecticides très stables, résistants à la dégradation, et pouvant demeurer intacts dans l'environnement durant plusieurs années comme DDT, dieldrine, heptachlore, aldrine, etc. c'est pourquoi un bon nombre ont fait l'objet d'interdiction au cours des dernières décennies (DDT, lindane, atrazine, simazine, etc.). Ils ont été remplacés par des produits tels organophosphorés et carbamates, moins stables, moins persistants, laissant peu de métabolites et rendant peu probable leur accumulation dans l'environnement.

1-12 Dégradation des pesticides

La dégradation des pesticides est la transformation qui conduit à la décomposition ou la dissipation de ces derniers, sous l'action des facteurs chimiques (dégradation abiotique), biologiques et photovoltaïques. Toute une série de molécules intermédiaires (les produits de dégradation ou métabolites) entre la molécule initiale et les molécules minérales finales peuvent être produites (Calvet et al., 2005) C'est lorsque le pesticide est transformé en molécule minérale, comme le CO₂, qu'il est totalement éliminé. Ce phénomène est appelé minéralisation (Mamy et al., 2008).

1-12-1- La dégradation abiotique ou chimique

C'est la dégradation de produits phytosanitaires par les interactions avec les produits chimiques du sol. Elle est plus importante dans les zones où l'activité biologique est réduite. Elle est faite par les réactions d'hydrolyse, de déshydro-halogénéation, d'oxydoréduction et de photolyse (Amalric et al., 2003). Elle est souvent liée à l'action de la lumière notamment les rayons ultra-violet (U.V) du soleil, à la température, au pH, à l'humidité du sol et de l'air, à la volatilité du pesticide à certains ions et la structure du sol (Coulibaly et Smith, 1990).

La dégradation abiotique peut intervenir dans la solution du sol (Calvet, 1980), où l'hydrolyse acide ou basique est la réaction la plus fréquente. Mais il est démontré que les processus réactionnels sont généralement catalysés au niveau des surfaces des constituants du sol : argiles, matières organiques et oxydes métalliques (Senesi, 1993 ; Wolfe, 1990).

- **Photodégradation**

C'est la décomposition des pesticides sous l'action de la lumière par photolyse. Elle est directe ou indirecte selon que l'énergie est absorbée par les produits phytosanitaires ou l'énergie des rayonnements est transmise par les micro-organismes du sol (**Amalric et al., 2003**). La lumière du soleil a été ciblée comme étant la source majeure de dégradation des pesticides organochlorés et pyréthrénoïdes dans l'environnement (**Eto, 1974**).

1-12-2- La dégradation biotique (la biodégradation)

1-12-2-1- Notion de la biodégradation

On désigne sous le terme biodégradation la transformation biologique de substances sous une autre forme (**Berry, 1987**). La dégradation par les microorganismes est le phénomène le plus important dans l'élimination des pesticides du sol. La dégradation par oxydation ou par hydrolyse des pesticides organophosphorés du sol est souvent due à l'action des microorganismes (**Alasdair et al., 1978**).

Parmi les nombreux microorganismes impliqués dans la dégradation des pesticides, les plus représentés sont les bactéries et les champignons (**Singh et Walker, 2006**).

La dégradation biologique dépend de plusieurs facteurs :

- Paramètres du sol tel que la température et l'humidité (plus le sol est humide et chaud plus la dégradation est rapide), le pH, la fertilité et la texture,
- Le nombre et le taux de l'activité des micro-organismes (qui dépend de la teneur du sol en éléments énergétiques)
- La composition et la structure chimique des pesticides (**Amalric et al., 2003**).

Deux types de biodégradation de composés organiques peuvent avoir lieu, Soit totale ou incomplète.

1-12-2-2-La biodégradation totale

C'est une oxydation complète ou minéralisation de molécules organiques en composés inorganiques en présence d'oxygène (respiration aérobie) ou en absence d'oxygène (Respiration anaérobie) avec production d'un nombre de molécules d'ATP plus important que dans l'oxydation incomplète.

1-12-2-3-La biodégradation incomplète ou fermentation

C'est une voie d'oxydation incomplète dans laquelle les molécules organiques endogènes synthétisées par la cellule elle-même sont utilisées comme accepteurs finals d'électrons. Les

produits de la fermentation peuvent être minérales et/ou organiques, elle peut transformer un composé en métabolites organiques stables qui peuvent être à leur tour inoffensifs ou parfois plus toxiques que le polluant initial (**Madigan, 1991; Alcamo, 1998 ; Kaufmann, 2004**).

1-12-2-4- Principales voies biochimiques de la dégradation des pesticides

Selon (**Bertrand *et al.*, 2011**), la dégradation des différentes molécules (pesticides) repose sur un ensemble de capacités biochimiques contrôlées par un large spectre d'enzymes (chez les plantes, et chez les microorganismes).

Les principales réactions de dégradation adoptées par les microorganismes sont, selon (**Roger et Jacq, 2000**) :

- Les réactions d'hydrolyse** : Le clivage d'une liaison ester par addition d'eau au biais des enzymes tels que carboxylase.
- Hydroxylation** : L'addition d'un ion OH à une molécule aromatique ou aliphatique la rend généralement moins toxique.
- **Déhalogénéation** : des enzymes appelés déhalogénases remplacent l'halogène, soit par un ion H (déshalogénéation réductive), soit par un ion OH (déhalogénéation hydrolytique), et dans certains cas il s'agit de l'enlèvement de l'halogène et d'un H adjacent (deshydrodéhalogénéation).
- **Déméthylation et déalkylations** : pour les pesticides qui contiennent des radicaux méthyl ou alkyl liés à un N- ou un O-. Une déalkylation du N- ou du O- généralement inactive ces pesticides.
- **Méthylation** : c'est l'addition d'un groupe méthyle, elle peut inactiver les phénols toxiques.
- **Réduction d'une fonction NO₂** : Le remplacement du radical NO₂ par un radical NH₂ diminue généralement la toxicité du produit.
- **Désamination** : l'enlèvement du radical NH₂ inactive certains pesticides
- **Clivage d'une liaison éther(C-O-C)** : dans le cas des phénoxy herbicides qui contiennent des liaisons éther (C-O-C) dont le clivage inactive la molécule.

- **Conversion d'un nitrile en amide** : l'exemple représentant est l'herbicide sélectif 2-6-dichloro-benzonitrile (nom commercial: Dichlobénil) inactivé par la microflore du sol qui le transforme en 2,6-dichloro-benzamide.
- **Conjugation** : c'est l'ensemble des réactions qui associent un composé courant des voies métaboliques à un composé toxique dont elles provoquent l'inactivation, Par exemple *Cunninghamella elegans* peut conjuguer le pyrène avec du glucose.
- **Ouverture de cycles (composés benzéniques)** : cette réaction est surtout fréquente chez les bactéries méthanogènes qui peuvent dégrader un certain nombre de composés benzéniques polycycliques
- **Réactions multiples** : une communauté microbienne peuvent détoxifier un composé de plusieurs façons par des enzymes appartenant à différents microorganismes.

1-12-2-5- Bases physiologiques de la dégradation des pesticides

Selon (Claude *et al.*, 2011), la biodégradation des pesticides peut être étudiée avec des souches pures ou des communautés microbiennes.

- **Dégradation par des « souches » cultures pures**

Deux catégories de souches microbiennes avec 2 modes de fonctionnement physiologique différents sont observées : métabolisme et co-métabolisme. Dégradation des pesticides comme seule source de carbone et d'énergie = minéralisation une souche microbienne unique peut utiliser « un substrat inhabituel » comme seule source nutritif conduit à un comportement métabolique identique à celle de « substrat naturel ». Ce phénomène s'applique à un nombre limité de produits agricoles et conduit à un accroissement de la communauté microbienne qui à son tour conduit à une dégradation accélérée (adaptation = acclimatation) ou une perte de performance agronomique de produit agricole.

La dégradation des pesticides en présence d'une autre source de carbone et d'énergie : Pour la majorité des produits agricoles ce n'est pas possible d'isoler une seule souche capable de les utiliser comme seule source de carbone et d'énergie. Mais la présence d'un second substrat qui est généralement la matière organique des sols servant comme source accessible appelé un co-substrat permet de révéler la capacité de transformer une molécule pesticide, Le phénomène de croissance ici est appelé co-métabolisme

Les raisons de ces défaillances sont multiples : absence/faible activité catalytique des outils enzymatiques, induction enzymatique non coordonnée... etc. Les deux particularités de transformation s'attachés au co-métabolisme sont : une cinétique qui s'apparente au premier ordre et accumulation d'un produit finale.

- **Dégradation par des communautés microbiennes complexes, Dégradation primaire et ultime.**

Alexander (1965) concluait que les études de dégradation conduites avec des cultures mixtes ou communautés microbiennes étaient plus appropriées pour apprécier la biodégradabilité intrinsèque d'une molécule xénobiotiques. Les associations plurispécifiques permettaient les relais métaboliques nécessaires à la dégradation de type collaboratif. Ce point de vue est théorisé par **Bull (1980)** : la diversification des hôtes microbiens= une stabilisation de la fonction (biodégradation). Ces transformations ont été regroupées sous le terme de dégradation primaire s'il s'agit d'une attaque partielle de la molécule, par opposition, quand l'action du consortium microbien permet une minéralisation, le terme dégradation ultime est utilisé.

1-12-2-6- Bases génétiques de la biodégradation des pesticides

Selon (**Bertrand et al., 2011**), Le déterminisme génétique de la capacité de certains microorganismes du sol de dégrader des molécules xénobiotiques résulte de l'étude approfondie du phénomène de dégradation accéléré c'est-à-dire l'accroissement de la taille de la communauté microbienne dégradante ou phénomène d'adaptation, cette observation de terrain est en contradiction avec celle qui concerne l'instabilité du caractère dégradant de souches pures qui perdent leur capacité après culture sur milieu nutritif dépourvu de la molécule xénobiotique. L'une des explications proposées à cette contradiction est : le maintien de l'intégrité du potentiel enzymatique peut être assuré par la présence de substrats naturels représentant des similitudes structurales avec le xénobiotiques.

Il est maintenant établi que beaucoup de gènes cataboliques qui interviennent dans la dégradation des pesticides sont portés par des plasmides conjugatifs, leur dissémination au sein des microorganismes de sol contribue au maintien de la fonction liée aux gènes transférés

La démonstration d'un codage plasmidique des gènes de dégradation des molécules xénobiotiques a été faite à la fin des années70 chez une souche d'*Alcaligenes paradoxus* chez laquelle ont été localisés les gènes codant pour la dégradation du 2,4-D sur le plasmide pJP1 (**Pemberton et Fisher, 1977**).

1-12-2-7- Principaux microorganismes impliqués dans la biodégradation des pesticides

Plusieurs microorganismes dégradant les pesticides sont décrits dans la littérature: les champignons, les algues, les protozoaires et les bactéries.

- **Les champignons**

Les champignons sont souvent responsables de réaction de détoxification (déshalogénéation, hydroxylation.....etc.) associés à des faibles changements de structure moléculaire mais augmentation de solubilité et diminution de l'activité biologique (**Claude et al., 2011**).

Zanardini et al., (2002) et Boschini et al., (2003) ont rapporté des pourcentages de dégradation de l'ordre de 79 et 61% du chloresulfuron et du metsulfuron-méthyle respectivement par le champignon *Aspergillus niger* dans les conditions de laboratoire. Des résultats similaires ont été obtenus dans une étude sur la dégradation du pyrazosulfuron-éthyle connu pour sa haute persistance dans le sol. Cet herbicide peut être dégradé par *A. niger* et *Penicillium chrysogenum* (**Sondhia et al., 2013**).

Des études récentes menées par Yu et al. (2005) ont réussi à isoler et caractériser des souches fongiques qui dégradent le chlorpyrifos en l'utilisant comme seule source de carbone et d'énergie, ils ont également rapporté que ces souches étaient capables de dégrader plus de 80% de cet insecticide.

- **Les bactéries**

Les bactéries sont impliquées dans des transformations intervenant des enzymes plus spécifiques dans des voies plus complexes pouvant dans certains cas d'alimenter le métabolisme et la production de biomasse (**Bertrand et al., 2011**).

En Chine, Xiu et al. (2011) ont abouti à l'isolement et à la caractérisation d'une souche, *Azospirillum brasilense*, capable de dégrader le carbendazime. Ces chercheurs avaient mentionné que ce composant est biodégradable par d'autres bactéries comme : *Ralstonia* sp, *Pseudomonas* sp, et *Bacillus pumilus* NY97-1.

Les bactéries à Gram négatif hétérotrophes, renferme de très nombreuses espèces qui peuvent utiliser une grande variété de composés organiques comme source de carbone et d'énergie, Ce groupe d'une grande importance agronomique comprend les genres fixateurs d'azote : *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Azospirillum*, *Klebsiella* (**Davet, 1996**).

Les bactéries à Gram positif ; notamment associés dans le cadre de consortiums sont capables de dégrader : les organochlorés, les S-triazines, les carbamates, les organophosphates, les organophosphonates, les acétanilides, les sulfoniluréases...etc, les mécanismes moléculaire de processus de transformation des bactéries à Gram positif sont moins connus que celle des bactéries à Gram négatifs (**Bertrand et al., 2011**).

Parmi les bactéries à Gram positif, les actinobactéries (anciennement actinomycètes) jouent un rôle très important dans la biodégradation des matières organiques (**Tsiko, 2007**).

1-12-2-8- Biodégradation des pesticides par les actinobactéries

Les actinobactéries ont un potentiel considérable de biotransformation et de biodégradation des pesticides. Les membres de ce groupe de bactéries peuvent dégrader des pesticides ayant des structures chimiques très différentes, notamment des organochlorés, des s-triazines, des triazinones, des carbamates, des organophosphates, des organophosphonates, des acétanilides et des sulfonilurées.

Le co-métabolisme des pesticides est fréquemment observé dans ce groupe de bactéries, où un nombre limité de ces pesticides peuvent être minéralisés par des isollements uniques, mais des consortiums sont souvent nécessaires pour une dégradation complète (**De Schrijver et De Mot, 1999**).

Une étude réalisée sur la biodégradation de l'insecticide carbofuran par 319 actinobactéries isolées à partir d'un sol salin, révèle que seul sept isolats ont été capables de résister au pesticide, à une concentration de 20µg/ml, et ils ont été identifiés comme : *Streptomyces alanosinicus*, *Streptoverticillium album*, *Nocardia farcinia*, *Streptomyces atratus*, *Nocardia vaccini*, *Nocardia amarae* et *Micromonospora chalcea* (**Jayabarath et al., 2010**).

- *Streptomyces sp*

Les *Streptomyces* jouent un rôle très important dans la biodégradation des composés naturels et aromatiques (**Anurag et al., 2005**), et également des pesticides et des plastiques (**Byungtae et al., 1991; Ei-Shafei et al., 1998**).

Il a été démontré que 17 souches, identifiées comme *Streptomyces sp* ont été capables de dégrader le Diuron (**Castillo et al., 2006**). Une souche appartenant au genre *Streptomyces* est capable de dégrader le lindane (un insecticide organochloré) (**Benimeli et al., 2006**).

Plusieurs souches appartenant à ce genre sont capables de dégrader : le lindane, le DDT, la simazine (Anurag *et al.*, 2005 ; Benimeli *et al.*, 2007).

- *Rhodococcus sp*

Les espèces appartenant au genre *Rhodococcus* se caractérisent par une dégradation versatile due à la présence de larges plasmides linéaires portant des gènes codant pour la dégradation de différents composés (Van der Geize et Dijkhuizen, 2004 ; König *et al.*, 2004).

Certains pesticides persistants comme le thiocarbamate et le s-triazine (De Schrijver et De Mot, 1999), ainsi que le 2-mercaptobenzothiazole peuvent être catabolisés par des actinomycètes appartenant au genre *Rhodococcus* (Haroune *et al.*, 2004).

- *Nocardia sp*

Il a été démontré que le genre *Nocardia* est efficace dans la dégradation de certains pesticides, tel que : l'herbicide Dalapon (Martin *et al.*, 1998) et le fongicide ortiva (Hocinat et Boudemagh, 2015). Aussi, ce genre est efficace dans la dégradation des huiles (Jirasripongpun, 2002), du kérosène (Edelvio *et al.*, 2009) et du caoutchouc (Emo et Roberto, 2003). Il est capable aussi de dégrader certains pesticides, tel que : l'herbicide «dalapon », et l'acide 2,2- dichloropropionique (Martin *et al.*, 1998).

- *Gordona sp*

Les souches du genre *Gordona* possèdent un pouvoir dégradant des composés xénobiotiques et peuvent les utiliser comme seule source de carbone et d'énergie, tel que : le benzène, le toluène, le xylène, le pyrène et le diester de phthalate comme seule source de carbone et d'énergie (Zermane, 2008).

Chapitre 2 : Les actinobactéries

2-1- Introduction

Le mot actinomycète a été dérivé des mots grecs «Aktis» qui veut dire rayon et «mykes» qui veut dire champignon, donc «Champignons à rayons» ou «Champignons rayonnants». (Merizig, 2015), cette dénomination vient du fait que la morphologie de ces microorganismes ressemble fortement à celle des mycètes (Prescott *et al.*, 1997). Ils forment des colonies circulaires constituées d'hyphes (Eunice et Prosser, 1983). Les filaments Irrradient par croissance centrifuge, tout autour du germe qui leur a donné naissance (Gottlieb, 1973; Lechevalier et Lechevalier, 1981; Eunice et prosser, 1983), ainsi Les actinomycètes ont été considérés comme un groupe intermédiaire entre bactérie et champignons, maintenant, ils sont reconnus comme des organismes procaryotes. (Merizig, 2015).

Les actinomycètes ou plus récemment actinobactéries constituent l'ordre des *Atinomycetales*, ce sont des bactéries sous forme de bacilles à Gram positive, aérobies qui forment des filaments ramifiés ou hyphes et de spores asexuées, elles possèdent un coefficient de Chargaff (GC%) élevé compris entre 60-70%, dont la majorité est saprophyte, hétérotrophe et immobile mais certaines sont chimio-autotrophes. (Merizig, 2015; Prescott *et al.*, 2003). La mobilité est limitée aux spores flagellées qui permettent la dispersion dans les habitats aquatiques (Pescott *et al.*, 2003).

Ces microorganismes, morphologiquement, présentent des similitudes à la fois avec les Eubactéries et avec les champignons. Il existe d'ailleurs toute une série de formes de transition entre les formes mycéliennes typiques et les formes unicellulaires présentant une aptitude peu marquée à former un mycélium ramifié (Dommergues et Mangenot, 1970). Toutefois, le diamètre des hyphes, habituellement de 0,5 à 1 μm (Eunice, 1983), est deux à dix fois plus petit que celui des champignons (de 2 à 5 μm) (Gottlieb, 1973).

En plus, Les actinobactéries n'ont pas de membrane nucléaire, elles possèdent des organites flagellaires rassemblant à ceux des bactéries. Elles sont, pour la plupart, sensibles au lysozyme et aux agents antibactériens (Kitouni, 2007). Leur paroi cellulaire ne

renferme ni chitine ni cellulose mais une glycoprotéine contenant de la lysine (formes fermentatives) ou de l'acide diaminopimélique (formes oxydatives), et leur cytologie est celle des bactéries (**Mariat et Sebald, 1990**).

Les actinobactéries ont une importance pratique considérable, ce sont essentiellement des habitants du sol et elles sont très largement distribuées. Elles peuvent dégrader un nombre et une variété énorme de composés organiques et sont extrêmement importantes dans la minéralisation de la matière organique. Les actinomycètes produisent la plupart des antibiotiques naturels utilisés en médecine. Bien que beaucoup d'entre eux soient des microorganismes vivant librement, quelques-uns sont pathogènes chez l'homme, les animaux et certains végétaux (**Pescott et al., 2003**).

2-2- Ecologie

Les actinobactéries sont largement répandues dans le monde (**Theilleux, 1993**). Elles sont adaptées à divers milieux écologiques (**Goodfellow et Williams 1983**).

Ces bactéries peuvent être présentes dans les eaux douces ou salines, dans l'air et surtout dans le sol. (**Loqman, 2009**). De plus, Certains genres ont été isolés à partir des composts, tel que *Thermoactinomyces* (**Lacey, 1997 ; Song et al., 2001**).

Le genre *Streptomyces* est celui qui prédomine généralement dans les sols avec un pourcentage de 80 à 95% du total des actinomycètes (**Lacey, 1973 ; Elwan et al., 1985**). Enghusen (1956) explique l'abondance de ce genre par la résistance à la dessiccation de ses spores qui dure plus de trois ans (**Waksman, 1959**). Les genres *Nocardia* et *Micromonospora* sont aussi fréquents (**Dommergues et Mangenot, 1970**).

2-2-1-Dans les sols

Les actinobactéries sont trouvés dans les sols polaires gelés tout comme dans les sols désertiques chauds et secs, dans les sols hautement contaminés par des métaux lourds et les sols pollués par les hydrocarbures et même dans les grottes naturelles (**Moncheva et al., 2002**). Toutefois, elles sont particulièrement abondantes dans les sols alcalins et les sols riches en matières organiques. (**Loqman, 2009**). Elles sont responsables de l'odeur d'humus caractéristique des sols en produisant des substances spécifiques telles que la géosmine et le 2-méthyl isobornéol (**Zaitlin et al., 2003**).

Le pourcentage des actinobactéries par rapport à la totalité microbienne du sol dépend de plusieurs paramètres (**Messaoudi, 2013**), tels que:

La saison : En hiver, leur pourcentage atteint sa valeur maximale (30 %) puis au printemps, il diminue à 20 % et il chute jusqu'à 13 % en été (**Waksman, 1959**). La profondeur : Le rapport microorganisme totaux /Actinomycètes, d'après Waksman (1967), diminue au fur et à mesure que la profondeur augmente (**Breton et al., 1989**).

2-2-2- Dans les milieux aquatiques

Les actinobactéries disséminées par le vent ou par les apports terrigènes, contaminent les fleuves, les rivières, les lacs, etc. Puis, ils sont entraînés par les eaux courantes et rejetés dans la mer, néanmoins, autant que bactéries à gram positifs, ils sont moins nombreux que les bactéries à gram négatifs dans les milieux aquatiques surtout dans les eaux profondes où la tendance vers l'anaérobiose s'accroît. De plus, les bactéries autochtones dans les eaux se développent plus vite, ainsi prendre une place plus dominante que les actinomycètes. (**Chea, 1975**). Essentiellement, Les actinomycètes des milieux aquatiques peuvent être présents dans les lacs extrêmement alcalins comme les *Micromonospora* (**Lechevalier, 1981 ; waksman, 1959**) et les lacs salés. Par contre il semble qu'ils soient presque absents dans les eaux minières très acides (pH <1) et les sources thermales très chaudes d'origine volcaniques (**Lechevalier, 1981**). Toutefois, on trouve les *Thermoactinomyces* dans les sources hydrothermales où la température est élevée (**Waksman, 1959**).

On les trouve à la surface et dans les sédiments, le genre *Micromonospora* apparaît comme un genre bien adapté au milieu aquatique (**Waksman, 1959**). Dans les eaux des fleuves qui ont reçu des apports terrigènes, on trouve plus de *Streptomyces* que de *Micromonospora* comme dans le cas du sol (**Chea, 1975**). Dans les rivières au voisinage des fermes, il se trouve une autre famille : Les Actinoplanaceae qui sont en abondance sur les débris végétaux en décomposition (**Willoughby, 1969**). D'après ce même auteur, les espèces de *Nocardia* sont bien adaptées à la vie aquatique (**Chea, 1975**).

Dans les réservoirs d'eau, le nombre d'actinomycètes diminue par rapport à celui des rivières et des cours d'eau. Mais, ils sont présents en quantité considérable dans les dépôts au fond du réservoir.

Dans certaines stations, on préconise l'utilisation de système de filtration lente sur le lit de sable. Ce qui réduit le nombre d'actinomycètes. Cette réduction reste faible par rapport à celle observée chez les *E.coli*, Le faible coefficient d'élimination est probablement dû au fait qu'une large proportion de ces microorganismes fait partie de la microflore du lit. Après la filtration, l'eau est soumise ensuite à la stérilisation. BAYS et ses Collaborateurs en 1970, ont remarqué que les souches d'actinomycètes sont plus résistantes à la chloration classique que

les bactéries non sporulées trouvées dans l'eau. Elles peuvent survivre en nombre appréciable. **(Chea, 1975)**

Les supports d'actinomycètes existant dans la nature (sol, eau, aliments, etc.) peuvent être entraînés, par différents facteurs, dans les eaux d'égouts. Ces derniers subissent un traitement au cours duquel sont obtenues les boues activées. L'aération artificielle provoquée lors de l'épuration crée des conditions favorables pour la croissance des actinomycètes. **(Chea, 1975).**

Les actinomycètes peuvent proliférer dans des milieux à forte teneur en sels. On les trouve principalement dans des zones littorales, zones peu profondes, ou dans les sédiments côtiers. Ils se trouvent en surface, à l'état isolé, ou attachés à des particules solides en suspension dans l'eau. Ils appartiennent surtout aux genres *Nocardia*, *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Actinomyces* et *Mycobacterium* **(Chea, 1975).**

Selon certains scientifiques, la colonisation normale du milieu marin par les actinomycètes est liée à l'existence d'une flore spécifique aux sédiments marins caractérisée par sa balotolérance, son halophilie et une température optimale faible, selon d'autres chercheurs, les actinomycètes isolés de ces milieux correspondraient à des souches terricoles adaptées à la salinité marine **(Larpen et Sanglier, 1989).**

2-2-3- Dans la flore, la faune et l'Homme

Certains actinomycètes prolifèrent chez les êtres vivants mais, contrairement aux bactéries et aux champignons, seules quelques espèces sont pathogènes **(Badji, 2006).**

On trouve également, comme exemples d'espèces endophytiques et phytopathogènes : *Streptomyces scabies*, *Streptomyces acidiscabies* et *Streptomyces turgiscabies*, responsables de la gale de la pomme de terre **(Coombs et Franco, 2003).**

Certains actinomycètes, notamment les *Actinomyces* et les *Nocardia* préfèrent la prolifération dans les cavités des hommes et des animaux **(Waksman, 1959).**

En plus, certaines espèces du genre actinomycètes ont un rôle dans le développement des caries dentaires **(Sarkonen et al., 2000)** et plusieurs espèces de genre *Nocardia* sont pathogènes chez les animaux et chez l'Homme, par exemples : *Nocardia asteroides*, responsable de la nocardiose humaine **(Zhang et al., 2003).** De même, plusieurs genres d'actinomycètes sont responsables d'infections, principalement les espèces du genre *Actinomyces*. L'actinomycose affecte différents organes (yeux, bouches, oesophage, système

nerveux..), toutefois, L'actinomycose cervico-faciale est la plus connue. Deux espèces en sont responsables : *Actinomyces israeli*, parasite de l'homme, et *Actinomyces bovis*, parasite des animaux (**Bowden et Hardie, 1973**).

2-2-4- Rôle dans la nature

Les actinomycètes ont un rôle dominant au sein des écosystèmes, Leur fonction écologique principale est la décomposition des substances organiques (**Prescott et al., 2010**). Ils ont une capacité importante à produire une large gamme d'enzyme hydrolytique, comme les protéases, les nucléases, les lipases...etc (**Prakash et al., 2012**). D'autres enzymes sont également produites par ces microorganismes il s'agit principalement des enzymes pour l'hydrolyse des sucres complexes ou même la dégradation de la carapace chitineuse des cadavres d'insectes (**Maier & al, 2009**).

Les actinomycètes font partie des relations symbiotiques au niveau de la rhizosphère, notamment avec les racines des plantes, en contribuant à la croissance de ces derniers par des effets directs et indirects (**Barreto et al., 2008**). Les effets directs se résument dans la solubilisation du phosphate, la fixation d'azote et la production de phytohormones, (**El-Mehalawy & al, 2004**). Par ailleurs, les effets indirects peuvent être liés à la production des métabolites secondaires au bénéfice des plantes, comme les antibiotiques qui contribuent à la lutte contre les agents pathogènes (**Barreto et al., 2008**). Ils peuvent limiter la prolifération de ces derniers par la compétition nutritionnelle (**Getha et al., 2005**).

2-3- Physiologie

2-3-1- Température

En général, Les actinomycètes sont mésophiles, mais d'autres sont thermophiles qui tolèrent des températures allant de 50°C jusqu'à 60°C ou plus (**Omura, 1992**).

2-3-2- pH

La plupart des actinomycètes sont considérés comme des bactéries neutrophiles, étant donné que leur croissance optimale peut avoir lieu dans un intervalle de pH allant de 7 à 8. Toutefois, on peut observer une croissance à des valeurs de pH inférieures à 4, c'est le cas des souches acidophile tel que : *Streptacidiphilus jiangxiensis* et *Streptacidiphilus oryzae* (**Merizig, 2015**).

2-3-3- Taux d'humidité

Chez la pluparts des actinomycètes, la germination des spores nécessite des valeurs d'activité d'eaux supérieures ou égales à 0.67. Par ailleurs, l'activité d'eau optimale pour la

croissance et le développement de ces microorganismes est égale à 0,98. Néanmoins ils ne sont pas beaucoup influencés par les conditions semi-arides, en effet la plupart des actinomycètes ont été isolés dans des sols contenant des taux faible jusqu'à modérés d'humidité.

2-3-4- Rapport avec l'oxygène (Type respiratoire)

On distingue deux groupes d'actinomycètes vis-à-vis l'utilisation de l'oxygène. Les formes fermentatives, anaérobies strictes ou facultatives qui sont des saprophytes obligés des cavités naturelles de l'homme et des animaux supérieurs et ils ne sont jamais retrouvés dans le sol, comme le genre *Actinomyces* (Mariat et Sebald, 1990).

Les formes oxydatives, aérobies : leur réservoir principal est le sol et à partir duquel elles sont disséminées, en particulier dans l'air comme les *Streptomyces* (Reponen *et al.*, 1998).

2-3-5 Rapport avec la matière organique (Type trophique)

Principalement, les actinomycètes sont considérés comme des chimo-organotrophes (hétérotrophes) utilisant une grande variété de sources d'énergie notamment les polymères complexes. Mais plusieurs espèces peuvent être chimio-autotrophes utilisant l'oxydation de l'hydrogène comme source d'énergie et le gaz carbonique comme source de carbone (Mariat et Sebald, 1990). Leur croissance est plus lente (7 à 28 jours) que celle des autres bactéries (24 heures) (Kitouni, 2007), avec un temps de génération de 2 à 3 heures (Boudemagh, 2007).

2-4- Morphologie

Chez les actinomycètes, on peut rencontrer en plus des filaments ramifiés, des bacilles et aussi des coccobacilles comme *Rhodococcus et Mycobacterium* (Avril *et al.*, 1992). La plus part des genres sont des bâtonnets, non sporulant, de forme irrégulière, Ces bâtonnets peuvent être droits ou légèrement incurvés (Prescott, 2003). Le mycélium des actinomycètes est varié morphologiquement, On rencontre le mycélium rudimentaire au point d'être inexistant (la plupart des *Mycobacterium*), le mycélium fugace, qui se fragmente (certaines *Nocardia*), et enfin le mycélium développé et persistant comme dans le genre *Streptomyces*. (Djaballah, 2010) Les mycéliums fragmentaire et permanent sont illustrés sur la figure 4.

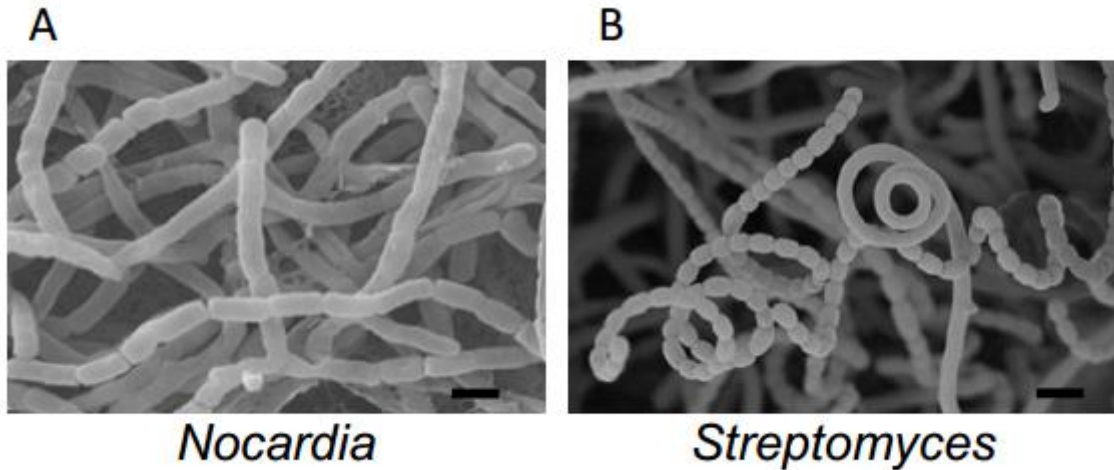


Figure 4 : Clichés de microscopie électronique à balayage illustrant les types fragmentaire et permanent du mycélium des actinomycètes. (A) Bactéries du genre *Nocardia* qui se fragmentent, (B) Bactéries du genre *Streptomyces* en sporulation. Barre d'échelle : 1 µm (Belyagoubi, 2014)

Le mycélium permanent peut être organisé en mycélium végétatif et/ou en mycélium aérien (Djaballah , 2010).

2-4-1- Mycélium végétatif

Le mycélium végétatif est appelé aussi mycélium primaire, mycélium de substrat ou mycélium intra-matriciel, c'est un ensemble de filaments multi-nucléaires formés à partir du tube germinal (hyphe) issue d'une spore. Cette hyphe s'allonge par croissance apicale et se ramifie à maintes reprises. Son développement, sur la surface et à l'intérieur du milieu solide, donne naissance à des jeunes colonies, formées par des filaments attachés en matrice complexe (Mighélez *et al.*, 2000).

2-4-2- Mycélium aérien

Le mycélium aérien est appelé aussi mycélium secondaire, il se forme lorsque la colonie sera plus âgée. Les hyphes primaires donnent des branches spécialisées qui se développent loin de la surface de la colonie en donnant un mycélium reproductif dans l'air. Contrairement à celui du substrat, le mycélium aérien est plus épais et peu ramifié, il est protégé par sa paroi hydrophobe et peut se développer sur milieu pauvre en sources nutritionnelles, dans la plupart des cas, par la dégradation du mycélium de substrat dont les produits assurent un apport de nutriments pour sa croissance loin de la colonie (Miguélez *et al.*, 2000).

2-4-3- Les Spores

Les hyphes aériens des actinomycètes subissent une série de changements développementaux qui donneront naissance aux spores (**Wildermuth et Hopwood, 1970; Williams et al., 1972; Miguélez et al., 2000**). Elles se développent par septation des extrémités du filament, habituellement en réponse à une privation en éléments nutritifs. La plupart ne sont pas particulièrement résistantes à la chaleur, mais supportent bien la dessiccation et ont, de ce fait, une importante valeur adaptative (**Prescott et al, 2003**).

Les conidies (ou spores asexuées, qui sont des chlamidiospores ou des sporangiospores non intercalaires) d'actinomycètes présentent une grande variété d'arrangements. Les spores peuvent être produites isolément (*Micromonospora*), deux à deux longitudinalement (*Microbispora*), en courtes chaînettes (*Actinomadura*), ou en longues chaînettes (*Streptomyces*) (Figure 5). Ils peuvent être rassemblés dans des synnemata (spores mobiles et qui peuvent être libérées). Les chaînettes de spores peuvent être ramifiées ou non, droites, flexibles ou en spirales. Elles peuvent être rayonnantes autour d'hyphes sporophores. On rencontre également une importante diversité au niveau de la surface des spores : lisse, ridée, avec piquants ou d'aspect velu (Figure 6).

Chez certains genres, les spores sont contenues dans un sporange (**Belyagoubi,2014**)

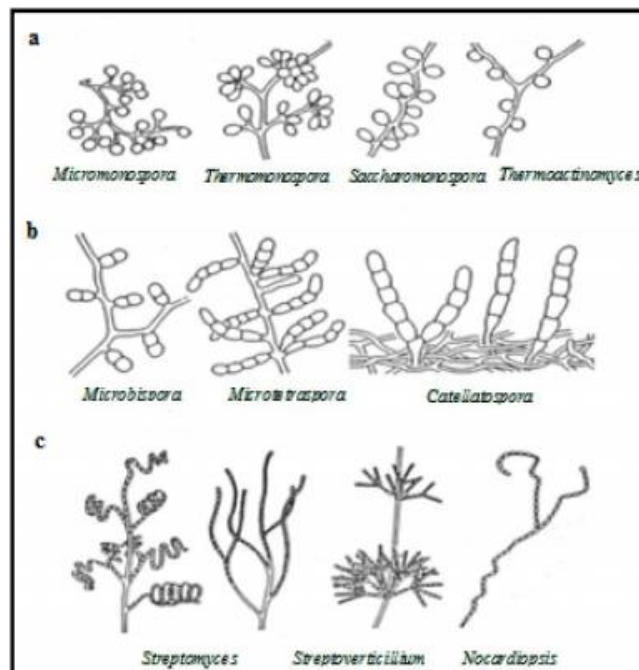


Figure 5 : Organisation des conidies chez quelques genres d'actinomycètes (**Larpent et Sanglier, 1989**) a: une seule, b: paires ou chaînes courtes, c: longues chaînes

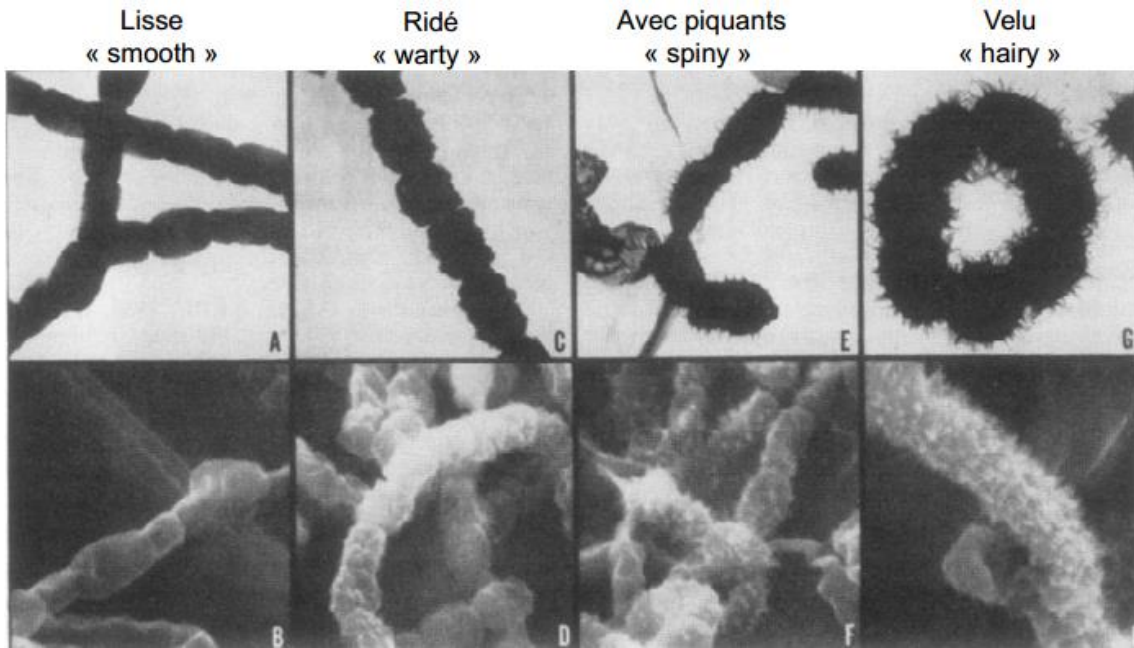


Figure 6: Clichés de microscopie électronique illustrant la diversité des types de surface de spores chez le genre *Streptomyces* (Lyons et Pridham, 1971; Dietz et Mathews, 1971).

Des exospores naissent de la formation de parois transversales à partir des hyphes existantes. Une subdivision supplémentaire est également réalisée selon la présence ou l'absence d'une enveloppe qui recouvre la paroi de l'hyphe sporogène (Kitouni, 2007).

Les endospores naissent d'une réorganisation du cytoplasme avec formation d'une nouvelle paroi dans l'hyphe. Les endospores sont produites par des actinomycètes thermophiles et sont semblables, morphologiquement et chimiquement, à celles des *Bacillaceae*. Elles sont caractéristiques du genre *Thermoactinomyces*. La germination des spores est une séquence de changements morphologiques de la spore en structure végétative. Trois événements distincts sont décrits : L'activation, L'initiation, L'émergence du tube germinal et en fin la croissance (Djaballah, 2010).

Un sporange est un compartiment qui se développe à l'extrémité d'un hyphe spécial appelé sporangiophore (Belyagoubi, 2014). Il peut être rencontré sur le mycélium aérien ou à l'intérieur du milieu solide (Holt *et al.*, 1994).

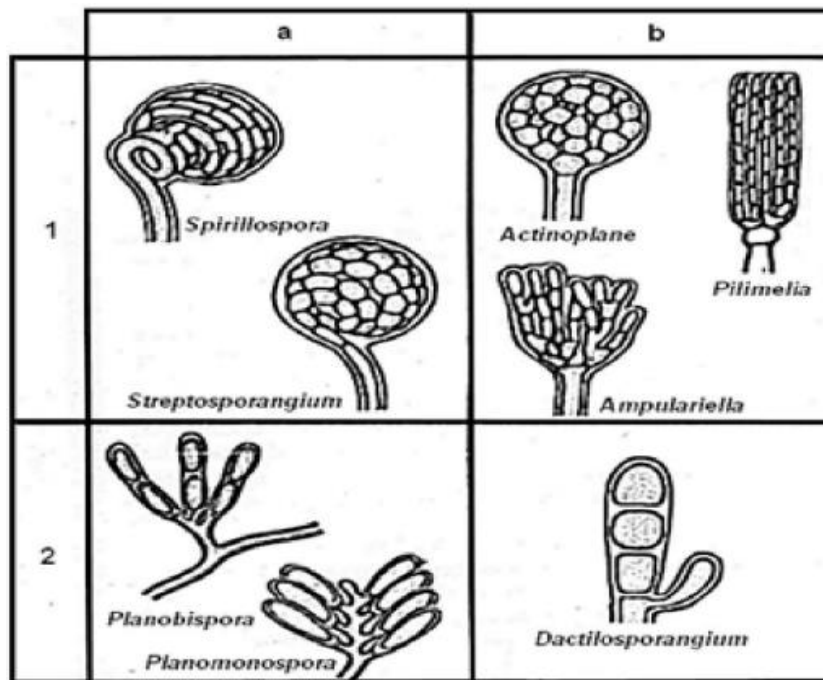


Figure 7 : Formes et disposition de sporanges chez quelques genres d'actinomycètes (Larpent et Sanglier, 1989)a: sur le mycélium secondaire, b: sur le mycélium primaire, 1: spores nombreuses, 2: spores en nombres limités

2-4-4 Cycle biologique et reproduction

La variabilité morphologique des actinomycètes s'accompagne souvent d'une différenciation importante avec un cycle biologique comparable à celui de certains Eucaryotes (Kitouni, 2007). Ce cycle commence par la germination des spores qui nécessite la présence des ions de calcium et qui donne naissance à un mycélium primaire ramifié (O'Gara *et al.*, 2008). Ensuite un mycélium aérien s'installe au-dessus du mycélium de substrat qui à son tour s'autolyse et les produits de la lyse sont utilisés par le mycélium aérien, à ce moment-là les composés dit métabolites secondaires sont synthétisés (Smaoui, 2010). A l'extrémité du mycélium aérien se forment des spores asexuées par séptation du mycélium primaire habituellement en réponse à un stress environnemental (Prescott *et al.*, 2010).

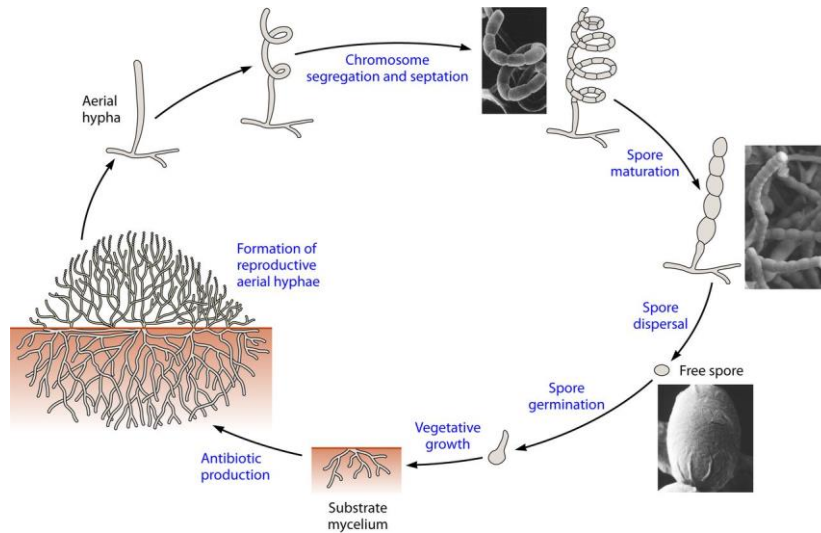


Figure 8 : Représentation schématique du cycle de vie des actinomycètes sporulants (Barka *et al.*, 2016).

Les actinomycètes possèdent trois principaux modes de reproduction, soit par :

-Formation de nombreuses cloisons transversales à travers le mycélium qui se fragmente en courts éléments en forme de bâtonnets, chacun capable de donner naissance à un nouveau mycélium.

-Formation des cellules reproductrices ovales ou sphériques (les conidies) isolément ou par scission des extrémités de certains hyphes du mycélium.

-Formation des sporanges à l'extrémité des hyphes, à l'intérieur de ces petites structures en forme de sac, existent un grand nombre de cellules qui seront éventuellement libérées par la rupture de la paroi du sporange (Stanier *et al.*, 1966).

Le mycélium primaire de certaines espèces se décompose généralement en petits fragments appelés arthrospores, qui ressemblent souvent à des cellules bactériennes et qui pourraient facilement être confondus avec ces dernières.

2-4-5- Culture

Sur milieu solide les colonies sont très particulières. Elles résultent de l'accumulation des hyphes ramifiés et non pas de cellules comme c'est le cas chez les bactéries non filamenteuses (Perry *et al.*, 2004). Ces hyphes ramifiés se développent à la fois à la surface du substrat et à l'intérieur de ce dernier pour former un mycélium végétatif (Prescott *et al.*, 2003), (Figure 9). Le mycélium du substrat est aérobic facultatif tandis que le mycélium aérien est aérobic strict (Silvey et Raoch, 1975). En plus Les hyphes aériens sont plus épais et beaucoup moins ramifiés que les hyphes du substrat (Prescott *et al.*, 2003). Parfois il se

forme une masse semblant à un tissu qui porte le nom thalle. Les colonies formées par les actinomycètes sur des milieux solides présentent différents aspects macroscopiques qui peuvent être regroupés en trois types :

- Des colonies poudreuses habituellement couvertes d'hyphes aériens fermement attachés au milieu.
- Des colonies pâteuses rugueuses ou lisses, rarement couvertes de mycélium aérien, et qui peuvent être facilement détachées des milieux solides.
- Des colonies exemptes de mycélium de substrat et se composent d'hyphes aériens attachés au milieu par des crampons (**Kalakoutskii et Agre, 1976**).

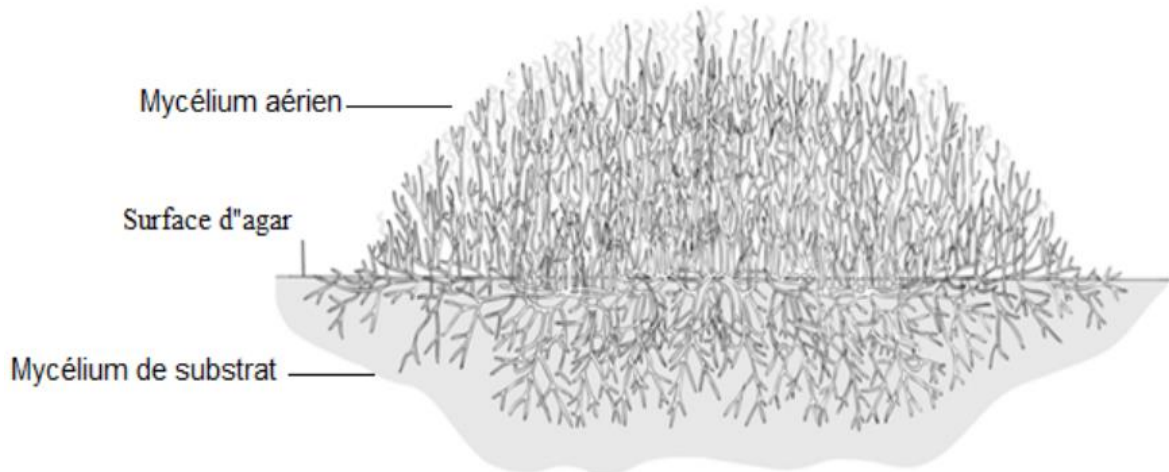


Figure 9: La croissance d'une colonie d'actinomycète sur milieu solide

La croissance en milieu liquide nécessite une aération du milieu par agitation et/ou par injection d'air ou oxygène (**Saffroy, 2006**). En culture liquide sans agitation, les hyphes formés après la germination des spores montent en surface pour croître en contact de l'air (**Keulen et al., 2003**). cependant, en milieu liquide avec agitation, il n'y a pas de formation du mycélium aérien ni de spores. (**Reichl et al., 1992; Tamura et al., 1997**). Les Streptomycetes peuvent croître par élongation des filaments et présenter par la suite trois types de morphologies soit : sous forme mycélium libre ou bien par enchevêtrement du mycélium ou encore sous forme de pelotes (**Amanullah et al., 2000**), (figure 10), ces pelotes peuvent donner lieu à des limitations de transfert d'oxygène et/ou des nutriments du milieu de culture vers les bactéries se trouvant à l'intérieur de la pelote (**Papagianni, 2004**).

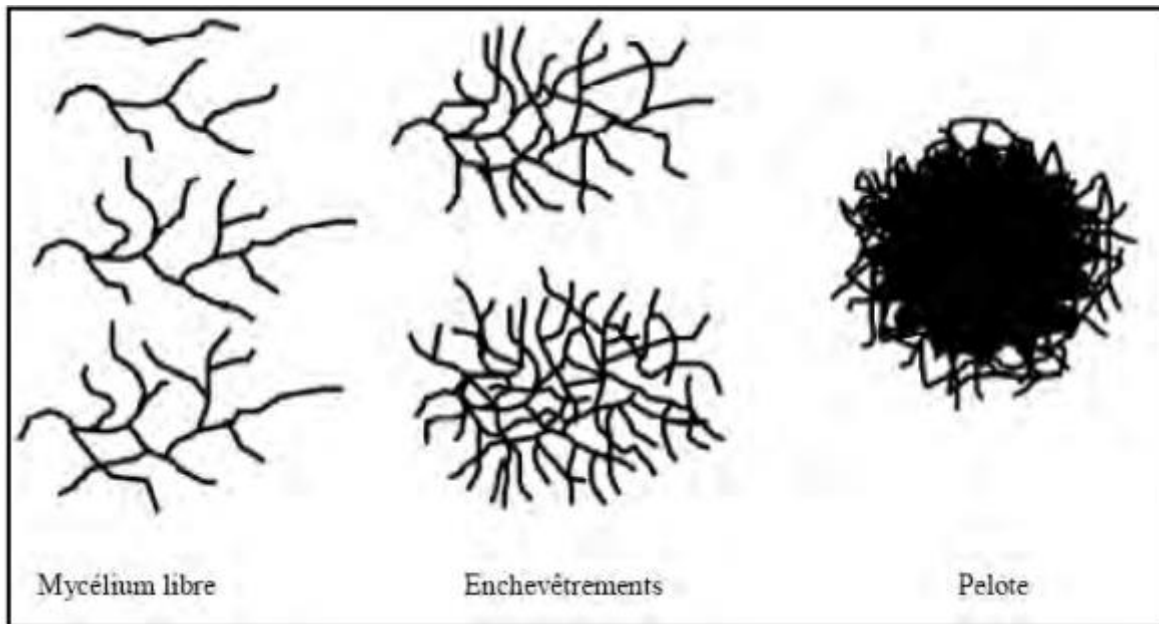


Figure 10: Les classes morphologiques de *Streptomyces* cultivé en milieu liquide (Amanullah *et al.*, 2000).

2-4-6- Les caractères culturaux

La croissance des colonies des actinomycètes est variable en fonction de la composition des milieux de culture. La forme, la taille et la texture de la colonie sont des critères qui aident à différencier les genres. (Shirling et Gottlieb, 1966). Leur diamètre est variable de 1 à 10 mm et leur aspect peut être : compact, sec, lisse, rugueux à contours lisse ou échancrés (Perry *et al.*, 2004). Les mycéliums, végétatif et aérien, peuvent avoir des pigments intracellulaires différents qui peuvent être observés sur le dos de la colonie (mycélium végétatif) et à la surface de la colonie (mycélium aérien). Ces germes peuvent aussi diffuser des pigments dans le milieu de culture. La couleur des pigments varie selon les espèces (Shirling et Gottlieb, 1966), elle est souvent : blanc, crème, jaune, violet, rose, gris, etc... (Perry *et al.*, 2004).

2-5- Le métabolisme

La différenciation morphologique s'accompagne d'une différenciation métabolique (Choulet, 2006), le métabolisme des actinomycètes peut être divisé en deux parties : le métabolisme primaire et le métabolisme secondaire, les bactéries filamenteuses sont riches de ce dernier (STRUB, 2008).

2-5-1- Métabolisme primaire

Le métabolisme primaire des actinomycètes est semblable à celui des autres organismes. (Theilleux, 1993). Il regroupe les réactions cataboliques et anaboliques qui permettent la formation de biomasse. Le pouvoir réducteur et l'énergie produits par ces réactions sont utilisés pour former et assembler les monomères (ex : acides aminés) en macromolécules (ex : protéine) (Strub, 2008).

2-5-2- Métabolisme secondaire

Le métabolisme secondaire se différencie du métabolisme primaire par le fait qu'il concerne des métabolites non directement impliqués dans la croissance et la vie de l'organisme (Theilleux, 1993). Il se met en place donnant lieu à la biosynthèse de composés d'une extraordinaire diversité de structures et d'activités biologiques (Choulet, 2006).

2-5-3- Diversité métabolique

Les actinomycètes représentent le groupe de microorganismes le plus important dans la production de métabolites bioactifs, ils produisent plus de 45 % de composés bioactifs connus, 34 % sont à l'origine du genre *Streptomyces* et 11 % des genres d'actinomycètes rares (Berdy, 2005).

Entre autres, *Streptomyces flavogriseus* produit des ligninases et des cellulases capables de bio-convertir les ligniloses des graminées et du bois. Plusieurs actinomycètes sécrètent des xylanases, des amylases, des protéases et des chitinases impliquées dans la biodégradation de la biomasse (Ball *et al.*, 1989 ; Pasti *et al.*, 1990 ; Mason *et al.*, 2001) C'est grâce à cette diversité métabolique, que les actinomycètes peuvent vivre dans des habitats très différents et qu'ils jouent un rôle extrêmement important dans la minéralisation de la matière organique par production d'enzymes extracellulaires (Djaballah, 2010).

2-6- Taxonomie

La taxonomie des actinomycètes est tout comme la taxonomie des autres organismes vivants, elle comprend : la classification, l'identification, l'analyse phylogénétique et la nomenclature en se basant sur « *International code of nomenclature of Bacteria* » (Sneath, 1992).

2-6-1- Classification des actinobactéries

Les actinomycètes ou actinobactéries appartiennent au règne des Procaryotes, à la division des Firmicutes (LARPENT, 2000). Selon la classification présentée dans le *Bergey's*

Manual of Systematic Bacteriology, ils sont rattachés au phylum des *Actinobacteria*, à la classe des *Actinobacteria*, à la sous classe des *Actinobacteridae*, et l'ordre des *Actinomycetales* crée par Buchanan en 1917.

Le phylum « *Actinobacteria* » représente l'une des plus larges unités taxonomiques parmi les 18 lignes majeurs connues actuellement dans le domaine des bactéries (**Barka et al., 2016**).

Le phylum *Actinobacteria* (bactéries à Gram positif et G+C % élevé) est constitué d'une seule classe dénommée également « *Actinobacteria* ».

En 1997, Stackebrandt *et al* ont collecté toutes les séquences de l'ADN/ARNr 16S disponibles pour les membres d'Actinomycètes et en se basant sur l'analyse phylogénétique, ils ont proposé d'établir la classe « *Actinobacteria* » qui se définit comme un ensemble de souches présentant plus de 80 % de similitude dans la séquence des ARNr 16S ou de l'ADNr 16S. Cette proposition ne change pas les descriptions courantes des espèces et des genres. En effet, leur classification est basée sur des caractéristiques morphologiques, chimiotaxonomiques ou physiologiques, a été vérifiée pendant ces 20 dernières années. Elle est en accord avec le regroupement phylogénétique basé sur l'ADNr/ ARNr 16S (**Kiel, 2009; Aouar, 2006**). Cette classe est divisée en 5 sous-classes (Tableau 6) : *Acidimicrobidae*, *Rubrobacteridae*, *Coriobacteridae*, *Sphaerobacteridae*, *Actinobacteridae*.

Chacune de ces sous classes est constituée d'un ou de plusieurs ordres eux-mêmes constitués d'une ou de plusieurs familles. Dans la sous-classe des *Actinobacteridae*, l'ordre des *Actinomycetales* est subdivisé en 10 sous-ordres : *Actinomycineae*, *Micrococcineae*, *Corynebacterineae*, *Micromonosporineae*, *Propionibacterineae*, *Pseudonocardineae*, *Streptomycineae*, *Streptosporangineae*, *Frankineae* et *Glycomycineae* (**Stackebrandt et al., 1997; Labeda et Kroppenstedt, 2000 ; Stackebrandt et Schumann, 2000**).

Les actinomycètes constituent un groupe bactérien très varié dont l'appartenance ou non à un genre donné est très délicate à établir, Pour séparer ces microorganismes avec une grande précision en groupes et genres différents et pour les identifier jusqu'au niveau de l'espèce ou de la souche, un ensemble de données phénotypiques et génotypiques doivent être rassemblées, en reposant sur les techniques classiques qui sont l'étude de la culture, de la morphologie, de la physiologie, de la chimiotaxonomie et les méthodes génotypiques (**Silini, 2012 ; Zerizer, 2014**).

Tableau 6 : La classification hiérarchique de la classe Actinobacteria basée sur l'analyse phylogénétique de l'ADNr / ARNr 16S (GARRITY *et al.*, 2004)

Classe : Actinobacteria

S/C	<i>Acidimicrobidae</i>	<i>Rubrobacteridae</i>	<i>Coriobacteridae</i>	<i>Sphaerobacteridae</i>	<i>Actinobacteridae</i>
-----	------------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------

S/C	<i>Actinobacteridae</i>				
Ordres	<i>Bifidobacteriales</i>			<i>Actinomycetales</i>	

Ordre : Actinomycetales

S/O <i>Actinomycineae</i>	S/O <i>Micrococcineae</i>	S/O <i>Corynebacterineae</i>	S/O <i>Micromonosporineae</i>	S/O <i>Propionibacterineae</i>
Famille <i>Actinomycetaceae</i>	Familles <i>Micrococcaceae</i> <i>Bogoriellaceae</i> <i>Rarobacteraceae</i> <i>Sanguibacteraceae</i> <i>Brevibacteriaceae</i> <i>Cellulomonadaceae</i> <i>Dermabacteraceae</i> <i>Dermatophilaceae</i> <i>Dermacoccaceae</i> <i>Intrasporangiaceae</i> <i>Jonesiaceae</i> <i>Microbacteriaceae</i> <i>Beutenbergiaceae</i> <i>Promicromonosporaceae</i>	Familles <i>Corynebacteriaceae</i> <i>Dietziaceae</i> <i>Gordoniaceae</i> <i>Mycobacteriaceae</i> <i>Nocardiaceae</i> <i>Tsakamurellaceae</i> <i>Williamsiaceae</i>	Famille <i>Micromonosporineae</i>	Familles <i>Propionionibacteriaceae</i> <i>Nocardiodaceae</i>
S/O <i>Pseudonocardineae</i>	S/O <i>Streptomycineae</i>	S/O <i>Streptosporangineae</i>	S/O <i>Frankineae</i>	S/O <i>Glicomycineae</i>
Familles <i>Pseudonocardiaceae</i> <i>Actinozynnemataceae</i>	Famille <i>Streptomycetaceae</i>	Familles <i>Streptosporangiaceae</i>	Familles <i>Frankiaceae</i> <i>Geodermatophilaceae</i> <i>Microsphaeraceae</i> <i>Sporichthyaceae</i> <i>Acidothermaceae</i> <i>Kineosoriaceae</i>	Famille <i>Glycomycetaceae</i>

S/C : sous-classe, S/O : sous-ordre.

2-6-2- Les clés d'identification des genres et des espèces de l'ordre Actinomycetales

A partir de l'année 1943, l'isolement de Streptomycine et la création du genre *Streptomyces* étaient à l'origine de l'évolution de la taxonomie des actinomycètes, au début,

la classification et la description des actinomycètes étaient basées sur les caractères morphologiques, culturales, physiologiques et biochimiques, ainsi elle s'est concentrée seulement sur les genres : *Streptomyces*, *Nocardia*, *Actinomyces*, *Micromonospora*, *Actinoplanes* et *Thermoactinomyces*.

Depuis 1964, Lechevaliers et Lechevalier établissent les critères chimiotauxonomiques, tenant en compte l'analyse des constituants cellulaires (acides aminées, sucres et lipides.) (Kiel, 2009).

- **Caractères macroscopiques et microscopiques**

Les caractères morphologiques contribuent parfois à différencier les genres principalement des actinomycètes il est question de tester la production ou non d'un mycélium aérien (MA), la présence et le type du mycélium de substrat (MS), la détermination de la couleur du MA et du MS ainsi que des pigments diffusibles dans le milieu (Abbas, 2006). Les caractères micro-morphologiques concernent la fragmentation ou non du MS, La formation de spores exogènes sur le MA et /ou sur le MS, leur forme, leur taille et leur agencement (isolées, en chaîne), la présence ou non de sporophores, la surface des spores (Lisse, épineuse, ou chevelue), la présence ou non de sporanges sur le MA ou sur le MS, la forme et la taille des sporanges, le nombre de spores par sporanges ainsi que la longueur des sporangiophores, la présence de spores mobiles (ex : *Planomospora*, *Planobispora*, *Spirillospora*, *Actinoplanes*) ou non mobiles (ex : *Streptomyces*, *Streptosporangium*, *Micromonospora*, ainsi que de nombreux autres genres...) et la formation d'endospores (*Thermoactinomyces*) ou de structures spéciales telles que les synnemata (*Actinosynnema*), les sclérotés, etc. Lamari, (2006) et Boudjella, (2007).

- **Les caractères chimiotauxonomiques**

La composition de la paroi des actinomycètes varie fortement d'un groupe à l'autre, on lui attribue une importance taxonomique considérable, on peut distinguer 4 types principaux de paroi sur la base de 3 caractéristiques de la composition et de la structure du peptidoglycane (tableau 7) :

- l'acide aminé en position 3 du térapeptide (l'acide 2,6- diaminopimélique) (Figure11)
- la présence de glycine dans les ponts interpeptidiques
- le contenu en sucre du peptidoglycane (Prescott *et al.*, 2003)

Tableau 7 : Types de paroi chez les actinomycètes (Prescott, 2003)

Type de paroi	Isomère de l'acide diaminopimélique	Glycine dans le pont interpeptidique	Sucres caractéristiques ^a	Genres représentatifs
I	L, L	+	NA	Nocardioïdes,
II	Méso	+	NA	Streptomyces,
III	Méso	-	NA	Micromonospora,
IV	Méso	-	Arabinose, galactose	Pilimelia, Frankia Saccharomonospora, Nocardia

*NA : non applicable ou non déterminé.

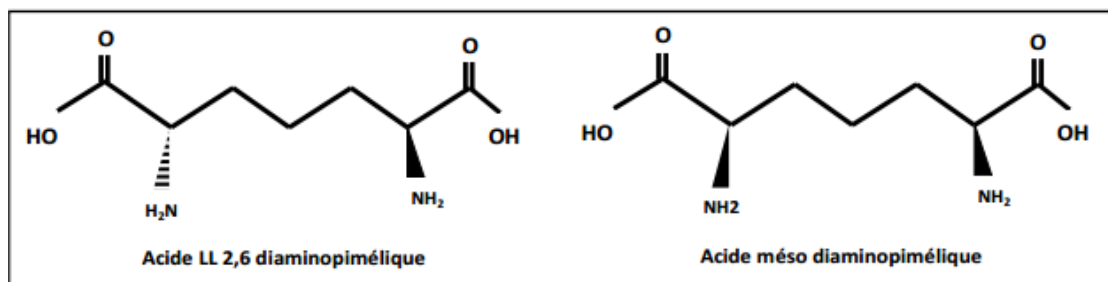


Figure 11: Structure des isomères de l'acide diaminopimélique (Becker *et al.* 1964 ; Lechevalier, 1970)

-Les glucides de paroi (tableau 8): permettent une séparation en quatre groupes majeurs (Aouar, 2006).

Tableau 8: les quatre Spectres des sucres caractéristiques des actinomycètes (Kiel, 2007)

Spectre de sucre	Arabinose	Galactose	Xylose	Madurose
A	+	+	-	-
B	-	-	-	+
C	-	-	-	-
D	+	-	+	-

Les lipides sont taxonomiquement importants ils peuvent être représentés par trois groupes (Tableau 9) : les lipides polaires, les ménaquinones et les acides gras. (Kitouni, 2007). Les lipides polaires les plus connus chez les actinomycètes sont Les phospholipides (Kitouni, 2007), ces derniers autant que composants de la membrane cellulaire sont considérés comme des révélant dans la classification, les Lechevaliers considèrent cinq différents types de composition de phospholipides (Kiel, 2009).

Tableau 9 : Types de phospholipides des Actinomycetes (Kiel 2007)

Type de phospholipides	Phospholipides de diagnostique
I	aucun
II	Phosphatidyl ethanolamine (PE)
III	Phosphatidyl choline (PC)
IV	Glucosamine inconnu-contenant phospholipides (GluNU)
V	Glucosamine inconnu-contenant phospholipides et phosphatidyl glycerol (PG)

- **Génétique et structure de l'ADN**

A partir de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, les outils moléculaires de la taxonomie ont été mis en place. Ils portent sur le pourcentage de guanine et cytosine (tableau 9), sur le spectre obtenu par électrophorèse des fragments de l'ADN (obtenus par la digestion par les enzymes de restriction), sur le taux d'hybridation ADN - ADN ou ADN-ARN et sur la séquence de l'ARNr 16S. Une différence de plus de 10 % indique que deux souches sont sans relation. Au-delà de 70 % de similitude (l'hybridation ADN-ADN), deux souches sont considérées comme appartenant à la même espèce.

Le séquençage de l'ARNr 16S, constitue un outil précieux pour déterminer le degré de relation entre souches, espèces et genres (Larpen et Larpen-Gourgaud, 1985).

Tableau 9 : Différentes valeurs de GC% rencontrée dans le groupe des actinomycètes (d'après Williams *et al.* 1989)

Genre	G + C % (Moles)
<i>Actinomadura</i>	64 à 69
<i>Nocardia</i>	64 à 72
<i>Streptomyces</i>	69 à 78
<i>Micromonospora</i>	71 à 73
<i>Actinoplanes</i>	72 à 73
<i>Actinopolyspora</i>	64
<i>Agromyces</i>	71 à 77
<i>Frankia</i>	66 à 71
<i>Glycomyces</i>	71 à 73
<i>Nocardiopsis</i>	64 à 69
<i>Rhodococcus</i>	63 à 72
<i>Streptosporangium</i>	69 à 71
<i>Streptoverticillium</i>	69 à 73
<i>Thermoactinomyces</i>	53 à 55

Matériel et méthodes

1- Origine des isolats d'actinomycètes utilisés

La collection d'actinomycètes choisie comprend 30 isolats de différentes sources : des eaux usées; des eaux thermales et du sol saharien, ces isolats sont fournies par le professeur Boudemagh et les deux doctorantes Lefeida et Boufercha.

2- Repiquage et entretien des isolats

Les isolats choisies sont ensemencées sur le milieu sélectif ISP2 (Annexe 2) par la méthode des stries puis incubées à 28 ± 2 °C pendant 15 jours. Des observations journalières dès la fin de la première semaine sont effectuées afin de suivre la croissance des colonies et d'éviter les contaminations.

Les colonies d'actinomycètes obtenues subissent une purification en se basant sur l'aspect macroscopique , en réalisant des repiquages successifs nécessaires sur le même milieu.

3- Milieux de culture utilisés pour l'étude de la biodégradation

Les milieux minimums utilisés dans cette étude, sont :

- Le milieu de **Vandermeesse 1996**. Ce milieu est choisi de façon d'être complètement exempt d'une source de carbone.
- Le milieu M2 de Bano et Musarrat 2004. Ce milieu minéral minimum est exempt d'une source d'azote et additionné de 1% de glucose (Annexe 2).

4- Enquête sur terrain

Une enquête a été réalisée au niveau de la maison d'agriculture (Service des inspections phytosanitaires et vétérinaires), la station de protection des plantes (INPV) et la coopérative de céréales et légumes secs (CCLS) de la Wilaya de Constantine. Sur la base des réponses de chaque service sur un questionnaire réalisé par nos soins, nous avons pu établir la liste des pesticides les plus utilisés dans notre wilaya.

5- Caractéristiques des pesticides testés à la biodégradation

Suite à notre enquête, nous avons choisi, deux fongicides, trois insecticides et quatre herbicides (Annexe 3,4). Leurs différentes caractéristiques sont indiquées dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Caractéristiques des pesticides testés à la biodégradation (DPVCT, 2016)

Nom commercial		Matière Active	Con et form*	Déprédateurs	Cultures	Doses d'utilisation
Fongicides	TACHIGAZOLE	HYMEXAZOLE	300 G/L SC	Pythium/ Fusariose	Cultures légumières/ cultures ornementales	1 l/ha
				Rhizoctonia/ Pythium phytophthora	Pépinières	100 ml/hl
	TELDOR®	FENHEXAMID	50% WG	Botrytis	Vigne/Fraisiers	1 kg/ha /1 à 1,5 kg/ha
				Moniliose	Arbres fruitiers	1 kg/ha
Insecticides	Rustile	ACETAMIPRIDE	20% SP	Aleurodes / Mineuses	Cultures maraîchères	200 à 300 g/ha
					Arbres fruitiers/Agrumes	
				Pucerons	Cultures maraîchères	100 à 125 g/ha
					Arbres fruitiers/Agrumes	
	Deltamight 2,5 EC	DELTAMETHRINE	25 G/L EC	Lutte antiacridienne	Criquets/Sauteriaux	0,5 l /ha
				Punaise	Céréales	
				Teigne	Pomme de terre	
	KARATEKA	LAMBDA-CYHALOTHRINE	50 G/L EC	Carpocapse	Arbre fruitiers	0,175 l/ha
Cératite				Agrumes		
Teigne				Olivier		
Herbicides	PROWL AQUA	PENDIMETHALINE	455 G/L CS	Graminées annuelles / dicotylédones	Pomme de terre	3 - 4 L/Ha
	ZOOM	DICAMBA +TRIASULFURON	65,9%+ 4,1% WG		Ail	
					Oignon	
	GRANSTAR 75 DF	TRIBENURON METHYL	750 G/L DF	Adventice dicotylédones	Blé/orge	120 G /ha
TILLER 410	GLYPHOSATE	48% SL	Cuscute	carotte	2,5 – 6,5 L/Ha	

Con et form* : concentration et formulation

6- Test de la biodégradation des pesticides

6-1 Préparation des solutions mères des pesticides

Les pesticides commercialisés sous forme de WG (granulés à disperser dans l'eau), WP (poudre mouillable) et DF (fluide sec) sont ajoutés à l'eau distillé dans des fioles jaugés de 100 ml en tenant compte la solubilité de matière active de chaque pesticide de façon à obtenir des solutions mères ayant des concentrations adéquates (Figure 12).

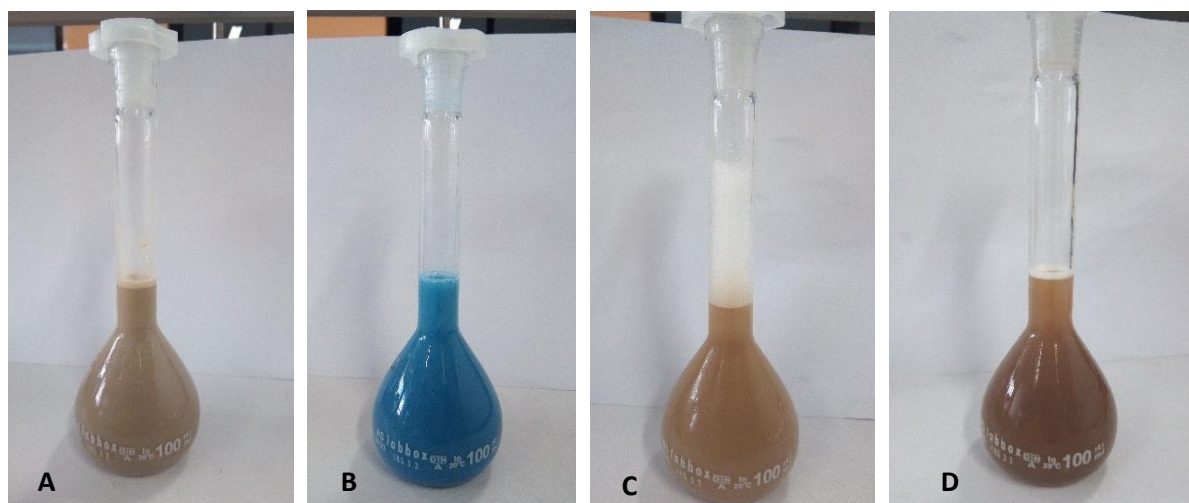


Figure 12 : les solutions mères préparés à partir de certains pesticides, (A) :Teldor ; (B) : Rustile ; (C) : Granstar ; (D) : Zoom

6-2 Stérilisation des pesticides

Les pesticides liquides et les solutions mères des pesticides sont stérilisés par filtration sur membranes de type millipore (de 0,22 μm de porosité) (Figure 13). Cependant Prowl aqua dont la matière active (PENDIMETHALINE) est formulée en CS (suspension de capsules) possède une viscosité supérieure qui empêche sa filtration par membrane, elle a été stérilisée par tyndallisation.

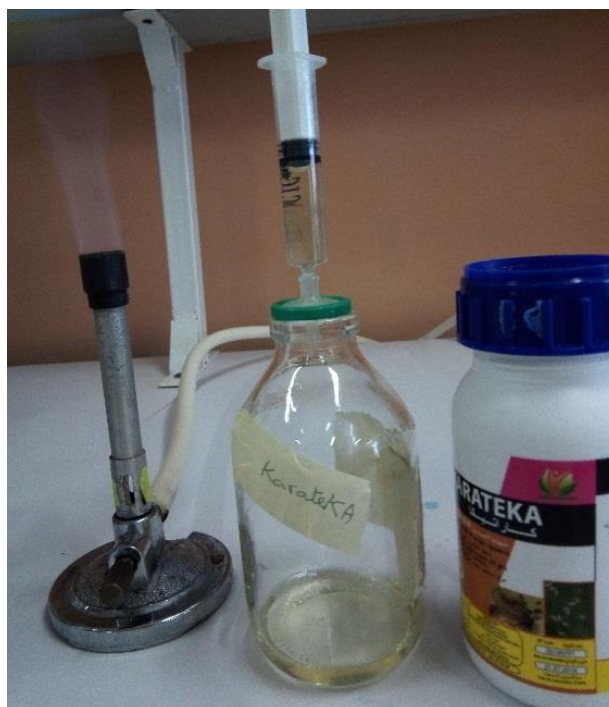


Figure 13 : Technique de Filtration des pesticides

6-3 Culture des actinobactéries sur milieux minimums contenant des pesticides

Les solutions mères des pesticides stériles ont été ajoutées aux milieux minimum (M1), comme source de carbone (**Vandermesse 1996**) et source d'azote dans le milieu minimum M2 (**Bano et Musarrat 2004**). Ils sont ajoutés par micropipettes à raison de 0,2 g/L. (**Rozo et al, 2013**).

Les bactéries sontensemencées par des stries serrées sur la surface des milieux minimums additionnés de pesticides. Les boîtes sont ensuite incubées à 28 ± 2 °C pendant 15 jours, Parallèlement des milieux témoins dépourvus de pesticides ont été préparés dans les mêmes conditions.

Après la période d'incubation, la croissance des actinomycètes est évaluée. La bactérie est dite active si la croissance est positive comparativement au témoin. Elle n'est pas active si la croissance est plus faible que le témoin. L'évaluation de la croissance est mesurée de visu. Des observations sur des intervalles de temps différents (48 h, 72 h, 7 jours, 15 jours) ont été réalisés afin de suivre la présence ou l'absence de cette croissance.

7- Test de tolérance des souches performantes à des concentrations des pesticides

Les isolats d'actinomycètes ayant donné des résultats positifs sontensemencés sur les mêmes milieux additionnés du même pesticide avec des concentrations de (0.5 g/l, 1 g/l, 3g/l, 6g/l, et 12 g/l) (**Benslama et Boulahrouf, 2013**). Les résultats de tolérance des actinomycètes aux différentes concentrations des pesticides sont observés après 10 jours d'incubation à 28 ± 2 °C. Ils sont estimés par la croissance des bactéries qui peut être positif (+) ou nulle (-)

Les résultats de la tolérance à des différentes concentrations nous permettent d'indiquer si la croissance bactérienne sur le pesticide à une concentration de 0,2g/l, est une conséquence de la biodégradation proprement dite, ou elle est seulement liée à une bioaccumulation du pesticide par la bactérie ou encore du aux réserves cellulaires.

8- Pré-identification des isolats performants

La pré-identification des souches est réalisée sur la base des caractères cultureaux, macro et microscopiques.

8-1 Macromorphologie et caractères cultureaux

Les caractères cultureaux des isolats purifiés sont déterminés sur milieux de culture ISP2. Des ensemencements par stries sont réalisés en surface. Les boîtes sont ensuite incubées à température de 28 ± 2 °C pendant 14 jours. Les isolats qui ont marqués une bonne

croissance après 4 jours d'incubation sont estimés comme étant rapides. Les bactéries qui ont une bonne croissance entre le 4^{ème} et le 7^{ème} jour sont estimées comme des bactéries à croissance modérées. Cependant celles qui ne poussent qu'après le 7^{ème} jour sont des souches lentes (**Oskay et al., 2004**).

La pigmentation du mycélium aérien et celui du substrat (le revers de la boîte) et la présence de pigments diffusibles dans la gélose autre que les pigments mélanoides sont également notés (**Shirling et Gottlieb., 1966**).

8-2 Observation microscopique

8-2-1 La technique de culture sur lamelle

La technique de culture sur lamelle consiste à insérer délicatement une lamelle stérile dans le milieu gélosé ISP2 de telle sorte qu'elle forme un angle de 45° avec la surface de celui-ci. Une goutte de l'inoculum est déposée contre la lamelle en contact avec le milieu. Après 14 jours d'incubation à 28 ± 2 °C, la lamelle est retirée soigneusement de la gélose, entraînant quelques fragments du mycélium, elle est ensuite déposée sur la lame et examinée au microscope optique à différents grossissements (G X 40 et X 100). Cette technique permet d'apprécier la forme des mycéliums aériens et de substrat (**Shirling et Gottlieb, 1966**).

8-2-2 Coloration de Gram

Des frottis de chaque isolat pur ont été réalisés sur des lames en verre propres puis fixés par la chaleur en les passant trois à quatre fois par mouvements rapides sur la flamme du bec Bunsen. Les frottis fixés sont colorés avec une solution de violet de Gentiane pendant une minute. Ils sont rincés avec l'eau pour éliminer l'excès. Quelques gouttes de lugol sont déposées pendant 1 minute, ce composé iodé agit comme un mordant en augmentant les interactions entre le colorant et les cellules. Sans rincer et en inclinant les lames à 45°, les frottis sont décolorés par lavage avec un mélange d'éthanol et d'acétone. A cette étape, Les bactéries de coloration Gram positive gardent le violet de Gentiane par contre les autres se décolorent. Ensuite, la décoloration est arrêtée par lavage à l'eau. Un autre colorant de couleur rose (la fuchsine de Ziehl) est déposé sur les frottis pendant 15 secondes. Finalement, les lames sont rincées abondamment à l'eau, séchées et examinées sous microscope optique à l'aide de l'objectif à immersion (x 100) (**Djaballah, 2010**).

Résultats et discussion

1. Résultats de l'enquête

L'enquête réalisée dans les différents services de la wilaya de Constantine, indique clairement que plusieurs pesticides sont utilisés. En effet, une liste très variée est autorisée pour la vente. Le secteur privé est le circuit le plus important dans la distribution de ces produits phytosanitaires. Nous nous sommes donc orientés vers les distributeurs privés de la daïra d'El-khroub (Wilaya de Constantine) pour conclure notre enquête. Nous avons remarqué une distribution non contrôlée de ces produits. Les commerçants proposent une gamme très variée de ces pesticides. Cette situation est à notre avis très préoccupante car nous constatons une anarchie dans la distribution de ces produits. Aucun contrôle par les différents services n'est fait. C'est en générale une distribution gérée par le secteur privé. Sur cette base nous avons choisis parmi ceux qui sont distribués, les pesticides les plus couramment proposés aux agriculteurs et ceux depuis plusieurs années.

2. Repiquage et entretien des isolats

Après des repiquages successifs sur le milieu ISP2, nous avons pu purifier 23 isolats sur 30 actinobactéries de la collection fournie par le laboratoire. 4 isolats du sol saharien, 9 isolats des eaux thermales, 10 isolats isolés à partir des eaux usées. Les cultures pures apparaissent sous l'aspect typique des actinomycètes (rondes et de contours réguliers), elles sont peu ou bien incrustées dans la gélose avec une surface poudreuse et aux bords frangés, certaines cultures présentent un aspect rugueux et autres sont lisses (Figure 14).

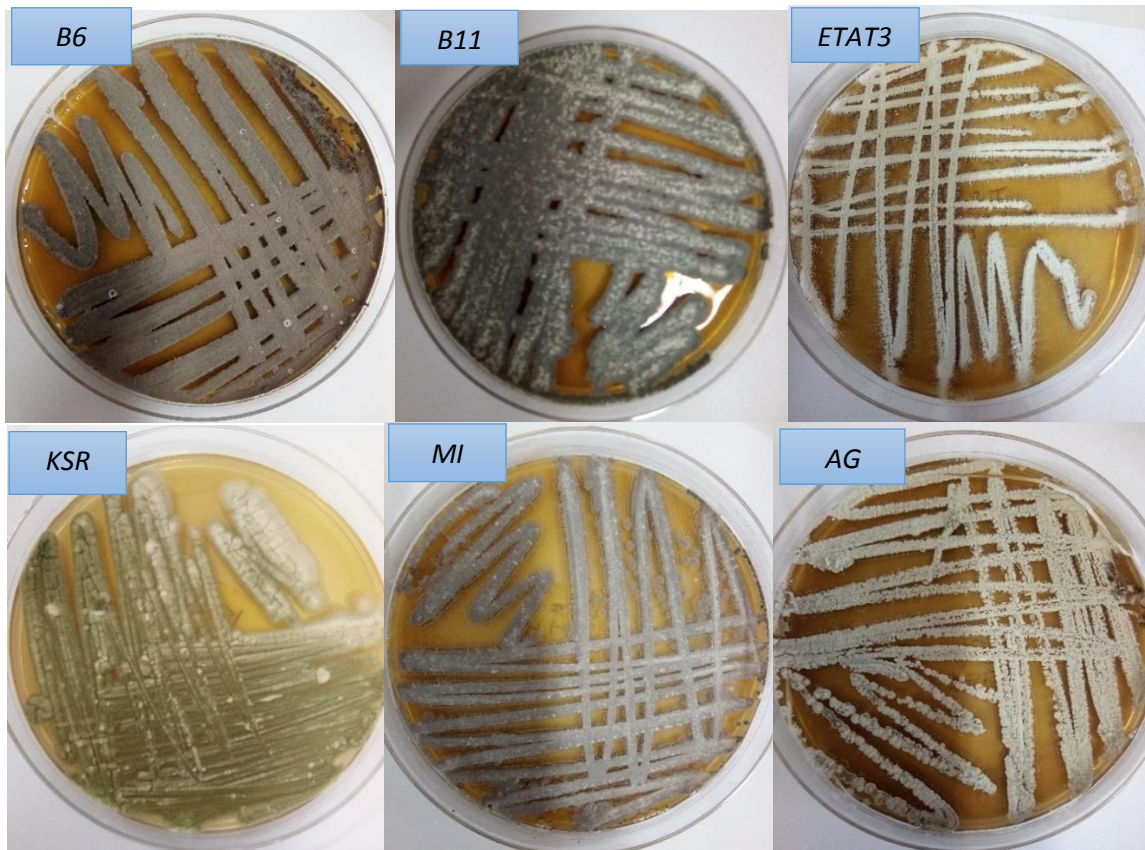


Figure 13 : Aspect Macroscopique des Actinobactéries sur milieu ISP2 ; (*B6* et *B11*) : isolats du sol Saharien; (*ETAT3* et *KSR*) : isolats des eaux thermales; (*MI* et *AG*) : isolats des eaux usées.

3. Test de biodégradation des pesticides

Pour chaque pesticide, la capacité de croissance des 23 isolats purs d'actinomycètes en utilisant un pesticide comme seule source de carbone et d'azote a été mise en évidence, sur les deux milieux minimums M1 de Vendermess (dépourvu de carbone) et M2 de (**Bano et Mussarat, 2004**) (dépourvu d'azote).

- En premier lieu, une concentration de 0,2g/l a été testée sur des intervalles de temps allant de 48h, 72h, 7jours et 15 jours (Annexe 7 et 8).
- En deuxième lieu, Les isolats ayant donné un résultat positif sont ensemencés sur le même milieu avec des concentrations de (0,5g/l, 1g/l, 3g/l, 6g/l, 12g/l) du pesticide afin de démontrer la capacité des isolats à dégrader le pesticide et de déterminer la concentration maximale tolérée.

3.1. Cas du fongicide Tachigazole (hymexazole)

Pendant 15 jours d'incubation à 28 ± 2 °C, aucun des isolats du sol Saharien présente une croissance sur les 2 milieux minimums additionnés de 0,2g/l du Tachigazole (l'hymexazole). Ce résultat signifie qu'ils sont inaptes à utiliser ce dernier comme seule source de carbone ou d'azote. Cependant, 5 isolats des eaux usées parmi les dix testés poussent bien sur milieu M1 après 72h seulement d'incubation. Ceux des eaux thermales ont le meilleur pourcentage des isolats actives soit (66,66%) sur milieu M1 et 44,44% sur milieu M2 (Figure 14, 15). Un seul isolat des eaux thermales nommé *KSR* a marqué une croissance positive sur les deux milieux minimums additionnés de Tachigazole. Il est donc le seul capable d'utiliser à la fois, l'hymexazole comme seule source de carbone et d'azote (Figure 16).

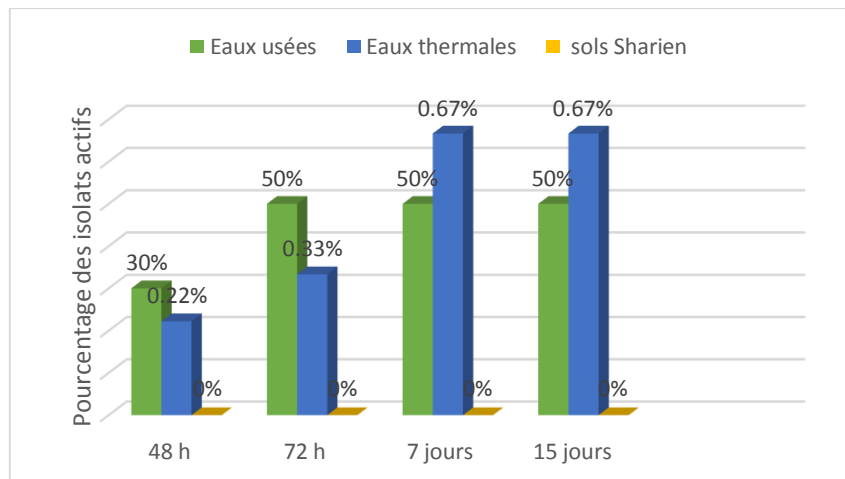


Figure 14 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l du fongicide Tachigazole sur des intervalles de temps différents

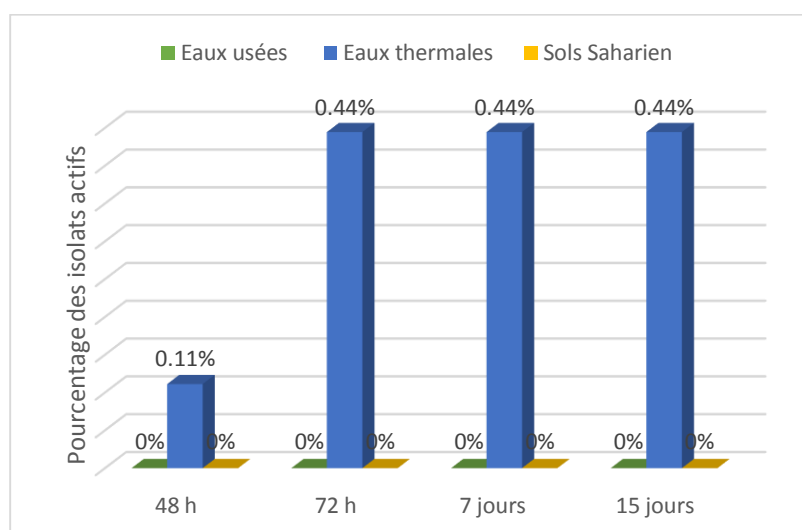


Figure 15 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l du fongicide Tachigazole sur des intervalles de temps différents

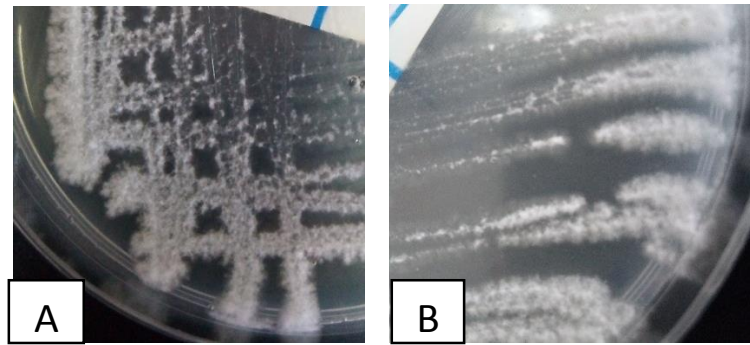


Figure 16 : Culture de l'isolat KSR sur milieux minimums additionnés de 0,2g/l de Tachigazole ; (A) :MM1, (B) : MM2.

Les résultats de tolérance des différentes concentrations de Tachigazole sur milieu MM1 et MM2 (Tableau 20, 21) nous ont permis de noter que :

Pour les isolats des eaux usées actifs sur (MM1 + 0,2g/l de Tachigazole) : seulement 2/5 isolats tolèrent des concentrations considérables (0,5 – 3g/l). Ces deux isolats peuvent dégrader l'hymexazole en l'utilisant comme source de carbone.

Pour les isolats des eaux thermales actifs sur (MM1 + 0,2g/l de Tachigazole) : 3/6 isolats tolèrent des concentrations de 0,5g/l à 3g/l. Un isolat nommé ETST4 tolère une concentration de 6g/l. Cependant, l'isolat KSR tolère une concentration qui arrive jusqu'à 12g/l. On conclue que (5/6) des isolats des eaux thermales peuvent pousser sur l'hymexazole en l'utilisant comme seule source de carbone.

Pour les isolats des eaux thermales actifs sur (MM2+ 0,2g/l de Tachigazole) : tous les isolats (4/4) tolèrent des concentrations importantes qui arrivent à 12g/l ce qui indique leur capacité à biodégrader ce fongicide (Figure 17).

Les isolats actifs sur (MM + 0,2g/l de Tachigazole) avec une tolérance limitée aux faibles concentrations ont probablement accumulé le pesticide sans pouvoir le dégrader.

Tableau 20 : Résultats de tolérance de différentes concentrations du Tachigazole dans le milieu MM1

Les isolats actifs sur MM1 + 0,2 g/l de Tachigazole		Les concentrations de Tachigazole dans MM1				
		0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Isolats des eaux thermales	ETST4	+	+	+	+	-
	GA3C	+	+	+	-	-
	ETST8	+	+	+	-	-
	KSR	+	+	+	+	+
	ETAT5	+	+	+	-	-
	ETAT3	+	+	-	-	-
Isolats des eaux usées	PM	-	-	-	-	-
	MX	-	-	-	-	-
	MK	+	+	+	-	-
	MI	+	+	+	-	-
	MY	+	+	-	-	-

Tableau 21 : Résultats de tolérance de différentes concentrations du Tachigazole dans le milieu MM2

Les isolats actifs sur MM2 + 0,2 g/l de Tachigazole		Les concentrations de Tachigazole dans MM2				
		0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Des eaux Thermales	GA3	+	+	+	+	+
	ETAT10	+	+	+	+	+
	KSR	+	+	+	+	+
	SEA1	+	+	+	+	+



Figure 17 : Croissance des isolats des eaux thermales (KSR, SEA1, GA3, ETAT10) sur MM2 additionnée de 12g/l du fongicide Tachigazole

En conclusion, les isolats des sols sahariens, sont tous inaptes à dégrader l'hymexazole. Deux isolats des eaux usées soit 20%, peuvent se développer sur ce fongicide comme seule source de carbone. 55,55% des isolats des eaux thermales peuvent le dégrader en l'utilisant comme seule source de carbone et 44,44% comme seule source d'azote. Un seul isolat (KSR) peut le dégrader en l'utilisant à la fois comme seule source de carbone et d'azote.

La concentration maximale de l'hymexazole tolérée est à l'ordre de 3g/l pour les isolats des eaux usées et 12g/l pour les isolats des eaux thermales.

L'inaptitude des isolats du sol Saharien à utiliser l'hymexazole comme seule source de carbone et d'azote peut être expliqué par une action toxique du fongicide sur la population microbienne du sol comme c'est indiqué par (Tahar *et al.*, 2017) qui ont démontré que les populations bactériennes et fongiques du sol prélevées à partir d'une zone non polluée sont inhibées avec toutes doses de l'hymexazole, Partant de ce fait, on suppose que les isolats des eaux usées sont, au contraire des, adaptées à la biodégradation des polluants notamment l'hymexazole qui est, selon (Tahar *et al.*, 2017), largement utilisé dans le nord-est Algérien et se trouve par conséquent très répondu dans les stations d'épuration des eaux. En ce qui concerne les isolats des eaux thermales, leur contribution dans la biodégradation en général n'a jamais été traitée auparavant. Ce rapport est selon nous, le premier dans ce domaine. Il

montre clairement que les actinobactéries isolées des eaux chaudes sont capable de pousser à des concentrations élevées de ce fongicide.

3.2. Cas du fongicide Teldor® (Fenhexamid)

A partir de troisième jour d'incubation à 28 ± 2 °C, un seul isolat des eaux usées nommé AC forme peu de colonies sur le milieu MM1 additionné de 0,2g/l du fongicide Teldor, D'un autre côté, aucune croissance n'a été signalée sur le milieu MM2 additionné de la même matière (Figure 18, 19).

Afin de déterminer la capacité de biodégradation de l'isolat AC, une gamme de concentrations (0,5g/l, 1g/l, 3g/l, 6g/l, 12g/l) a été appliquée sur le même milieu. Les résultats ont montré que l'isolat ne tolère aucune concentration, Cela signifie qu'il a accumulé le fongicide en premier lieu sans pouvoir le dégrader

Notre résultat démontre que le Fenhexamide est peu ou non biodégradable par les actinobactéries, par contre **Abate et al., 2007** ont trouvé que le Fenhexamide est peu persistant (DT50 = 1 jour) en présence d'une microflore active comme *Bacillus megaterium*, De ce fait, on suppose que, soit, les isolats d'actinobactéries testés n'ont pas une contribution importante dans la biodégradation du Fenhexamide, soit cette dernière nécessite une performance des bactéries en Consortium.

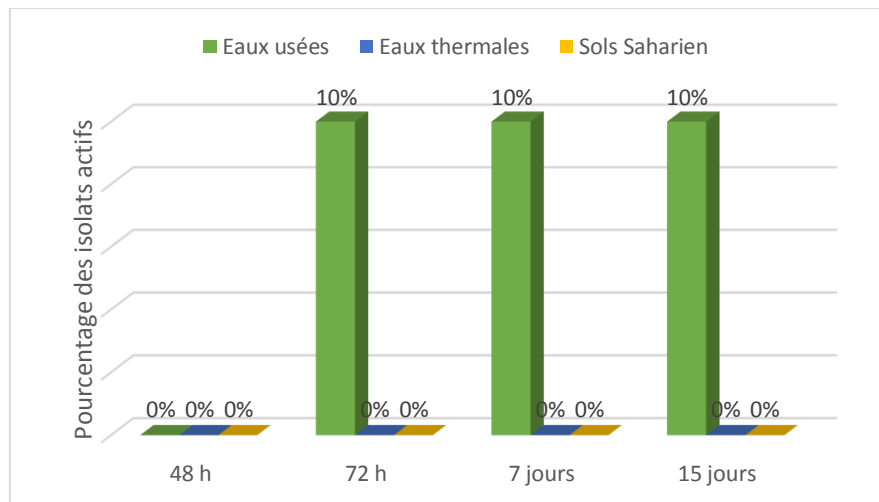


Figure 18 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l de fongicide Teldor sur des intervalles de temps différents



Figure 19 : Culture de l'isolat AC sur milieu minimum MM1 additionné de fongicide Teldor après 72 h d'incubation à 28 ± 2 °C

3.3. Cas de l'insecticide Rustile (Acetamipride)

Après 48h d'incubation à 28 ± 2 °C, on a noté la croissance d'un isolat des eaux usées nommé MK sur le milieu MM1 additionné de 0,2g/L de l'insecticide Rustile (Acetamipride) et après 72h un autre isolat nommé MI a formé des colonies sur le même milieu, cependant, aucune croissance est marquée sur le milieu MM2 par les isolats des eaux usées. Par ailleurs, 3 isolats des eaux thermales peuvent croître sur le premier milieu et 2 autres sur le deuxième milieu. Mais les isolats du sol Saharien sont tous inactives sur les 2 milieux (Figure 20, 21).

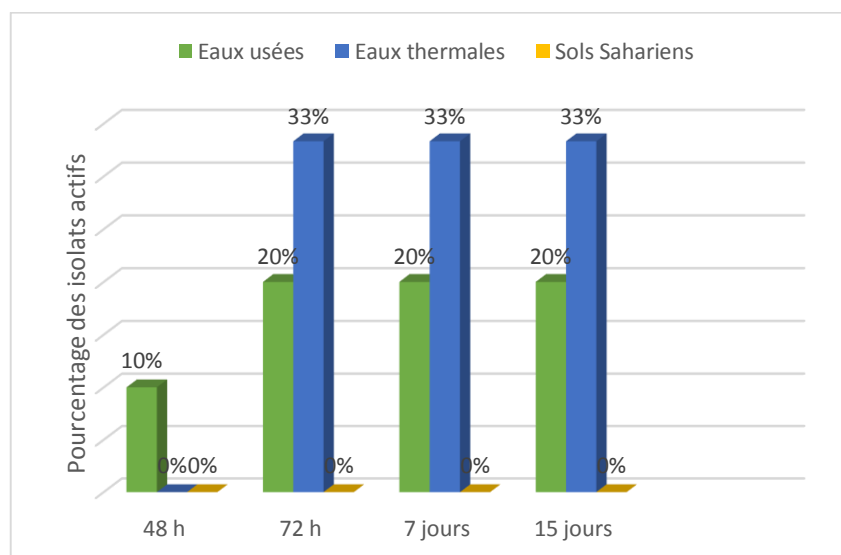


Figure 20 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l de l'insecticide Rustile sur des intervalles de temps différents

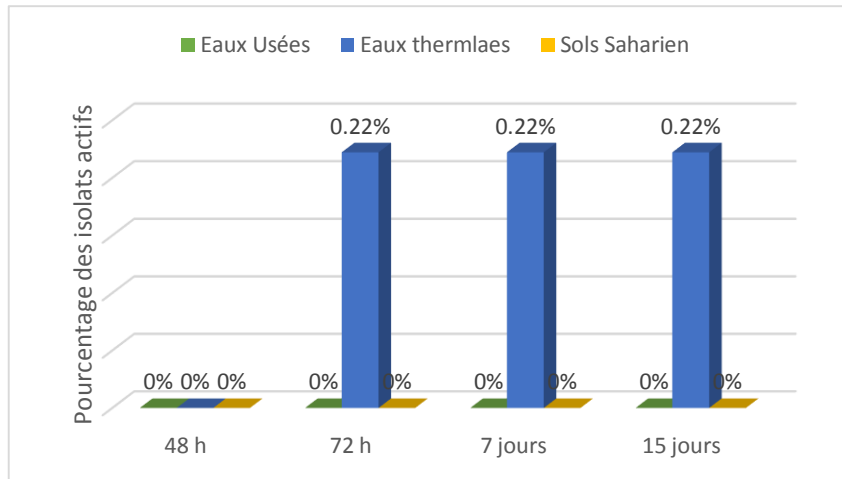


Figure 21 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l de l’insecticide Rustile sur des intervalles de temps différents

Afin de déterminer la capacité de dégradation des isolats actifs, une gamme de concentration (0,5g/l, 1g/l, 3g/l, 6g/l, 12g/l) a été appliquée sur les mêmes milieux.

Les résultats de tolérance des différentes concentrations ont montré que :

- Tous les isolats actifs sur milieu (MM1+0,2g/l de Rustile) tolèrent des concentrations importantes (0,5 -12g/l) de Rustile (Acetamipride) ce qui signifie que ces isolats dégradent l’Acetamipride en l’utilisant comme seule source de carbone.
- Les deux isolats des eaux thermales actifs sur milieu (MM2+ 0,2g/l de Rustile) tolèrent des concentrations considérables qui sont : 6g/l pour GA3 et 12g/l pour ETST8, donc ces isolats dégradent l’Acetamipride en l’utilisant comme seule source d’azote (Tableau 22, 23).

Tableau 22 : les Résultats de tolérance des différentes concentrations du Rustile dans milieu MM1

Les Isolats actifs sur MM1 + 0,2 g/l de Rustile		Les concentrations de Rustile dans MM1				
		0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Des eaux thermales	GA3C	+	+	+	+	+
	ETST4	+	+	+	+	+
	ETAT5	+	+	+	+	+
Des eaux usées	MK	+	+	+	+	+
	MI	+	+	+	+	+

Tableau 23 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Rustile dans milieu MM2

Les souches actifs sur MM2 + 0,2 g/l de Rustile		Les concentrations de Rustile dans MM2				
		0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Des eaux thermales	GA3	+	+	+	+	-
	ETST8	+	+	+	-	-

Ces résultats montrent que 20% des isolats des eaux usées testés peuvent utiliser l’acetamipride comme seule source de carbone. De même, certains isolats des eaux thermales avec un pourcentage de 33,33%, peuvent l’utiliser comme source de carbone et 22,22%, peuvent l’utiliser comme seule source d’azote. Les isolats du sol Saharien testés sont tous inaptes à biodégrader cet insecticide.

Les isolats actifs montrent une bonne croissance dans un intervalle de temps court allant de 48h à 72h (Figure 22, 23). Cela signifie que l’acetamipride est une matière rapidement dégradable comme c’est indiqué par **SAgE pesticides, 2019**.



Figure 22 : Croissance des isolats des eaux thermales (ETAT5, ETST4, GA3C) sur milieu MM1 additionné de l’insecticide Rustile après 72h

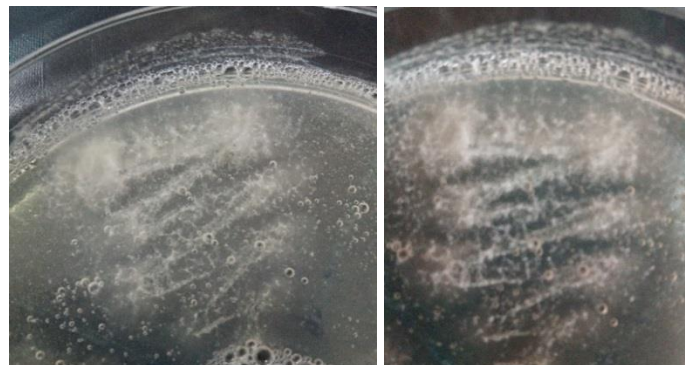


Figure 23 : Croissance des isolats des eaux thermales (GA3, ETST8) sur milieu MM2 additionné de l’insecticide Rustile après 72h

3.4. Cas de l'insecticide Deltamight 2,5 EC (Deltamithrine)

Après 15 jours d'incubation à 28 ± 2 °C, tous les isolats ne peuvent pas se développer sur le milieu MM1 additionné de 0,2g/l de Delatamigh (deltamithrine), ce qui signifie qu'il n'est pas utilisé comme source de carbone par tous les isolats testés. Cependant, il est probablement utilisé comme source d'azote dans le milieu MM2. Nous avons noté, une croissance de 2 isolats du sol Saharien et 2 isolats des eaux thermales mais aucune croissance des isolats des eaux usées (Figure 24).

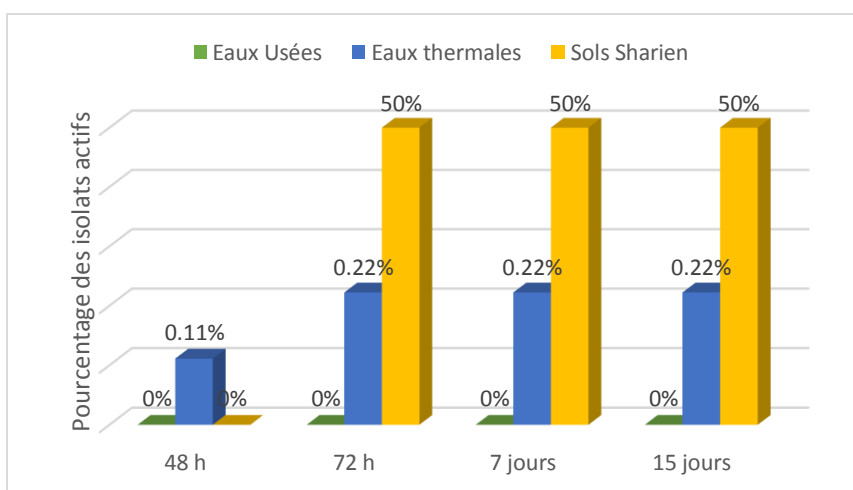


Figure 24 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l de l'insecticide Deltamight

Afin de déterminer la capacité de dégradation des isolats actifs sur MM2, une gamme de concentration (0,5g/l, 1g/l, 3g/l, 6g/l, 12g/l) a été appliquée sur le même milieu

Les résultats de test de tolérance des concentrations ont montré que l'isolat des eaux thermales nommé KSR ne tolère aucune concentration, de même, l'isolat GA3 présente une croissance faible à une concentration de 0,5g/l et les 2 isolats du sol Saharien ont une concentration maximale tolérée égale à 1g/l donc la croissance de ces isolats dans le milieu (MM2+0,2g/l de delatamitght) peut être expliquée par une bioaccumulation de l'insecticide sans être dégradé par les actinobactéries, (Tableau 23).

Tableau 24 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Deltamight dans milieu MM2

Les Isolats actifs sur MM2+ 0,2g/l		Les concentrations de Deltamight dans MM2				
		0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Des eaux thermales	GA3	-	-	-	-	-
	KSR	-	-	-	-	-
Du sol Saharien	B8	+	-	-	-	-
	B11	+	-	-	-	-

Partant de ces résultats, les isolats des actinobactéries testées ne peuvent pas dégrader le Deltamithrine. Nos résultats s'accordent avec eux de *Cycoń et al., 2014* qui ont démontré que le deltamithrine peut être dégradé par les microorganismes du sol (Mais pas avec des Actinobactéries) comme *Serratia marcescens* dont le taux de dégradation peut aller de 82.8 % à 88.3% pendant 10 jours..

On constate que les isolats d'actinobactéries testés sont des faibles performants dans la biodégradation du Deltamithrine, cela peut être expliqué par le faite qu'ils ne sont pas adaptés à cet insecticide, ou ils peuvent également l'utiliser comme co-substrat et non comme seule source. Une autre possibilité c'est qu'ils peuvent suggérer une biodégradation en consortium seulement. Des travaux supplémentaires sont nécessaire afin de confirmer ou d'infirmer cela.

3.5. Cas de l'insecticide Karateka (Lambda-cyhalothrine)

Après 72h d'incubation à 28 ± 2 °C, Un seul isolat des eaux thermales (KSR) forme des colonies sur MM1 additionné de 0,2g/l de l'insecticide Karateka (Lambda-cyhalothrine). Pour le milieu MM2 additionné de la même concentration, 2 isolats sur 9 soit un pourcentage de 22,22%. Concernant le sol Saharien, 3/4 isolats, présentent une croissance dès les premières 48h (Figure 25, 26).

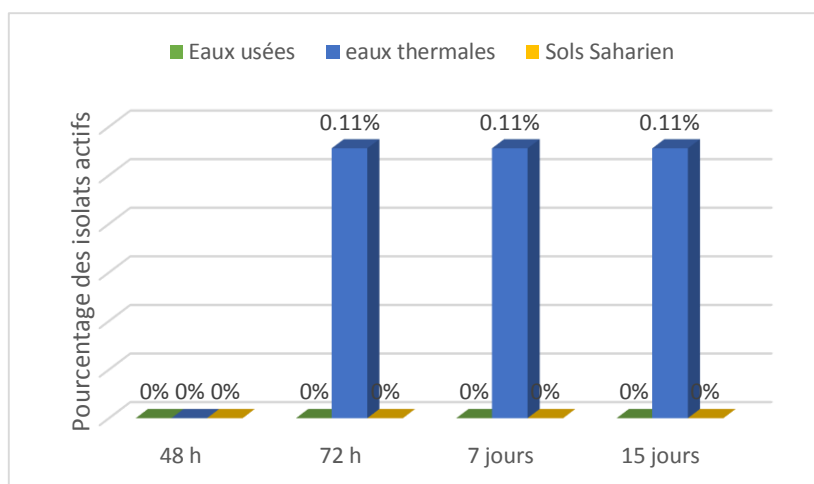


Figure 25 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l de l’insecticide Karateka sur des intervalles de temps différents

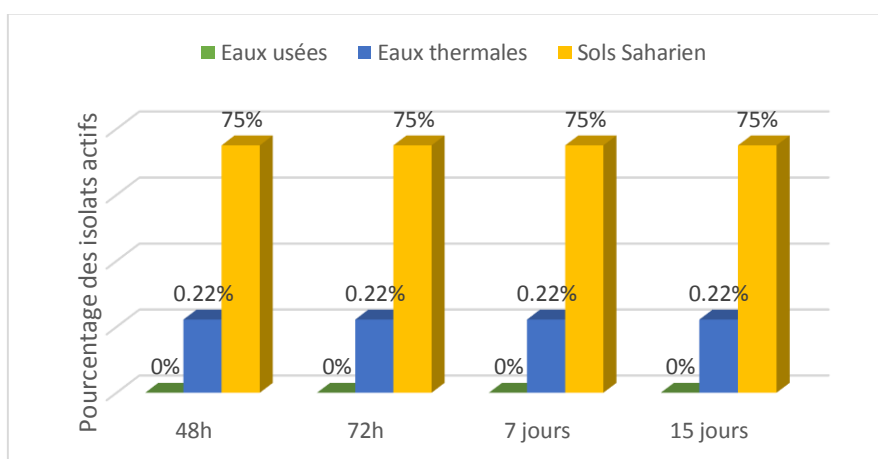


Figure 26 : Pourcentage des isolats actif sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l de l’insecticide Karateka sur des intervalles de temps différents

Afin de déterminer la capacité de dégradation des isolats actifs sur MM1 et MM2, une gamme de concentration (0,5g/l, 1g/l, 3g/l, 6g/l, 12g/l) a été appliquée sur les deux milieux (Tableau 25,26).

Les résultats de test de tolérance des concentrations ont montré que l’isolat des eaux thermales KSR ne tolère aucune concentration sur MM1. Il est donc considéré inapte à dégrader l’insecticide Lambda-cyhalothrine. Sa croissance en premier lieu sur la concentration de 0,2g/L est liée probablement à une bioaccumulation du pesticide, et pour le milieu MM2, les deux isolats des eaux thermales actifs (Figure 27) tolèrent des concentrations considérables (3g/l et 6g/l). Ils sont donc de bons candidats à la biodégradation de cet insecticide. Contrairement à cela, les isolats du sol Saharien ne tolèrent qu’une concentration faible de 0,5g/l.

Tableau 25 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Karateka dans milieu MM1

L'isolat actifs sur (MM1+0,2g/l de karateka)	Les concentrations de Karateka dans MM1				
	0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
KSR	-	-	-	-	-

Tableau 26 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Karateka dans milieu MM2

Les isolats actifs sur (MM2+0,2g/l de karateka)		Les concentrations de Karateka dans MM2				
		0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Du sol Saharien	B2	+	-	-	-	-
	B8	+	-	-	-	-
	B11	+	-	-	-	-
Des eaux thermales	GA3	+	+	+	-	-
	ETAT10	+	+	+	-	-

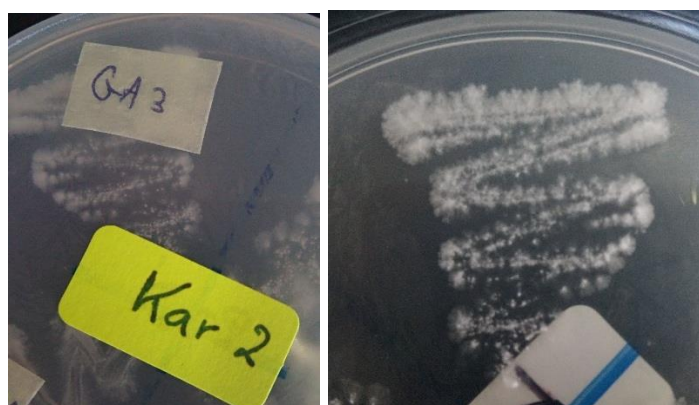


Figure 27 : Croissance de l'isolat GA3 des eaux thermales sur milieu MM2 additionné de l'insecticide Karateka

D'après les résultats au dessus, 22,22% des isolats des eaux thermales testés dégradent le Karateka (Lambda-cyhalothrine) en l'utilisant comme seule source d'azote et le reste des isolats sont inaptes à le biodégrader. Toutefois, **Hocinat, 2018** a trouvé des isolats d'actinobactérie du sol agricole et des boues actives capables d'utiliser cet insecticide comme seule source de carbone. Cela peut être expliqué par le faite que nos isolats sont - contrairement à celles des sols agricoles et des boues actives- inadaptés à l'utilisation des

insecticides ni comme seule source de carbone ni comme seule source d'azote, à l'exclusion, les isolats des eaux thermales dont la capacité de biodégradation n'est pas encore étudiée.

3.6. Cas de Prowl aqua (Pendimethaline)

Après 48h d'incubation à 28 ± 2 °C, 3/10 soit 30% des isolats des eaux usées présentent une croissance sur le milieu MM1 additionné de 0,2g/l de l'herbicide Prowl aqua (Pendimethaline), ce pourcentage augmente à 40% après 72h, simultanément 3/9 soit 33,33% des isolats des eaux thermales forment des colonies sur ce même milieu, ces deux derniers pourcentages demeurent constants pendant toute la période d'incubation (15 jours) et présentent le pourcentage des isolats actifs sur milieu (MM1+ 0,2g/l de Prowl aqua). Et pour le milieu MM2, seulement 2/9 soit 30% des isolats des eaux thermales sont actifs depuis le 7^{ème} jour. Les isolats du sol Saharien demeurent inactifs dans les deux milieux (Figure 28, 29).

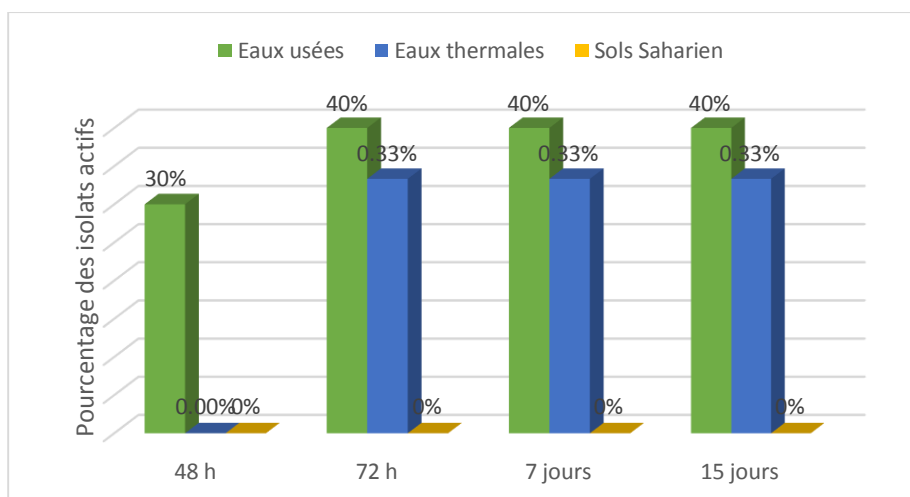


Figure 28 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l de l'herbicide Prowl aqua sur des intervalles de temps différents

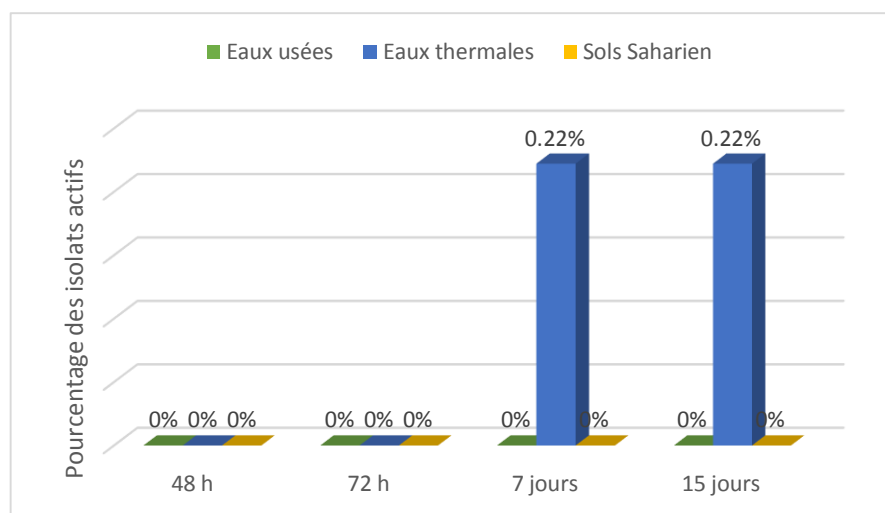


Figure 29 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l de l’herbicide Prowl aqua sur des intervalles de temps différents

Afin de déterminer la capacité de dégradation des isolats actifs sur MM1 et MM2, une gamme de concentration (0,5g/l, 1g/l, 3g/l, 6g/l, 12g/l) a été appliquée sur les deux milieux.

Les résultats de test de tolérance des concentrations ont montré que tous les isolats actifs sur (MM1+0,2g/l de Prowl aqua) et sur (MM2 + 0,2g/l de Prowl aqua) tolèrent tous les concentrations allant de 0,5g/l à 12g/l, ce qui indique leur aptitude à biodégrader le pendiméthaline en l’utilisant comme seule source de carbone sur MM1 ou comme seule source d’azote sur MM2 (Tableau 27, 28).

Tableau 27 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Prowl aqua dans milieu MM1

Les Isolats actifs sur (MM1+0,2g/l de prowl aqua)		Les concentrations de Prowl aqua dans MM1				
		0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Des eaux thermales	ETAT5	+	+	+	+	+
	ETAT3	+	+	+	+	+
	KSR	+	+	+	+	+
Des eaux usées	MY	+	+	+	+	+
	MK	+	+	+	+	+
	AC	+	+	+	+	+
	MI	+	+	+	+	+

Tableau 28 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Prowl aqua dans milieu MM2

Les Isolats actifs sur (MM2+0,2g/l de prowl aqua)		Les concentrations de Prowl aqua dans MM2				
		0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Des eaux thermales	GA3	+	+	+	+	+
	ETAT10	+	+	+	+	+

On constate que 33,33% des isolats des eaux thermales et 40% des isolats des eaux usées testés sont aptes à biodégrader le Pendiméthaline en l'utilisant comme seule source de carbone, et 22,22% des isolats des eaux thermales sont aptes à l'utiliser comme seule source d'azote, cependant, les isolats du sol saharien testés sont tous inactifs.

Nayak *et al.*, (1994) ont trouvé lors d'une expérience sur une terre sableux à Bhubaneshwar (Inde) qu'une dose de 0.5 kg/ha de pendiméthaline réduit 21% des actinobactéries pendant les premiers 25 jours puis ils sont stimulés après 50 jours.

Kočárek *et al.*, (2016) ont démontré lors d'une expérience sous serre contrôlée que les actinobactéries sont les seules microorganismes du sol dont le nombre augmente avec les différentes doses de pendiméthaline.

En se basant sur nos résultats et sur les travaux de **Nayak *et al.*, (1994)** et **Kočárek *et al.*, (2016)**, on peut considérer que les actinobactéries sont des acteurs importants dans la biodégradation de pendiméthaline.

3.7. Cas de l'herbicide Zoom (Dicamba+Triasulfuron)

Sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l de l'herbicide Zoom, seulement un isolat des eaux usées présente une croissance positive. Par ailleurs, sur milieu MM2, ce sont les isolats des eaux thermales qui présentent une croissance avec un pourcentage qui évolue dans le temps de 11,11% (1/9) en 48h jusqu'à 55,55% (5/9) après 7jours (Figure 30, 31).

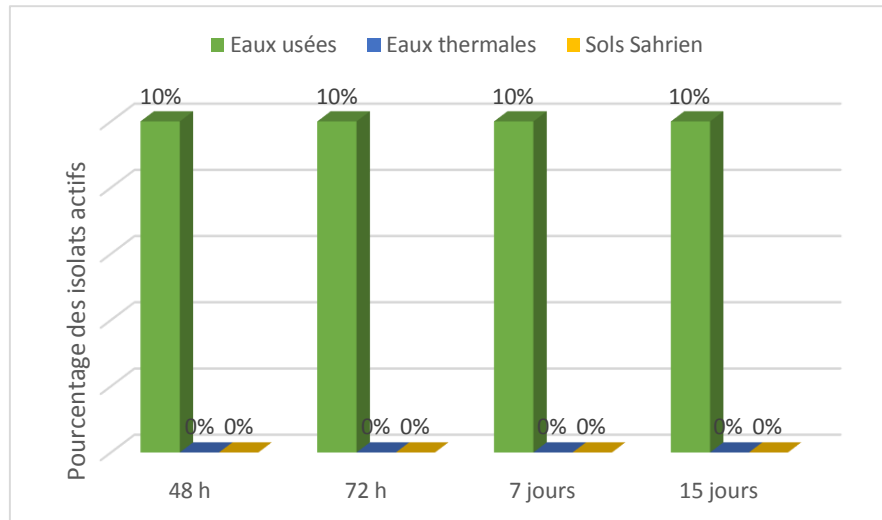


Figure 30 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM1 additionnée de 0,2g/l de l’herbicide Zoom

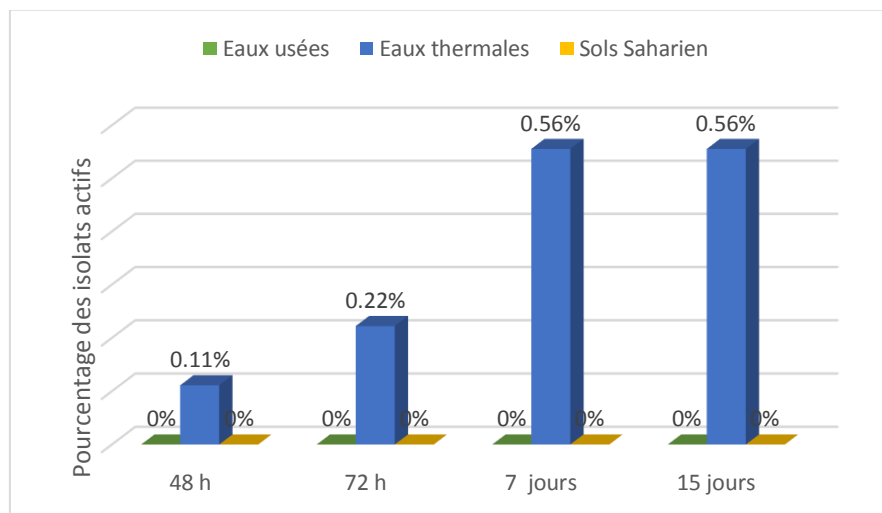


Figure 31 : Pourcentage des isolats actifs sur milieu MM2 additionné de 0,2g/l de l’herbicide Zoom

Les isolats actifs sur MM1 et MM2 sont probablement capables d’utiliser le Zoom comme seule source de carbone ou d’azote, ou bien, il s’agit juste d’une bioaccumulation de l’herbicide, pour déterminer cet aptitude, une gamme de concentration (0,5g/l, 1g/l, 3g/l, 6g/l, 12g/l) a été appliquée sur les deux milieux.

Les résultats de test de tolérance des concentrations ont montré que : les isolats actifs sur la concentration de 0,2g/l ne tolèrent que des concentrations faibles ne dépassant pas 1g/l ce qui signifie qu’ils sont inapte à dégrader cet herbicide (Tableau 29, 30).

Tableau 29 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Zoom dans milieu MM1

Isolat actif sur (MM1+0,2g/l de Zoom)	Les concentrations de Zoom dans MM1				
	0,5g/l	1 g/l	1 g/l	6 g/l	12 g/l
Isolat des eaux usées MK	+	+	-	-	-

Tableau 30 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Zoom dans milieu MM2

Isolats actifs sur MM2+0,2g/l de Zoom)		Les concentrations de Zoom dans MM 2				
		0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Des eaux thermales	ETST8	+	-	-	-	-
	GA3	+	-	-	-	-
	SEA1	+	-	-	-	-
	ETAT10	+	-	-	-	-
	KSR	+	-	-	-	-

Nos résultats montrent que le Zoom est peu/non dégradé par les isolats testés des eaux usées, des eaux thermales et des sols sahariens, ce qui est le cas contraire des isolats du sol agricole et des boues actives de **Hocinat (2018)** dont la moitié dégrade le Zoom. L'inaptitude métabolique de nos isolats peut être expliquée par le fait qu'ils sont inadaptés à l'utilisation de Zoom comme substrat, contrairement aux isolats des boues actives et des sols agricoles.

3.8. Cas de l'herbicide Granstar 75DF (Tribenuron methyl)

Sur le milieu MM1 additionné de 0,2g/l de l'herbicide granstar 75DF, un seul isolat des eaux usées nommé Ac présente une croissance après 72h d'incubation. En outre, sur le milieu MM2 additionné de la même concentration, des isolats des eaux thermales sont actifs avec un pourcentage qui évolue dans le temps, de 11,11% (1/9) après 48h jusqu'à 33,33% (3/9) après 7 jours (Figure 32, 33).

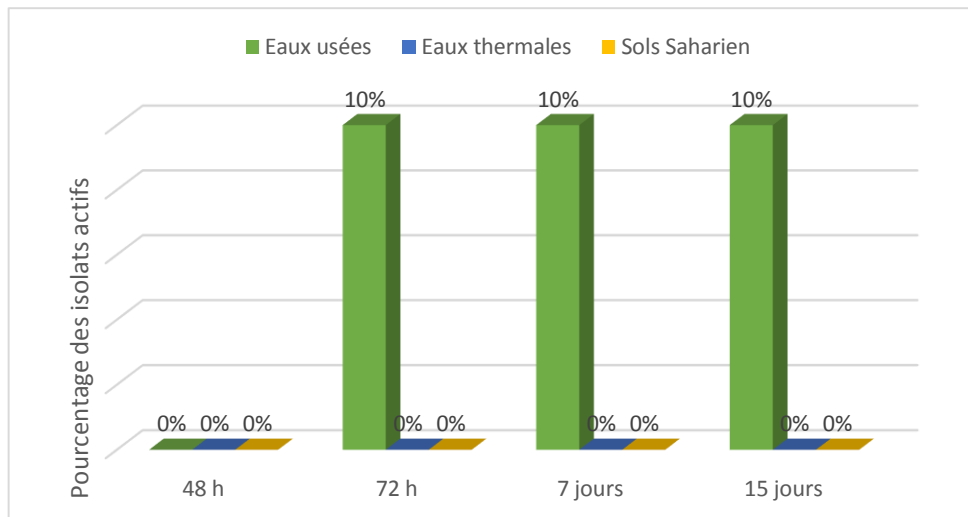


Figure 32 : Pourcentage des isolats actifs sur MM1 additionné de 0,2g/l de l’herbicide Granstar

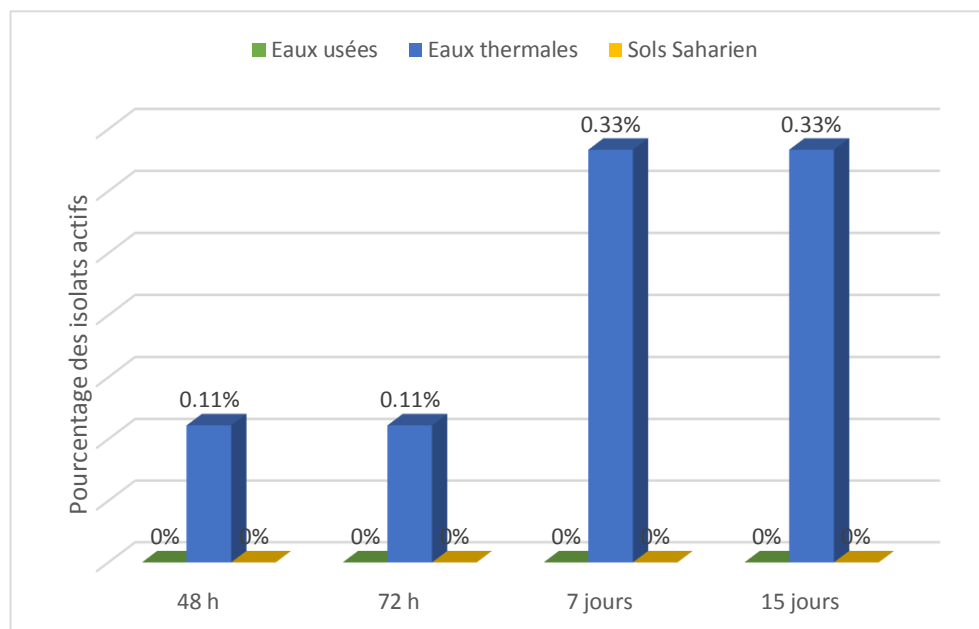


Figure 33 : Pourcentage des isolats actifs sur MM2 additionné de 0,2g/l de l’herbicide Granstar

On suppose que les isolats actifs sur les deux milieux minimums additionnés de 0,2g/lde Granstar sont probablement capables de l’utiliser comme seule source de carbone sur MM1 ou comme seule source d’azote sur MM2. Ou bien, il s’agit juste d’une bioaccumulation de l’herbicide, pour déterminer cet aptitude, une gamme de concentration (0,5g/l, 1g/l, 3g/l, 6g/l, 12g/l) a été appliquée sur les deux milieux pour tester la tolérance des isolats.

Les résultats de tolérance de différentes concentrations démontrent que les isolats : Ac sur MM1 et ETAT10, GA3, KSR sur MM2 ne tolèrent que des concentrations faibles, donc

ils avaient accumulé l'herbicide tribenuron methyl sans pouvoir le biodégrader (Tableau 31, 32).

Tableau 31 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Granstar dans milieu MM1

L'isolat actif sur MM1+0,2g/l de Granstar	Les concentrations de Granstar dans MM1				
	0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Isolat des eaux usées AC	+	+	-	-	-

Tableau 32 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Granstar dans milieu MM2

Les isolats actif sur MM2+0,2g/l de Granstar		Les concentrations de Granstar dans MM2				
		0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Des eaux thermales	ETAT10	+	+	-	-	-
	GA3	+	+	-	-	-
	KSR	+	+	-	-	-

On constate que les isolats testés (des eaux usées, des eaux thermales et du sol saharien) sont tous incapable de biodégrader le tribenuron methyl.

Wang *et al.*, (2011), indiquent que l'activité microbienne du sol pollué joue un rôle important dans l'élimination de l'herbicide tribenuron methyl, ils ont trouvé 26 souches performantes, notamment *Serratia sp.*

On suppose que nos isolats testés sont soit inadapté à l'utilisation de cet herbicide comme substrat, soit ils peuvent l'utiliser comme co-substrat et non comme seule source de carbone et d'azote. Des tests supplémentaires sont nécessaires afin de confirmer ces suppositions.

3.9. Cas de l'herbicide Glyphosate

Après 15 jours, aucun des isolats se développe sur milieu MM1 additionné de 0,2g/l de Glyphosate. Ce qui indique leurs inaptitudes de biodégrader cet herbicide en l'utilisant comme seule source de carbone, cependant. Sur milieu MM2 additionné de la même concentration, un isolat des eaux thermales se développes dès les premières 48h et après 7 jours. Le nombre des isolats actifs augment à 3/9 soit 33,33% (Figure 34).

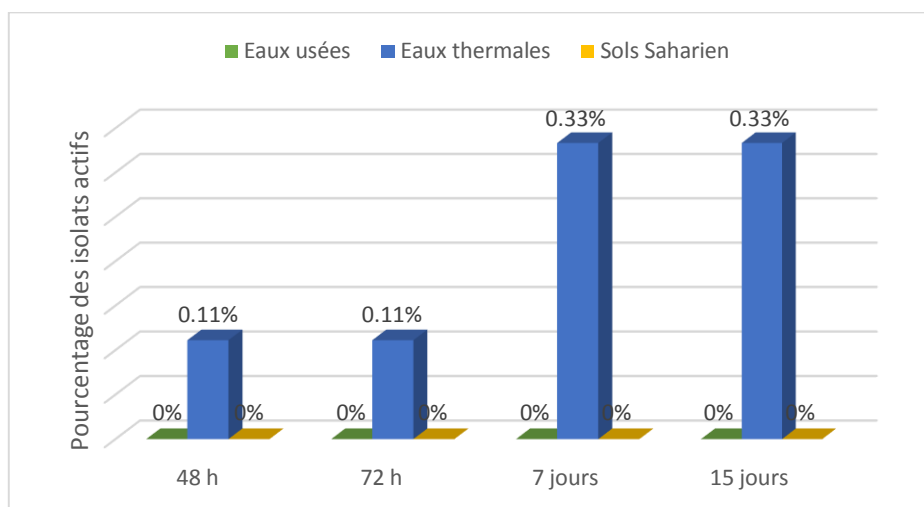


Figure 34 : Pourcentage des isolats actifs sur MM2 additionné de 0,2g/l de l’herbicide glyphosate

On suppose que les trois isolats des eaux thermales nommé ; ETAT10, GA3, KSR actifs sur MM2 + 0,2g/l de glyphosate, sont probablement apte à utiliser cet herbicide comme seule source d’azote ou bien il s’agit d’une bioaccumulation, afin de s’assurer de cette aptitude, une gamme de concentration (0,5g/l, 1g/l, 3g/l, 6g/l, 12g/l) de glyphosate a été appliquée sur le milieu MM2 pour tester la tolérance des isolats.

Les résultats de test de tolérance de différentes concentrations ont montré que les 3 isolats tolèrent tous les concentrations, donc ils sont aptes à biodégrader le glyphosate en l’utilisant comme seule source d’azote (Tableau 33).

Tableau 33 : les Résultats de tolérance de différentes concentrations du Glyphosate dans milieu MM2

Les isolats actifs sur (MM1+0,2g/l de glyphosate)		Les concentrations de Glyphosate dans MM2				
		0,5g/l	1 g/l	3 g/l	6 g/l	12 g/l
Des eaux thermales	ETAT10	+	+	-	-	-
	GA3	+	+	+	-	-
	KSR	+	+	+	+	+

D’après les résultats au-dessus, 33,33% des isolats des eaux thermales testés sont aptes à biodégrader le glyphosate en l’utilisant comme seule source d’azote, les isolats des eaux usées et du sol saharien sont tous inactifs.

Hocinat (2018) a trouvé 75% des isolats du sol agricole d'Ain M' Lila et 15% des isolats des boues actives d'Ibn Ziad sont performants dans la biodégradation du glyphosate, contrairement à nos isolats des eaux usées et de sol saharien qui sont tous dépourvus de cette aptitude métabolique. On présume que la biodégradation de glyphosate par les actinobactéries est une aptitude métabolique acquise par certains Isolats.

4. Pré identification des souches performantes

Les caractéristiques morphologiques (macroscopiques et microscopiques) sont utilisées pour l'identification présomptive des souches performantes.

Les critères de détermination que nous avons utilisés sont essentiellement ceux de la classification **Bergey's Manual of Systematic Bacteriologie, (1994)**.

4.1. Les caractères cultureux

Après ensemencement des isolats sur le milieu ISP2 et incubation à 28°C, les isolats des eaux usées forment des colonies au bout de 4 jours d'incubation, les isolats des eaux thermales sont moins vite et nécessitent 6 jours, cependant les isolats du sol saharien ne se développent qu'après 8 jours ou plus. L'observation des caractères cultureux des souches a été réalisée par l'examen de nombreux paramètres tels que : la couleur du mycélium de substrat (après 48h d'incubation), la couleur du mycélium aérien (après 15 jours d'incubation) et la production des pigments, ces caractères sont rassemblés dans le tableau 34 et figure 35.

Tableau 34 : Caractères cultureux des souches performantes

Les Souches performantes		Caractères cultureux				
		Couleur du mycélium de substrat	Couleur du mycélium aérien	Pigments	Aspect des colonies	Forme et contour des colonies
Isolats des eaux thermales	ETST4	Blanc	Beige	-	Sec peu incrusté	circulaire /régulier
	ETAT3	Blanc grisâtre	Blanc	+	Sec peu incrusté	circulaire/régulier
	GA3C	Blanc	Beige	-	poudreux peu incrusté	circulaire/régulier
	ETAT5	Blanc	Gris blanchâtre	+	Poudreuse peu incrusté	Circulaire et plat /régulier
	KSR	Blanc	Vert claire	-	Cotonneux bien incrusté	Circulaire élevé/Régulier
	GA3	Blanc	Vert foncé	-	Cotonneux bien incrusté	Circulaire élevé /régulier
	ETST8	Blanc	Vert claire	-	Cotonneux bien incrusté	Circulaire élevé/régulier
	ETAT10	Transparent	Vert foncé	-	sec peu incrusté	Circulaire/ régulier
	SEA1	Blanc	Marron	-	Sec bien incrusté	Circulaire et élevée/ régulier
Isolats des eaux usées	AC	Blanc	Gris foncé	-	Sec incrusté	Circulaire /régulier
	MY	Blanc	Blanc	-	Sec peu incrusté	Circulaire /régulier
	MK	Blanc	Gris clair	-	Sec peu incrusté	Circulaire /régulier
	MI	Blanc	Gris	-	Poudreuse bien incrusté	circulaire/irrégulier

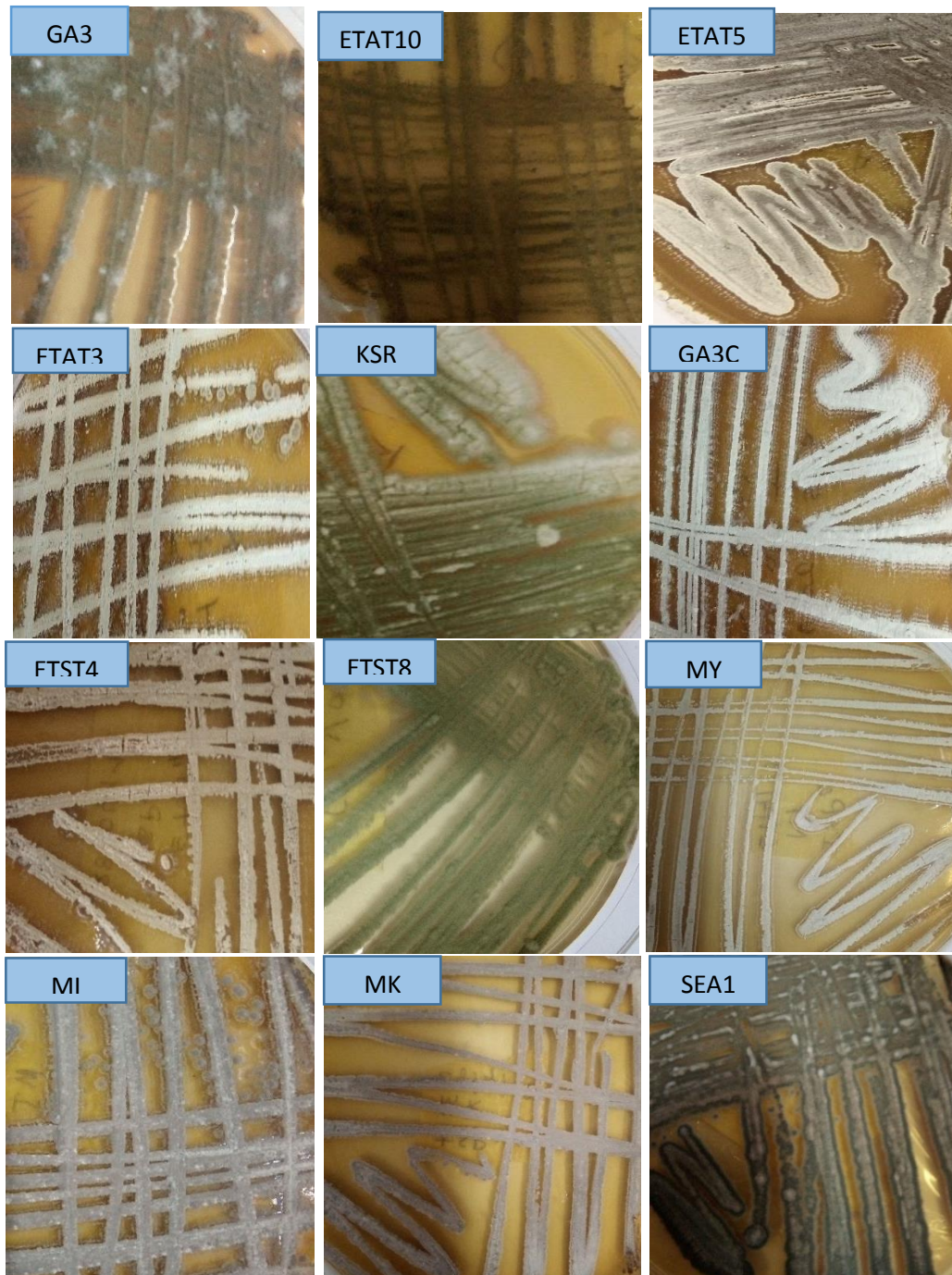


Figure 35 : Photographies présentant les différents aspects culturels des souches performants dans la biodégradation des pesticides

4.2. Identification microscopique

4-2-1-Coloration de Gram

L'observation microscopique après coloration de Gram a révélé que toutes les souches performantes pris à l'identification sont à Gram positif. Certains présentent un aspect

mycélien et d'autres un aspect de bacilles à Gram positif. Les résultats montrent aussi la présence de spores de différentes formes (Figure 36, 37).

4-2-2-Technique de culture sur lamelle

Après une période d'incubation (7 -14 jours), les lamelles sont retirées de la gélose et déposées sur des lames propres puis observées au microscope optique ($G \times 100$). Cette technique permet de caractériser et de rapprocher les actinomycètes à leurs genres par leurs aspects morphologiques du mycélium aérien et celui du substrat, les caractères morphologiques microscopiques de nos souches sont présentés dans la figure 38.

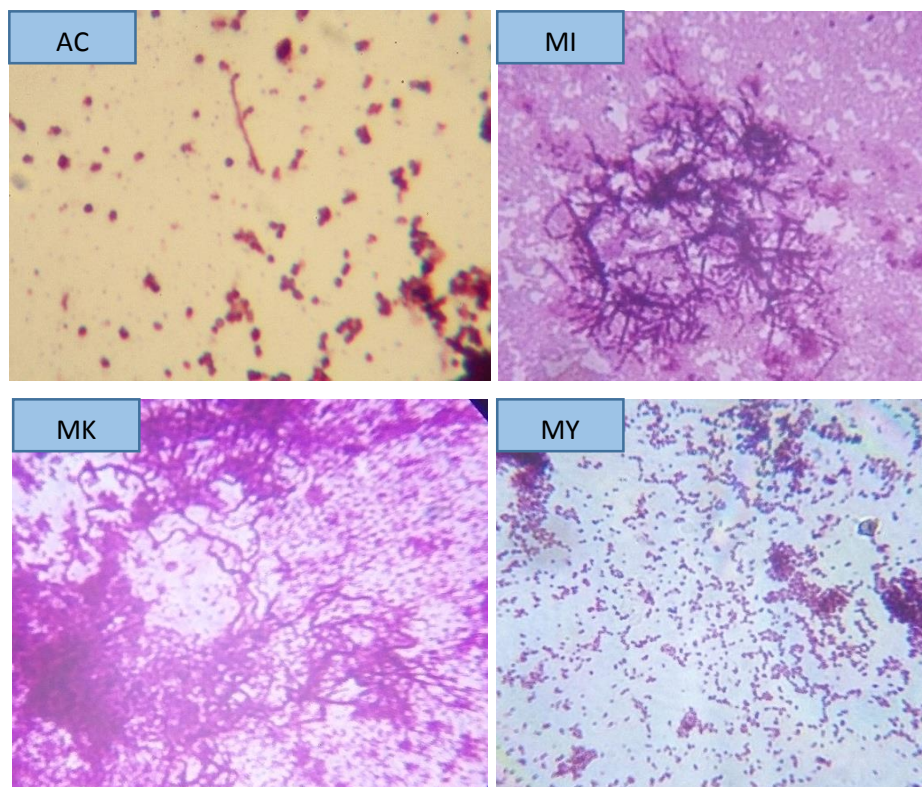


Figure 36 : observation microscopique de coloration de Gram des souches des eaux usées performantes dans la biodégradation des pesticides ($G \times 100$).

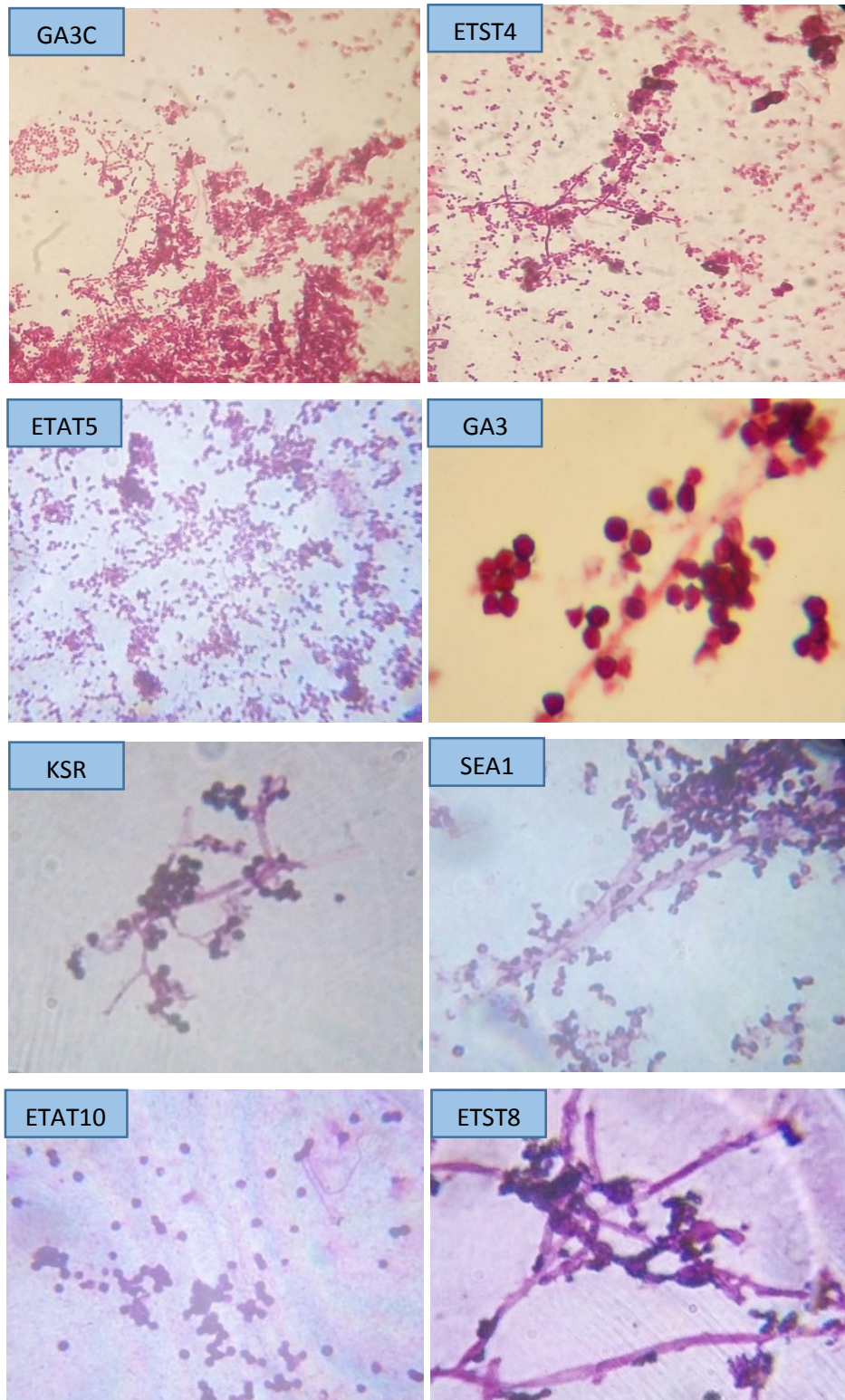


Figure 37 : observation microscopique de coloration de Gram des souches des eaux thermales performantes dans la biodégradation des pesticides (G×100).

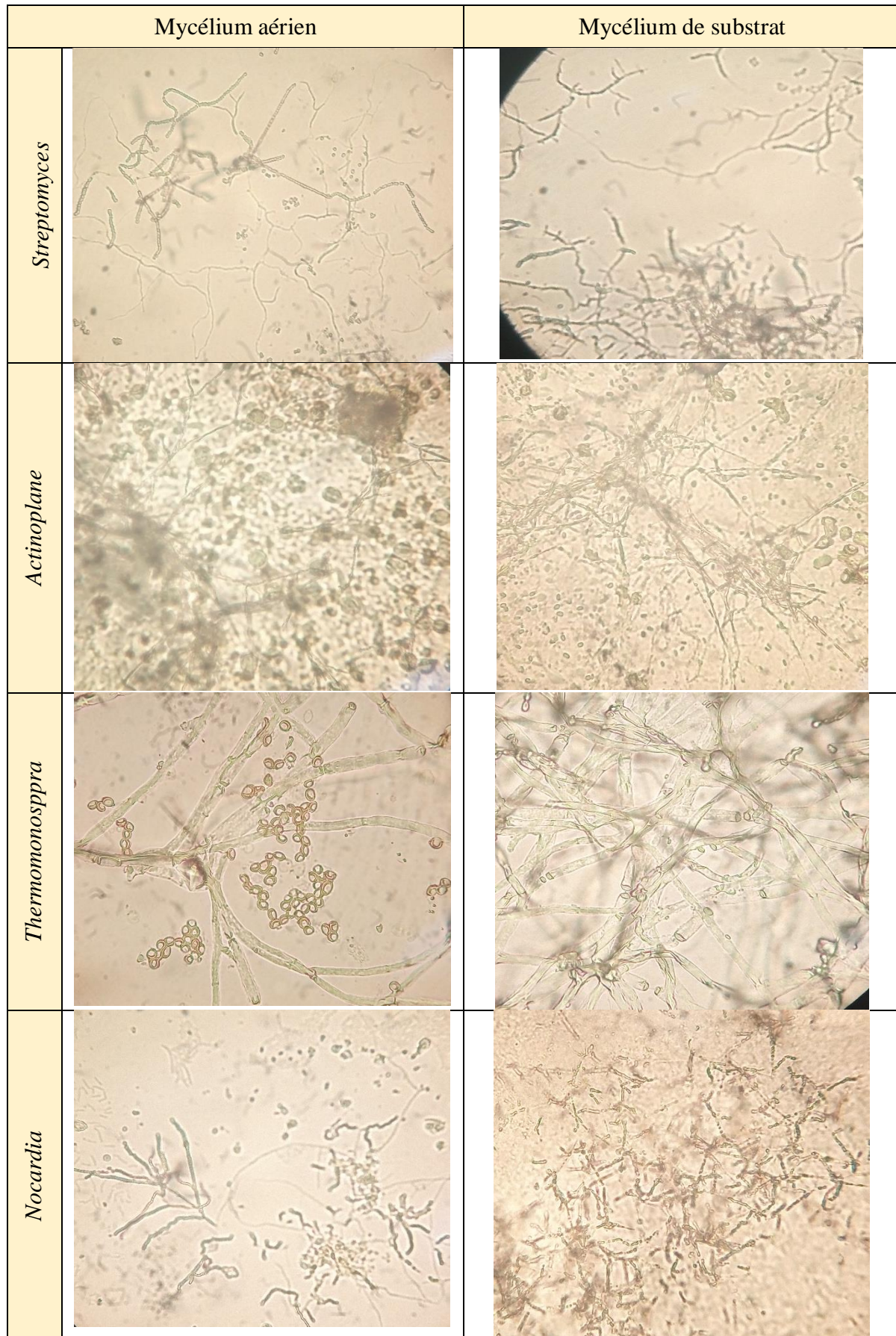


Figure 38 : Aspect microscopique et genres proches des souches performants dans la biodégradation des pesticides (G×100).

Selon l'observation microscopique, et les critères d'identification de **Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, (1994)** :

- 3/4 des souches des eaux usées et 5/9 des souches des eaux thermales présentent les caractéristiques suivantes: Les hyphes du mycélium végétatif sont fins, très ramifiés, non fragmentés, non sporulés. Le mycélium aérien est long, fin et très ramifié, il porte de longues chaînes de spores. Ils sont formés par fragmentation du mycélium aérien. Ces caractères permettent de rapprocher ces isolats au genre *Streptomyces*.
- 1 souche des eaux thermales présente un mycélium de substrat non fragmenté avec des structures sous forme de sporanges. Ces caractéristiques les rapprochent au genre *Actinoplanes*.
- 3 souches des eaux thermales forment des mycéliums de substrat / aériens ramifiés avec des spores isolées portées aux extrémités des sporophores courts provenant du mycélium aérien. Ce qui permet de les rapprocher au genre *Thermomonospora*.
- 1 souche des eaux usées présente un mycélium de substrat et un mycélium aérien fragmenté en éléments bacillaires de courte taille. Cette caractéristique permet de la rapprocher au genre *Nocardia*.
- La souche GA3 des eaux thermales qui arrive à dégrader le plus grand nombre des pesticides testés (5 pesticides), se rapproche au genre *Thermomonospora*.
- La souche KSR des eaux thermales qui est la seule souche capable d'utiliser le fongicide Tachigazole (hymexazole) comme seule source de carbone et d'azote, se rapproche au genre *Streptomyces*.

Les *Streptomyces*, les *Nocardia* sont des acteurs connus de la biodégradation des pesticides. Cependant, les résultats obtenus dans cette étude, montrent que d'autres agents bactériens appartenant aux actinobactéries, sont également de bons candidats à cette même biodégradation. Il s'agit de *Thermomonospora* et *Actinoplanes*. Ce résultat est unique, car aucune actinobactérie isolée à partir des eaux thermales et appartenant à ces deux genres, n'a été signalée pour sa capacité à dégrader ces pesticides. Ce résultat est très important car il montre que certaines actinobactéries thermophiles sont capables de biodégrader certains pesticides. Il serait intéressant de les tester dans les écosystèmes telluriques chauds, comme les sols désertiques, exploités par l'agriculture, comme c'est le cas en Algérie.

Conclusion

D'après une enquête réalisée auprès de la maison d'agriculture de la Wilaya de Constantine, dans la station de protection des plantes et dans la Coopératif des céréales et des légumes secs, nous avons émis un constat important. L'utilisation des pesticides à Constantine est anarchique et non contrôlée. C'est le secteur privé en majorité, qui gère cette distribution. La gamme de pesticide choisie dans notre travail, est aléatoire. Elle comprend certains herbicides, insecticides et fongicides commercialisés par la CCLS et surtout par le secteur privée.

Notre travail consiste à tester la biodégradation des pesticides choisis par des isolats d'actinobactéries provenant de différentes sources. Nous avons purifiés 10 isolats qui proviennent des eaux usées, 9 à partir des eaux thermales et 4 du sol saharien. Ces 23 isolats ont été testés pour leur aptitude à dégrader les pesticides sélectionnés en les utilisant comme seule source de carbone et d'azote. Ce test a été réalisé sur deux milieux minimums, celui de Vandermess. (1996) pour la source de carbone et celui de Bano et Mussarat. (2004), pour la source d'azote. Ces milieux ont été additionnés de 0,2g/L du pesticide. Les isolats actifs sont ensuite testés pour leur tolérance à différentes concentrations afin d'assurer leur performance vis-à-vis de plusieurs concentrations de pesticides. L'ensemble des résultats obtenus montrent que :

- Le fongicide Tachigazole est le plus dégradé avec des pourcentages de 55,55% par les isolats des eaux thermales. Seulement 20% des isolats des eaux usées sont capables de l'utiliser comme seule source de carbone.
- L'herbicide Prowl aqua est dégradé comme seule source de carbone par 33,33% des isolats des eaux thermalles et 40% des isolats des eaux usées.
- L'insecticide Rustile est dégradé par 33,33% des isolats des eaux thermales et 20% des isolats des eaux usées.
- L'herbicide glyphosate est utilisé uniquement comme source d'azote par 33,33% des isolats des eaux thermales.
- L'insecticide Karateka est utilisé seulement comme source d'azote par 22,22% des isolats des eaux thermales.

- Le fongicide Teldor ® est dégradé uniquement comme source de carbone par 10% des isolats des eaux usées.
- L'insecticide Deltamight 2,5 EC et les herbicides Zoom et Granstar 75DF, sont considérés toxiques pour les actinobactéries à des concentrations supérieures à 0,2 g/l.

Ces résultats donnent un aperçu général sur le potentiel de ces isolats à dégrader les pesticides. Dans l'ensemble, 56,52% des isolats sont performants, les meilleurs candidats à la biodégradation de ces pesticides, sont ceux qui proviennent des eaux thermales. Puisque 100% de ces isolats sont aptes à dégrader au moins un pesticide, en l'utilisant soit comme seule source de carbone, soit comme seule source d'azote. Pour les isolats qui proviennent des eaux usées, 40% sont performants dans la biodégradation de ces pesticides. Les isolats du sol saharien sont trouvés d'après cette étude, inadaptés à cette biodégradation.

En conclusion, les isolats performants dans la biodégradation des pesticides sélectionnés appartiennent au genre *Streptomyces*. Les *Thermomonospora* isolés à partir des eaux thermales sont aussi bien capables de biodégrader ces pesticides. Les genres *Actinoplanes* et *Nocardia* sont également aptes à dégrader beaucoup de ces pesticides. Nous enregistrons également, que le meilleur isolat en terme de nombre de pesticide utilisé, est celui qui provient des eaux thermale. Il a été rapproché par les techniques morphologiques au genre *thermomonospora*.

Les résultats obtenus se sont révélés prometteurs et encouragent la poursuite des recherches dans ce thème afin de :

- Confirmer l'identification des souches performantes notamment par la chimiotaxonomie et pousser l'identification jusqu'à au niveau de l'espèce par les techniques de biologie moléculaire.
- Pousser la recherche dans l'aptitude des souches des eaux thermales à dégrader les pesticides.
- Etudier la cinétique de dégradation des pesticides par ces souches soit seules ou en consortium.
- Utiliser les souches performantes dans la bioremédiation (dépollution biologique des sols et des eaux contaminées par ces pesticides).

Références bibliographiques

- **Appert J., Deuse J.(1988).** Insectes nuisibles aux cultures vivrières et maraichères. Paris : Maisonnneuve et Larose.pp _ Le Technicien d'agriculture tropicale.
- **Abbas B.H. (2006).**A Biological and Studies of Actinomycetes Isolated from Kuwait saline soil-Kuwait. *J App Sci Res.*2,809-815.
- **Abbate C., Borzi D., Caboni P., Baglieri A., Gennari M. (2007).**Behavior of fenhexamid in soil and water. *Journal of Environmental Science and Health, Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 42(7), 843-849.
- **Achoub A., Saadoune, I. (2017).** Biodégradation des pesticides et recherche d'actinobactéries d'origine Saharienne présentant ces aptitudes métaboliques. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master : *Microbiologie Générale et Biologie moléculaire des Microorganismes*. Constantine : Université des Frères Mentouri.72p.
- **ACTA. (2003).** Pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement. ACTA Ed., Paris, 976p.
- **Alasdair, M. C., G. o. Christian, and M. Alexander. (1978).** Phosphoruscontaining pesticide breakdown products: quantitative utilization as phosphorus sources by bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 36:668-672.
- **Alcama I.E. (1998).** Theory and Problems of Microbiology. Schaum's Outline Series., Inc. McGraw-Hill Companies, New York.
- **Amalric L., Baran N., Jeannot R., Martin J.C & Mouvet C. 2003.** Les mécanismes de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les nappes et les méthodes d'analyse des produits phytosanitaires dans les eaux. Etude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM-2001-EAU-265.France. 116 p.
- **Amanullah A., Justen P., Daveis A.,Nienow A.W.,Thomas C.R.,(2000).** Agitation induced mycelia fragmentation of *Aspergillus oryzae* and *peniciliumchrysogenum*. *Biochem. Eng. J.* 5(2), 109-114.
- **Anonyme, (2006).** Série de manuels de formation sur l'utilisation des pesticides au Canada Atlantique. Base l'applicateur. Vol. 1 : 268 p.
- **Anurag P., Anupam S., Majumdar S. K. (2005).** Utilization of Carbon and Nitrogen Sources by *Streptomyces kanamyceticus* M27 for the Production of an Anti-Bacterial Antibiotic. *African Journal of Biotechnology* ,4(9), 909–910.
- **Aouar L. (2006).**Mise en évidence des actinomycètes aérobies pathogènes impliqués dans les infections traitées au service des maladies infectieuses du CHU de

- Constantine. Etude des caractéristiques culturelles des souches isolées et purifiées. Diplôme de Magister, Université Mentouri Constantine.
- **Aouar L. (2012).** Isolement et identification des actinomycètes antagonistes des microorganismes phytopathogènes. Thèse de doctorat : Biochimie et Microbiologie Appliquées. Constantine : Université Mentouri. 218p.
 - **Atkins E.L., Kellum D., Atkins K.W. (1981).** Reducing pesticide hazards to honey bees, in Mortality prediction techniques and integrated management strategies. Leaflet 2883, Univ. of California, 23 p
 - **Atlas E.L., Schauffler S. (1990).** Concentration and variation of trace organic compounds in the north pacific atmosphere. In D.A. KURTZ: *Long range transport of pesticides*. Lewis publishers, Chelsea, Michigan, USA, 161-183.
 - **Aubertot J.N., J.M. Barbier, A. Carpentier, J.J. Gril, L. Guichard, P. Lucas, S. Savary, I. Savini, M. Voltz . (2005).** *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux.* Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref (France).
 - **Audus L.J.(1949).**the biological detoxification of hormone herbicides in soil :Plant and Soil ,2, 31-36.
 - **Audus L.J.(1951).**the biological detoxification of hormone herbicides in soil :Plant and Soil ,3(2), 170-192.
 - **Avril J.L., et al. (1992).** Bactériologie clinique.2 éd. Paris : ellipses. Pp. 511.
 - **Ayad- Mokhtari, N. (2012).** Identification et dosage des Pesticides dans l'Agriculture et les problèmes d'Environnement liés. Mémoire de Magister : Chimie Organique (Environnement). Université d'Oran. 70p.
 - **Badji B.,Zitouni. A., Mathieu. F., Lebrihi. A., and Sabaou. S. (2006).** Antimicrobial compound produced by *Actinomadura* sp. AC104 isolated from an Algerian Saharan soil. *Can. J. Microbiol*, **52**, 373–382.
 - **Badji B. (2006).** Etude de la taxonomie et des antibiotiques antifongiques de trois souches d'actinomycètes d'origine saharienne appartenant aux genres *Actinomadura* et *Nonomurea*. Thèse de Doctorat. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. p 226.
 - **Baldacci E. (1962).** Tendances actuelles de la classification des actinomycètes. *Ann Soc.*

- **Ball A.S., Betts W. B and Mc Carthy A.J. (1989).** Degradation of lignin-Related compounds by actinomycetes. *Appl. Environ. Microbiol.* 55 (6), 1642-1644.
- **Bano N., Musarrat J. (2004).** Characterization of a novel carbofuran degrading *Pseudomonas* sp. with collateral biocontrol and plant growth promoting potential. *FEMS Microbiol Lett.* 231, 13-17.
- **Barka EA, Vatsa P, Sanchez L, Gaveau-Vaillant N, Jacquard C, Meier-Kolthoff JP, Klenk HP, Clément C, Ouhdouch Y, van Wezel GP.(2016).** Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. *Microbiol Mol Biol Rev.* 80(1):1-43.
- **Barreto, T, R. & al.(2008).** Population densities and genetic diversity of actinomycetes associated to the rhizosphere of theobroma cacao. *Brazilian Journal of Microbiology.* 39(3). Pp. 464-465.
- **Barriuso E., Koskinen W.C., Sadowsky M.J. - 2004.** Solvent extraction characterization of bioavailability of atrazine residues in soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 6552-6556.
- **Batsch D. (2011).** L'impact des pesticides sur la santé humaine. Thèse pour obtenir le Diplôme de Docteur d'état en Pharmacie : faculté de pharmacie. Université Henri Poincaré - Nancy 1.
- **Becker B., Lechevalier M.P. and Lechevalier H.A. (1964).** Rapid differentiation between *Nocardia* and *Streptomyces* by paper chromatography of whole-cell hydrolysates. *Appl. Microbiol.* 12, 421-423.
- **Belyagoubi L. (2014).** Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens. Thèse de doctorat : Substances Naturelles, Activités Biologiques et Synthèse. Tlemcen : Université Aboubakr Belkaïd. 146 P.
- **Benamira M., Abriche A. (2018).** Etude de l'activité antibactérienne d'une collection d'actinomycètes Thermophiles et étude prospective de l'antibiose de certains aliments commercialisés en Algérie. Mémoire de Master : Ecologie Microbienne. Constantine : Université des Frères Mentouri Constantine. 67p.
- **Benimeli C.S., Castro G.R., Chaile A.P. and Amoroso M.J. (2007).** Lindane uptake and degradation by aquatic *Streptomyces* sp. strain M7. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 59 (2), 148-155.

- **Benslama O., et Boulahrouf A., (2013).** Isolation and characterization of glyphosate-degrading bacteria from different soils of Algeria, *Afr. J. Microbiol. Res.* 7(49), 5587-5595.
- **Bérdy J. (2005).** Bioactive microbial metabolites. *J. Antibiot.* 58(1), 1-26.
- **Berry, D. F., A. J. Francis and J. M. Bollag. (1987).** Microbial metabolism of homocyclic and heterocyclic aromatic compounds under anaerobic conditions. *Microbiol. Rev.* 51 :43-59.
- **Bertrand J.C., Caumette P., Lebaron Ph., Matheron R., Normand Ph.(2011).** Ecologie microbienne : Microbiologie des milieux naturels et antropisés. Paris. P7-734 -736.
- **Beven K., Germann P. (1982).** Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research*, 18, 1311- 1325.
- **Boesten J.J.T.I. (1989).** Pesticide contamination of groundwater in Western Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 26, 369-389.
- **Bogatzevska N. (2002).** Characteristics of soil actinomycetes from Antarctica. *J of Culture Collections.* 3 (1), 3-14.
- **Boschin G., A. D'Agostina, A. Arnoldi, E. Marotta, E. Zanardini, M. Negri, A. Valle, et C. Sorlini. (2003).** Biodegradation of Chlorsulfuron and Metsulfuron-Methyl by *Aspergillus Niger* in Laboratory Conditions. *J. Environ. Sci. Health*, 38(6), 737-746.
- **Boucheffa K. (2011).** Criblage de souches d'actinomycètes productrices d'antifongiques non-polyéniques : Identification des souches productrices et Essai de caractérisation des antifongiques produits. Mémoire de magister : En microbiologie appliquée aux substances antimicrobiennes. Bejaia : Université Abderrahmane Mira. 76p.
- **Boudemagh A. (2007).** Isolement à partir des sols sahariens, de bactéries actinocétales productrices de molécules antifongiques. Identification moléculaire de souches actives. Thèse de doctorat en Microbiologie Appliquée. Université Mentouri Constantine. 120 p.
- **Boudjella H. (2007).** Etude taxonomiques et des propriétés antagonistes des *Streptosporangium* des sols Sahariens et caractérisation des principaux antibiotiques sécréter par trois souches. Thèse de Doctorat d'Etat : Alger, Algérie.

- **Boulahrouf Kh. (2016).** Extraction, purification et caractérisation des lectines produites par des souches pures d'actinomycètes isolés à partir de la rhizosphère de *Lactuca sativa*, *Vicia fabae*, *Prunus domestica* et *Pinus halepensis*. Tests biologiques des lectines caractérisées. Thèse de doctorat : Biotechnologies microbiennes, Génomes et Environnement. Constantine : Université des Frères Mentouri. 72 p.
- **Boussalah F., Merabti Z. (2012).** Sélection des souches d'actinomycètes productrices d'agents antimicrobiens. Mémoire d'ingénieur d'état : Génie biologique. Bejaia : Université Abderrahmane Mira. 54p.
- **Bowden G.H. and Hardie J.M. (1973).** Commensal and Pathogenic Actinomyces species in man, in « The Actinomycetales » (SYKES G. and F.A. SKINNER). –Acad. Press London. 277-299.
- **Breton A., Theilleux J., Sanglier J.J., Viobis G. (1989).** Organismes producteurs: biologie, C taxonomie et écologie. In “Biotechnologie des Antibiotiques”. Larpent J.P. et Sanglier J.J., Masson : Paris. Pp: 33-70.
- **Briand O., Seux R., Millet M., Clement M., (2002).** Influence de la pluviométrie sur la contamination de l'atmosphère et des eaux de pluie par les pesticides. Revue des sciences. Ed : Lavoisier, 15 (4) ,767-787P.
- **bulletin de l'Organisation Mondiale de la Santé volume 86 mars 2008, 161-240**
- **Byungtae Lee., Pometto A.L., Fratzke A. and Bailey T.B. (1991).** Biodegradation of degradable plastic polyethylene by *Phanerochaete* and *Streptomyces* species. *Applied and environmental microbiology*, 57, 678-685.
- **Calvet R., Barriuso E., Benoit B., Bedos C., Charnay K., et Coquet Y., (2005).** Les pesticides dans le sol: Conséquences agronomiques et environnementales, Paris: Editions France Agricoles, P: P731-738.
- **Carson R.L.(1962).** Silent spring. Riverside Press, Cambridge, MA, USA COPE O.B., 1965. Agricultural chemicals and freshwater ecological systems. In C. LEISTRA.
- **Castillo M.A., Felis N., Aragón P., Cuesta G. and Sabater C. (2006).** Biodegradation of the herbicide diuron by Streptomyces isolated from soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 58 (3-4), 196-202.
- **Cellier P. (2004).** « Les sources agricoles de polluants de l'air », in Charpin D. L'air et la santé. Flammarion, Coll. Médecine-Sciences, 305p.

- **Chater K. (1999).** David Hopwood and the emergence of *Streptomyces* genetics. *Int Microbiol.* 2(2), 61–68.
- **Chea E.H. (1975).** Actinomycètes aérobies des eaux douces. Thèse de Doctorat. Lille : Université des sciences et techniques.137p.
- **Choulet F. (2006).** Evolution du génome des *Streptomyces* : transfert horizontal et variabilité des extrémités chromosomiques. Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy 1, pp 210.
- **Colin F., Puech C., de Marsily G., (2000).** Relation between triazine flux, catchment topography and distance between maize fields and the drainage network. *Journal of hydrology*, 236, 139-152.
- **Collins M. D., Pirouz T., Goodfellow M. & Minnikin D. E. (1977).** Distribution of menaquinones in actinomycetes and corynebacteria. *J Gen Microbiol.* 100, 221-230.
- **Comité de la prévention et de la précaution (CPP). (2002).** Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires. Ministère de l'écologie et du développement durable, 47p. Disponible sur http://www.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=1301 consulté le 20/02/2019
- **Comité sécurité Alimentaire d'Aprifel (2004):** pesticides, risques et sécurité alimentaire, http://www.aprifel.com/userfiles/file/pesticides_risques_securite_a.pdf, consulté le 22/02/2019
- **Commission Européenne, (2008).** Nouvelles règles concernant les résidus de pesticides dans les denrées alimentaires. Direction de la Santé & des Consommateurs. 4 p. ISBN:978-92-79-09516-0.[http://ec.europa.eu/dgs/health_consumer/index_fr.htm]
- **Coombs J.T., and Franco. (2003).** Isolation and identification of actinobactéria from surface sterilised wheat roots. *Ame. Soc. Microbiol.* 69 (9), 5603-5608.
- **Cooper K. (1991).** Effects of pesticides on wildlife. In W.J. HAYES & R.R. LAWS : *Handbook of Pesticide Toxicology.* Academic Press, San Diego, CA, USA, 463-496.
- **Corke C.T. & Thompson F.T.R. (1970),** Effects of some phenylamide herbicides and degradation products on soil nitrification. *Canadian Journal of Microbiology*, 16, 567-571
- **Cortet J., Gillon D., Joffre R., Ourcival J.M. & Poinot Balaguer N. (2002).** Effects of pesticides on organic matter recycling and micro arthropods in a maize field: use and discussion of the litterbag methodology. *European Journal of Soil Biology*, 38, 261-265.

- **Cycon M., Zmijowska A., Piotrowska-Seget Z. (2014).** Enhancement of deltamethrin degradation by soil bioaugmentation with two different strains of *Serratia marcescens*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(5), 1305–1316.
- **Davet, P., (1996).** Vie microbienne du sol et production végétal. INRA. (ed.), Paris.
- **De Mot René et De Schrijver A. (1999).** Degradation of Pesticides by Actinomycetes, 25 (2), 85-119.
- **De Schrijver A , De Mot R.(1999).** Degradation of pesticides by actinomycetes. National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine, 25(2), 85-119.
- **Delemotte B., Foulhoux P., Nguyen S.N., Fages J ., et Portos J.L. (1987).** le risque de pesticides en agriculture. *Arch. Mal. Prof.*, 467(3), 48-75.
- **Dietz A., Mathews J. (1971).** Classification of Streptomyces spore surfaces into five groups. *Appl Microbiol.* 21(3), 527–33.
- **Djaballah, C. (2010).** Biodiversité des actinomycètes halophiles et halotolérants isolés de la sebkha de Ain M'lila. Mémoire de Magister en Microbiologie. Université Mentouri Constantine. 73 p
- **Djebbah F. Z. (2016).** Isolement des microorganismes (actinomycètes et moisissures) producteurs de substances antimicrobiennes à partir du sol d'une grotte dans la région de Tlemcen (Tagma). Mémoire de Master. Microbiologie. Université de Tlemcen, 83p.
- **Dommergues Y., Mangenot F. (1970).** ecologie microbienne du sol .Masson et Cie, paris, pp9-72(796).
- **Donadio S., Sosio M., Lancini G. (2002).** Impact of the first Streptomyces genome sequence on the discovery and production of bioactive substances. *Appl Microbiol Biotechnol.* 60(4), 377-80.
- **DPVCT (Direction de Protection des Végétaux et du Contrôle Technique. (2016).** Index des produits phytosanitaires à usage agricole. Alger, 204 p.
- **Edelvio de Barros G., Adriana U.S., Rita de Cássia Mendonça de Miranda., Maria de Fátima Vieira de Queiroz Sousa. and Nei Pereira Jr. (2009).** Biodegradation of Stored jetFuel by a *Nocardia sp.* Isolated from Contaminated Soil *Biology and technology*, 52 (5), 1279-1284.

- **Ei-Shafei H.A., Abd el-Nassser N.H., Kansoh A.L. and Ali A.M. (1998).** Biodegradation of disposable polyethylene by fungi and *Streptomyces* species. *polymer degradation and stability*, 62, 361-365.
- **El Mrabet K., Charlet P. (2008).** Les pesticides. Laboratoire National de D'Essai, LNE, Janvier 2008. France.
- **El rabet, K., Charlet, P. & Lalère, B. (2004).** Les pesticides. Laboratoire National de métrologie et d'Essais. Paris. 15 p.
- **El-Mehalawy, A. & al. (2004).** Influence of Maize Root Colonization by the Rhizosphere Actinomycetes and Yeast Fungi on Plant Growth and on the Biological Control of Late Wilt Disease. *International journal of agriculture and biology*. 6(4), 599–605.
- **Elwan S.H., Dab A. and Al-Gounaim Y. (1985).** Ecology of the Streptomyces flora in the desert soil of Kuwait. *Syst. Appl. Microbiol.* 6, 99-104.
- **Emo C. and Roberto S. (2003).** Biodegradable polymers and plastics. Kluwer Academic/ Plenum Publishers. New York. 395p.
- **Eto, M. (1974).** «Chemical reactions »; /n organophosphorus Pesticides: Organic and Biological Chemistry; CRC Press inc: Cleveland, Ohio, Chapter 111,57-121.
- **Eunice J.A. and Prosser J. I. (1983).** Mycelial growth and branching of *streptomyces coelicolor*. A3 (2) on solid medium. *J. gen. Microbial.* 129, 2029-2036.
- **FAO. L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1986.**
- **Freemark K. (1995).** Assessing effects of agriculture on terrestrial wildlife: developing a hierarchical approach for the US EPA. *Landscape and Urban Planning*, 31, 99-115
- **Gagaoua, Y.,Ouali F.(2012).** Suivi de la variabilité de l'utilisation des pesticides dans le bassin versant de la Soummam. mémoire de Master : En Environnement et Sécurité Alimentaire. Bejaïa : Université A. Mira. 46p.
- **Garrity G.M., Bell J.A. and Lilburn T.G. (2004).** Taxonomic Outline of the prokaryotes. In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Second Edition. Springer-Verlag. New York.
- **Garrity G.M., Lilburn T.G., Cole J.R., Harrison S.H., Euzéby J.,and Tindall B.J. (2007).** *Bergey's Manual. In: Part 10: Taxonomic Outline of the Bacteria and Archeae.* Coyright, Michigan State University Board of Trustees.

- **Géraldine Grébil, Sandra Novak, Corinne Perrin-Ganier, Michel Schiavon. (2001).** La dissipation des produits phytosanitaires appliqués au sol. Ingénieries N° Spécial Phytosanitaires.31-44.
- **Gerber H.R., Anderson J.P.E., Bugel-Mogensen B., Castle D., Domsch K.H., Malkomes H.-P., Arnold D.J., Van Dewerf H., Verbeken R., Vonk J.W. (1989).** Revision of recommended laboratory tests for assessing side-effects of pesticides on soil microflora. 4th Int. Workshop, Basle, Bundes for schungsanstalt, Braunschweig.
- **Getha K., Vikineswary S., Wong W.H., Seki T., Ward A., Goodfellow M. (2005).** Evaluation of *Streptomyces* sp. strain g10 for suppression of Fusarium wilt and rhizosphere colonization in pot-grown banana plantlets. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 32, 24-32.
- **Goodfellow, M., Williams, S.T. (1983).** Ecology of actinomycetes. Ann Rev Microbiol.37, 189-216.
- **Gottlieb D. (1973).** General consideration and implication of the Actinomycetales. In: Actinomycetales characteristics and practical importance. Edited by G. Sykes and F.A. Skinner. Academic Press, London, New York.
- **Habibeche L. (2013).** Isolement et sélection de souches d'actinomycètes productrices d'antibiotiques. Mémoire de Master : biotechnologie Microbienne. Bejaia : Université Abderrahmane Mira. 40 p.
- **Hacene H. (1986).** Détermination des actinomycetes producteurs d'antibiotiques isolés du sol de trois palmeraies du sud-ouest Algérien. Thèse de doctorat : Microbiologie des sols. Alger : Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene.91p.
- **Hammadi R. (2018).** Comment l'Algérie peut lutter contre l'utilisation excessive des pesticides dans l'agriculture.TSA-Algérie [en ligne] (page consultée le 13/03/2019) <https://www.tsa-algerie.com/comment-lalgerie-peut-lutter-contre-lutilisation-excessive-des-pesticides-dans-lagriculture/>
- **Haroune N., Combourieu B., Besse P., Sancelme M., Kloepfer A., Reemtsma T., De Wever H. and Delort A.M. (2004).** Metabolism of 2-mercaptobenzothiazole by *Rhodococcus rhodochrous*. Appl Environ Microbiol. 70, 6315-6319.
- **Hasegawa T., Lechevalier M.P. and Lechevalier H.A. (1978).** New genus of the Actinomycetales: *Actinosynnema* gen. nov. Int. J. Syst. Bacteriol. 28(2), 304-310.

- **Haslay C., Leclerc H. (1993).** Microbiologie des eaux d'alimentation. Lavoisier TEC & DOC. France.
- **Hayo M. G. van der Werf. (1997).** évaluer l'impact des pesticides sur l'environnement. Courrier de l'environnement de l'INRA n°31. P 06.
- **Hocinat A. et Boudemagh A. (2016).** Biodegradation of Commercial Ortiva Fungicide by Isolated Actinomycetes from the Activated Sludge. *Desalination and Water Treatment*. 1-7. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1022799>.
- **Hocinat A. et Boudemagh A. (2016).** Biodegradation of Commercial Ortiva Fungicide by Isolated Actinomycetes from the Activated Sludge. *Desalination and Water Treatment*. 1-7. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1022799>.
- **Hocinat, A.(2018).** Biodégradation de quelques composés organiques volatils et certains pesticides par des actinomycètes provenant d'un sol agricole et de boues activées. Thèse Présentée pour l'obtention Du Diplôme de Doctorat de 3ème cycle En Biotechnologies Microbiennes, Génomes et Environnement. Constantine: Université des Frères Mentouri .148p.
- **Holt J.G., Krieg N.R., Sneath P.H.A., Staley J. et Williams S.T.(1994).** Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. Williams & Wilkins, USA: 611-703.
- **Holt, J., N. Krieg, N. Sneath, J. Staley and S. Williams.(1994).** Bergey's manual of determinative bacteriology. Ninth Edition. William and Wilkins Editors, Baltimore. Maryland, USA. 787 p.
- **Hopwood D.A. (2003).** Streptomyces genes: from Waksman to Sanger. *J Ind Microbiol Biotechnol*, 30(8), 468-471.
- **Hopwood DA, Malpartida F, Kieser HM, Ikeda H, Duncan J, Fujii I, Rudd BA, Floss HG, Omura S.(1985).** Production of 'hybrid' antibiotics by genetic engineering. *Nature*. 314(6012):642–644. [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
- **Hopwood, D.A. (1973).** Genetics of the Actinomycetales. *Soc Appl Bacteriol Symp Ser.* 2, 13153.
- **Isenring R. (2010).** *Les Pesticides et La Perte de La Biodiversité. Pesticide Action Network Europe.*
- **Jayabarath J., Asma Musfira S., Giridhar R., Shyam sundar., Arulmurugan R. (2010).** Biodegradation of Carbofuran Pesticide by Saline Soil Actinomycetes. *International Journal of Biotechnology and Biochemistry*, 6 (2), 187-192.

- **Jerome P.J., James T.S., et Stephen Lory. (2004).** Microbiologie, Cours et questions de révision. Ed: Dunod. Paris.
- **Jirasripongpun. K. (2002).** The characterization of oil-degrading microorganisms from lubricating oil contaminated (scale) soil. *Applied Microbiology*. 35 (4), 296–300.
- **Juc L.(2008).** Etude des risques liés à l'utilisation des pesticides organochlores et impact sur l'environnement et la santé humaine. Thèse de doctorat : Planète et Univers [physics] / Sciences de la Terre. P42.
- **Kalakoutsii L. V. and Agre N. S. (1976).** Comparative aspects of development and differentiation in actinomycetes. *Bacteriol. Rev.* 40(2), 469-524.
- **Kaufmann k., (2004).** Assessment of microbial community changes and limiting factors during bioremediation of hydrocarbon-polluted soil with new miniaturized
- **Keulen G.V., Jonkers H.M., Cloesson D.L.D., Woston H.A.B. (2003).** Differentiation and anaerobiosis in standing liquid cultures of *Streptomyces coelicolor*. *J Bacteriol.* 185 (4), 1455-1458.
- **Khedam Bendjal,N.(2012).** Enquête sur la gestion des pesticides en Algérie et recherche d'une méthode de lutte alternative contre *Meloidogyne incognita* (Nematoda : Meloidogynidae). Mémoire en vue d'obtention du Diplôme de Magister en science agronomique : Ecologie des communautés biologiques. Alger : Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach. 78p.
- **Kitouni M. (2007).** Isolement de bactéries actinomycétales productrices d'antibiotiques à partir d'écosystème extrême. Identification moléculaire des souches actives et caractérisation préliminaire des substances élaborées. Thèse de doctorat d'état en Microbiologie appliquée. Université des frères Mentouri Constantine. P: 14-15-16-23.
- **Kočárek M., Artikov H., Voříšek K., Borůvka L. (2016).** Pendimethalin degradation in soil and its interaction with soil microorganisms. *Soil & Water Res.*, 11, 213–219.
- **Konig C., D. Eulberg J. Groning S. Lakner V. Seibert S.R. Kaschabek et M. Schlomann. (2004).** « A Linear Megaplasmid, P1CP, Carrying the Genes for Chlorocatechol Catabolism of *Rhodococcus Opacus* 1CP ». *Microbiology*. 150 : 3075–3087.
- **Konig, C., D. Eulberg, J. Groning, S. Lakner, V. Seibert, S.R. Kaschabek, et M. Schlomann. (2004).** « A Linear Megaplasmid, P1CP, Carrying the Genes for

- Chlorocatechol Catabolism of *Rhodococcus Opacus* 1CP ». *Microbiology*. 150 : 3075–3087.
- **Kunc F., Tichy P. & Vancura V. (1985)**. 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in the soil: mineralization and changes in the counts of its bacterial decomposers. *In* Comportement et effets secondaires des pesticides dans le sol. Les Colloques de l'INRA n°31. INRA publications, Paris.
 - **Labeda D.P. and Kroppenstedt R.M. (2000)**. Phylogenetic analysis of *Saccharothrix* and related taxa: proposal for *Actinozynnzmataceae* fam. Nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **50**, 331-336.
 - **Lacey J. (1973)**. Actinomycetes in soils, composts and fodders. *Soc. Appl. Bacteriol. Symp. Ser.* **2**, 231-51.
 - **Lacey J. (1997)**. Actinomycetes in composts. *Ann. Agr. Env. Med.* **4**, 113-121.
 - **Laepent J.P et Larpent G.M. (1985)**.Eléments de Microbiologie. Hermann. Paris : 264p.
 - **Lamari L. (2006)**. Production de nouveaux antibiotiques du groupe des pyrrothines par une nouvelle espèce d'actinomycète, *Saccharothrix algeriensis*. Thèse de Doctorat. Université de Tizi Ouzou (Algerie).
 - **Lapage SP., Sneath PHA., Lessel EF., Skerman VBD., Seeliger HPR and Clark WA.(1992)**. International Code of Nomenclature of Bacteria : Bacteriological Code, 1990 Revision, 10(1),55581-039
 - **Larpent J. P. (2000)**.Introduction à la nouvelle classification bactérienne et les principaux groupes bactériens. Lavoisier. France.4, 183-212.
 - **Larpent J.P. and Sanglier J.J. (1989)**. Biotechnology of antibiotics. Masson edition, School of biotechnology, Strasbourg, France.
 - **Larson S.J., Capel P.D., Goolsby D.A., Zaugg S.D., Sandstrom M.W. (1995)**. Relations between pesticide use and riverine flux in the Mississippi River basin. *Chemosphere*, 31, 3305-3321.
 - **Lechevalier H. A., Lechevalier M.P. (1981)**. Introduction to the order Actinomycetales. *In*: The prokaryotes, Vol. 2 (Starr M. P., H. Stolp, H. G. Truper, A. Ballows and H. G. Schlegel. Eds.), Springer – Verlag, Berlin. p. 1915–1922.
 - **Lechevalier M.P. (1981)**. Ecological associations involving actinomycetes. *In*: *Actinomycetes*. Shaal and Pulverer (Eds.). *Zbl. Bakt. suppl.* **11**, 159-166.

- **Lechevalier M.P. and Lechevalier H.A. (1970).** Chemical composition as criterion in the classification of aerobic actinomycetes. *Int. J. Sys. Bacteriol.* 20(4), 435-443.
- **Leonard R. A. (1990).** Movement of pesticides into surface waters. In *Pesticides in the soil environment*. Soil Science Society of America Book Series, n° 2, Madison, WI, USA, 303-349.
- **Litamine Kh. (2018).** Bouazgui: l'utilisation des phytosanitaires en Algérie ne dépasse pas les 0,05 Kg par hectare. Algérie –eco. <https://www.algerie-eco.com/2018/11/29/bouazgui-lutilisation-des-phytosanitaires-en-algerie-ne-depasse-pas-les-005-kg-par-hectare/>
- **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 doc : Université De Reims Champagne-Ardenne Ecole Doctorale Sciences Exactes et Biologie. Pp: 253.
- **Louveaux J.(1984).** Les traitements phytosanitaires et les insectes pollinisateurs. 565-575
- **Lyons A.J., Pridham T.G. (1971).** *Streptomyces torulosus* sp. n., an unusual knobby-spored taxon. *Appl Microbiol.* 22(2), 190–3.
- **Maier. R. M. Pepper. I. L, Gerba. C. P. (2009).** Environmental microbiology. Academic Press: London. Pp: 598.
- **Maison de la consommation & de l'environnement, (2003).** Les pesticides réglementation et effets sur santé et l'environnement. Rennes, p. 2, 30.
- **Mamy L., Barriuso Benito E., Gabrielle B. (2015).** Evaluer les risques environnementaux des pesticides : Exemple du désherbage des cultures résistantes ou non au glyphosate. *Sciences du Vivant [q-bio] / Sciences agricoles.*121-143
- **Margni M., Rossier D., Crettaz P. and Jolliet O. (2002).** « Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems ». *Agriculture, Ecosystems & Environment.* no 1 93: 3–379.
- **Mariat F. et Sebald M. (1990).** Les actinomycètes. In: Bactériologie médicale. Le Minor. Edition Médecine-Science. Flammarion. France. pp 935-949.

- **Martin H., van A., Sytze K. and Dick B.J. (1998).** Handbook on biodegradation and biological treatment of hazardous organic compounds. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/London.
- **Mason M.G., Ball A.S., Reeder B.J., Silkstone G., Nicholls P and Wilson M.T. (2001).** Extracellular Heme Peroxidases in Actinomycetes: a case of Mistaken Identity. *Appl. Environ. Microbiol.* 67 (10), 4512-4519.
- **Melouah R. (2015).** Production et extraction de quelques principes actifs isolés à partir des actinomycètes. Mémoire de Master : Microbiologie appliquée. Ouargla : Université Kasdi Merbah. 41 p.
- **Merhi M. (2008).** Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faibles doses : caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique murin. Thèse de doctorant. Université de Toulouse (France).
- **Merizig H., Naami F. (2015).** Etude taxonomique de quelques souches d'actinomycètes isolées de la région de Ouargla. Mémoire Master Académique. Microbiologie fondamentale et appliquée. Université Kasdi Merbah Ourgla, 65p.
- **Messoudi O. (2013).** Contribution à la caractérisation de souches d'actinomycètes productrices de métabolites antibactériens isolées de la sebkhia de Kenadsa (Bechar). Mémoire de Magister : en Microbiologie appliquée. Tlemcen : Université Aboubakr Belkaid. 79 p.
- **Mighélez E.M., Hardisson C. and Manzanal M.B. (2000).** *Streptomyces*: A new model to study cell death. *J. Cell. Biol.* 3, 153-158.
- **Moncheva P., Tishkov S., Dimitrova N., Chipeva V., Antonova-Nikolova S., and Bogatzevska N. (2002).** Characteristics of soil actinomycetes from antarctica. *Journal of culture collections*,3, , 3-14
- **Morakchi H. (2011).** Isolement et identification de souches d'Actinomycètes productrices de molécules bioactives au niveau de lac Oubeira : étude morphologique, physiologique, moléculaire et spectre d'activité. Thèse de doctorat : Microbiologie Appliquée. Annaba : Université Badji Mokhtar. 105 p.
- **MSci. - Biol. Yi Jiang. (2009).** Systematic Research on Actinomycetes Selected according to Biological Activities. Thèse de Doctorat : Math.-Nat. Germany : Université Kiel.136p.

- **Nayak B.S., Prusty J.C., Monhanty S.K. (1994).** Effect of herbicides on bacteria, fungi and actinomycetes in sesame (*Sesamum indicum*) soil. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 64, 888–890.
- **O'Gara F., Dowling D. N., Boesten B. (2008).** *Molecular Ecology of Rhizosphere Microorganisms: Biotechnology and the Release of GMOs.* John Wiley & Sons: Weinheim. Pp: 192.
- **Omura S. (1992).** The search for bioactive compounds from microorganisms. Ed: Springer Verlag, New York. Inc. pp 281-303.
- **ONSSA :L'Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires,(2015).**
- **Oskay M., Usame A., Azeri C.(2004).** Antibacterial activity of some actinomycetes isolated from farming soils of Turkey. *AJB.* 3(9), 441-446.
- **Papagianni M. (2004).** Fungal morphology and metabolite production in submerged mycelia processes. *Biotechnol. Adv.* 22 (3), 189-259. Review.
- **Pasti M.B., Pometto A.L., Nuti M.P and Crawford D.L.(1990).** Lignin-solubilizing ability of actinomycetes isolated from termite (*Termitidae*) gut. *Appl. Environ. Microbiol.* 56 (7), 2213-2218.
- **Pemberton JM., Fisher PR (1977).** 2,4-D plasmids and persistence. *Nature (London).*268 : 732-733.
- **Perry J.J., Staley J.T., Lory S. (2004).** *Microbiologie.* Dunod, Pais. 497-498.
- **Prakash A., Satyanarayana T.,Johri B.N. (2012).** *Microorganisms in Environmental Management.* Springer. Pp: 819.
- **Pratiques d'utilisation des pesticides par les producteurs agricoles en Afrique Sub-saharienne.** CIRAD :Aprifel – Conseil des consommateurs– 5 avril 2016.[en ligne](page consultéele21/04/2019)
http://www.aprifel.com/userfiles/file/cc_modes_de_prod/debon_cirad.pdf
- **Prescott L. M, Harley. J. P, Klein. D. A. (2003).** *Microbiologie.* De Boeck : Bruxelles. 2eme édition Pp 506–517-537-542-573
- **Prescott L. M., Harley J. P., et Klein D. A., (2003).** *Microbiologie* 2eme édition française, Paris, P: 546 .3ieme édition 2011.P : 590-591.
- **Prescott. L. M, Harley. J. P, Klein. D. A.(2010).** *Microbiologie.* De Boeck : Bruxelles. 2eme édition Pp : 1088.
- **Prescott. L. M, Harley. J. P, Klein. D. A.(2010).** *Microbiologie.* De Boeck : Bruxelles. 3eme édition Pp 849-854.

- **Reichl U., King R., Gilles E.D. (1992).** Characterization of pellet morphology during submerged growth of *Streptomyces tendae* by image analysis. *Biotechnol Bioeng*, 39(2), 164-170.
- **Reponen T. A., Gazonko S.V., Grinshpun S.A., Willeke K. & Cole E.C. (1998).** Characteristics of airborne actinomycete spores. *Appl. Environ. Microbiol.* **64**, 3807-12.
- **Roger P., Jacq V. (2000).** Introduction à la bioremédiation des sols, des eaux et de l'air. type de document : spécialité. Marseille : Université de Provence AIX. 99p.
- **Rozo Castellanos J., Sánchez J., Uribe D., Moreno L., Melgarejo L.M. (2013).** Characterization of Carbofuran Degrading Bacteria Obtained from Potato Cultivated Soils with Different Pesticide Application Records. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.* 66(1), 6899-6908.
- **Saci Kh., Safane A.(2015).** Isolement des souches d'actinomycètes d'un sol agricole contaminé par l'herbicide Apyros et étude de leur capacité à le dégrader. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master : Microbiologie Générale et Biologie Moléculaire des Microorganismes. Constantine : Université des Frères Mentouri.43p.
- **Saffroy S.(2006).** Etude du métabolisme carboné chez *Streptomyces prestinaespiralis*. Thèse de Doctorat en procédés biotechnologiques et alimentaires. Institut nationale polytechnique de Lorraine. France. 150 P.
- **SAGE pesticides.(2019).** Effets toxiques des matières actives [en ligne], (page consultée le 10/07/2019)
<https://www.sagepesticides.qc.ca/Recherche/Environnement/DisplayEnvironnement?MatiereActiveID=153>
- **Sarkonen N., Könönen O., Summanen P., Kanervo A., Takala A., et Jousimies-Somer H. (2000).** Oral Colonization with Actinomyces Species in Infants by Two Years of Age. *J Dent Res.* **79**, 864-867.
- **Savadog P W.(2001).** Etude de la biodegradation anaerobie des pesticides utilises en agriculture au Burkina faso : Cas particuliers du Decis, de l'ultracide et du Sumithion. Thèse de Doctorat : sciences biologiques appliquée. Burkina Faso : Université de Ouagadoug, 101P.
- **Schiavon M., Perrin-Ganier C., Portal J.M. (1995).** La pollution de l'eau par les produits phytosanitaires : état et origine. *Agronomie*, 15, 157-170

- **Senesi N. (1993).** Organic pollutant migration in soils as affected by soil organic matter: molecular and mechanistic aspects, NATO ASI Series, 32, 47-74.
- **Severn D.J., Ballard G. (1990).** Risk/benefit and regulations. In *Pesticides in the soil environment*. Soil Science Society of America Book Series, no. 2, Madison, WI, USA, 467-491.
- **Shartz A., Bugie E., Waksman S.A. (1944).** Streptomycin, a substance exhibiting antibiotic activity against Gram-positive and Gram-negative bacteria. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 55, 66-69.
- **Shirling E. B., Gottlieb, D. (1966).** Methods for characterization of *Streptomyces* species. *Int J Syst Bacteriol*, 16(3), 313-340.
- **Shirling E.B. and Gottlieb D.(1969).** Cooperative description of type cultures of *Streptomyces*.IV. Species descriptions from the second, third and fourth studies. *Int. J. Syst. Bacteriol.*19(4): 391–512.
- **Silini S. (2012).** Contribution à l'étude de la biodégradation de la méthyléthylcétone en réacteur batch par les actinomycètes isolés à partir des boues activées de la station d'épuration d'El-Atmania. Mémoire de Magister : Ecologie. Constantine : Université Mentouri. 101 p.
- **Silvey J. K. G., Raach A. N., (1975).** The taste and odor producing aquatic actinomycetes. *Crit. Rev. Environ. Control.* 5, 233-273.
- **Singh K.B., Walker A., Morgan J.A. W. et Wright D.J. (2006).** « Biodegradation of Chlorpyrifos by *Enterobacter* Strain B-14 and Its Use in the Bioremediation of Contaminated Soils ». *Appl Environ Microbiol*,70, 4855-4863.
- **Smaoui S. (2010).** Purification et Caractérisation de Biomolécules à partir de microorganismes nouvellement isolés et identifiés. Thèse doc : Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse). Pp : 207.
- **Smith E.A. & Mayfield C.I. (1977).** Effects of paraquat on selected microbial activities in soil. *Microbial Ecology*, 3, 333-343
- **Sondhia S., U. Waseem et R.K. Varma. (2013).** « Fungal Degradation of an Acetolactate Synthase (ALS) Inhibitor Pyrazosulfuron-Ethyl in Soil ». *Chemosphere*.
- **Song J., Weon H.Y., Yoon S.H., Parrk D.S., Go S.G. and Suh J.W. (2001).** Phylogenetic diversity of thermophilic actinomycetes and *Thermoactinimycetes* isolated from mushroom composts in Korea based on 16S RNA gene sequence analysis. *FEMS Microbiol. Lett.* 202, 97-102.

- **Stackebrandt E. and Schumann P. (2000).** Description of *Bogoriellaceae* fam. Nov., *Dermacocaceae* fam. Nov., *Rarobacteraceae* fam. Nov. and *Sanguibacterceae* fam. Nov. and emendation of some families of the suborder *Micromcoccineae*. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 50, 1279-1285.
- **Stackebrandt E., Rainey F.A. and Ward-Rainey N.L. (1997).** Proposal for a new hierarchic classification system, *Actinobacteria* classis nov. *J. Syst. Bacteriol.* 47, 479-491.
- **Stanier R.Y., Doudoroff M. et Adelber E.D. (1966).** Microbiologie générale. Masson et Cie Editeurs. pp 131-132.
- **Strub C. (2008).** Modélisation et Optimisation de la production de thiolutine chez *Saccharothrix algeriensis*. Thèse de doctorat : Discipline ou spécialité : Génie des Procédés et de l'Environnement. L'Institut National Polytechnique de Toulouse : L'université de Toulouse, 175p
- **Suzuki K., Nagai K., Shimizu Y. and Suzuki Y. (1994).** Search for actinomycetes in screening for new bioactive compounds. *Actinomycetologica*, **8**, 122–127.
- **Tahar W., Bordjiba O., Aimeur N. (2017).** Effet de l'hymexazole et de la prométhryne sur la qualité physico-chimique et biologique des sols agricoles. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 35, 37-44.
- **Taiwo L.B. & Oso B.A. (1997).** The influence of some pesticides on soil microbial flora in relation to changes in nutrient level, rock phosphate solubilization and P release under laboratory conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 65, 59-68
- **Tamura S., Park Y., Toriyama M., Okabe M. (1997).** Change of mycelial morphology in tyrosin production by batch culture of *Streptomyces fradiae* under various shear conditions. *J Ferment Bioeng.* 83(6), 523–528.
- **Theilleux J. (1993).** Les actinomycètes in : Microbiologie Industrielle, les microorganismes d'intérêt industriel. Lavoisier, Tech et Doc, 612p
- **Tsiko I. (2007).** Characterisation of actinobacteria degrading and tolerating organic pollutants. Division of microbiol. Department of applied chemistry and microbiology. Faculty of agriculture and forestry. University of Helsinki.
- **Van der Geize R. and Dijkhuizen L. (2004).** Harnessing the catabolic diversity of rhodococci for environmental and biotechnological applications. *Curr. Opin. Microbiol.* 7, 255-261.

- **Vandermesse F. (1996).** Capacité d'une communauté microbienne mixte à dégrader la MEK en réacteur batch, en vue de l'optimisation d'un bioréacteur. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'études en science naturelle appliquée. Option : Biotechnologie industrielle. Université catholique de Louvain.
- **Venkatramesh M. & Agrirhothrudu V. (1988).** Persistence of captafol in soils with and without amendments and its effects on soil microflora. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 41, 548-555
- **Ventura M., Canchaya C., Tauch A., Chandra G., Fitzgerald G.F., Chater K.F., van Sinderen D. (2007).** Genomics of Actinobacteria: tracing the evolutionary history of an ancient phylum. *Microbiol Mol Biol Rev*, 71(3), 495-548.
- **Waksman S.A., Woodruff H.B.(1940).** The soil as a source of microorganisms antagonistic to disease producing bacteria. In —Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Williams & Wilkins Eds. Vol. 4, pp: 2333-2648.
- **Waksman S. A. (1961).**The actinomycetes. vol. I: Nature Occurrence and Activity. WAVERLY PRESS, INC : Baltimore. Pp : 327.
- **Waksman S.A. (1959).** The actinomycetes, The Williams and Wilkins company, Baltimore.1, 327 p.
- **Wang NX., Tang Q., Ai GM., Wang YN., Wang BJ., Zhao ZP., Liu SJ.(2012).** Biodegradation of tribenuron methyl that is mediated by microbial acidohydrolysis at cell-soil interface. *National center for biotechnology Information*, 86(11),1098-105.
- **Wildermuth H. and Hopwood D.A. (1970)** Septation during sporulation in *Streptomyces coelicolor*. *J. Gen. Microbiol.* **60**, 51-59.
- **Williams S.T., Bradshaw R.M., Costerton J.W. and Forge A.(1972).** Fine structure of the spore sheath of some *Streptomyces* species. *J. Gen. Microbiol.* **72**(2), 249-258
- **Willoughby L.G. (1969) a study on aquatic actinomycetes. The allochthonous leaf component. – Nova Hedwigia.12, 45-11.**
- **Wolfe N.L. (1990).** Abiotic transformation of pesticides in natural waters and sediments. In: Pesticides in the Soil Environment: Processes, impacts and modeling, SSSA Book, Series 2, 93-104.
- **Wood Mackenzie reported in Crop Protection Association (UK) annual review ;2008** Phillips McDougall in Facts and figures- The status of global agriculture, CropLife International 2009,p10. www.croplife.org

- **Xiu L., Zhenan H., Yanyan F., Sifeng Z. et Jun Y. (2011).** « Isolation and Characteristics of Efficient Carbendazim Degradation Bacterium ». *Advances in Biomedical Engineering*. 1(23), 44- 388.
- **Yu Y.L., X. Wang, Y.M. Luo, J.F. Yang, J.Q. Yu, et D.F. Fan. (2005).** *Fungal Degradation of Metsulfuron-Methyl in Pure Cultures and Soil. Chemosphere*. 60, 460-466.
- **Zaitlin B., and Watson S.B. (2006).** Actinomycetes in relation to taste and odour in drinking water: *Myths, tenets ant truths*. **40** (9), 1741-1753.
- **Zanardini, E., M. Negri, G. Boschini, A. D'Agostina, A. Valle, A. Arnoldi, C. and Sorlini. (2002).** *Biodegradation of Chlorsulfuron and Metsulfuron-Methyl by Aspergillus Niger. ScientificWorld Journal*, 38(2) ,737-746.
- **Zeboudji B.(2005).** Mémoire de Magister : Ecole Nationale Polytechnique .Alger.
- **Zerizer H. (2014).** Les genres d'actinomycètes (hors mycobactéries) impliqués dans les infections dans la région de Constantine. Thèse de Doctorat : Biochimie et Microbiologie Appliquées. Université Constantine 1. 154 p.
- **Zermane F. (2008).** Etude des caractéristiques culturales des actinomycètes impliquées dans la biodégradation de la cellulose, des substances pectiques et des composés organique de synthèse. Mémoire magister : Microbiologie appliquée, Université Mentouri Constantine.
- **Zhang J., Liu Z. et Goodfellow M. (2003).** *Nocardia caishijiensis* sp. nov., a novel soil Actinomycete. *Inter J of Syst and Evol Microbiol*. **53**, 999-1004.

Annexes

Annexe 1Types de formulations (**Maisonneuve et Larose, 1988**)➤ Produits pour le traitement des semences

Code GIFAP	Nom du type de produit ou de la formulation	Définitions
DS	poudre pour traitement des semences à sec	poudre destinée à être appliquée en l'état sur les semences
LS	liquide pour traitement des semences	solution destinée à être appliquée sur les semences en l'état ou après dilution
PS	semences traitées ou enrobées	
SS	poudre soluble pour traitement des semences	poudre destinée à être appliquée sur les semences après dissolution dans l'eau
WS	poudre mouillable pour traitement humide	poudre destinée à être appliquée sur semence sous forme de bouillie aqueuse concentrée.

➤ Concentrés à diluer dans les solvants organiques

Code GIFAP	Nom du type de produit ou de la formulation	Définitions
OL	liquide miscible à L'huile	formulation liquide à diluer avant emploi dans un liquide organique miscible
OP	poudre à disperser dans l'huile	formulation pulvérulente destinée à être appliquée après dispersion dans un liquide organique
OF	suspension concentrée diluable dans l'huile	suspension stable d'une matière active dans un liquide destinée à être appliquée après dilution dans un liquide organique

➤ Produits à appliquer sans dilution

Code GIFAP	Nom du type de produit ou de la formulation	Définitions
CG	granulé encapsulé	granulé avec enrobage de protection ou à relargage progressif
DP	poudre pour poudrage	poudre fluente applicable par poudrage
ED	liquide chargeable électriquement	formulation liquide spéciale pour pulvérisation électrostatique ou électrodynamique
FG	granulé fin	granule de dimension comprise entre 300 et 2 500 microns
GG	macrogranule	granule de dimension comprise entre 2 000 et 6 000 microns
GP	poudre à pulvériser	poudre pour poudrage, très fine, destinée aux applications pneumatiques en enceinte close
GR	granulé	produit solide fluent se présentant sous forme de granulé de dimensions définies, prêt à l'emploi
MG	microgranulé	granulé de dimension comprise entre 100 et 600 microns
SU	suspension pour application à très bas volume	suspension prête à l'emploi dans un appareil de traitement à très bas volume
TP	poudre de piste	rodenticide ou poudre agissant par contact
UL	liquide pour application à très bas volume	liquide homogène, prêt à l'emploi dans un appareil de traitement à très bas volume (TBV)

Annexe 2

Milieux de culture

Milieu ISP 2

Extrait de levure 4 g
 Extrait de malt 10 g
 Glucose 4 g
 Agar 20 g
 Eau distillée 1000 ml
 pH = 7,3

Milieu minéral minimum exempt de source d'azote (Bano et Mussarat, 2004)

Na₂HPO₄ 2,1 g/l
 MgSO₄ 0,01 g/l
 CaCl₂.2H₂O 0,1 g/l
 FeSO₄.7H₂O 0,001 g/l
 CuSO₄ 0,04 g/l
 Na₂MoO₄ 0,002 g/l
 Glucose 1%
 PH = 7

Milieu minimum: (Vandermess, 1996)

KNO₃ 13,76 g/l
 KH₂PO₄ 1,78 g/l
 Na₂HPO₄, 2H₂O 4,66 g/l
 Na₂SO₄ 9,68 g/l
 EDTA 10 mg/l
 FeSO₄, 7H₂O 5 mg/l
 MnCl₂, 4H₂O 1,22 mg/l
 ZnSO₄, 7H₂O 0,25 mg/l
 CuSO₄, 5H₂O 0,2 mg/l
 CaCl₂, 2H₂O 1 mg/l
 Na₂MoO₄, H₂O 0,2 mg/l
 pH = 7

Annexe 3

Les pesticides testés à la biodégradation dans notre étude, (A) : Fongicides ; (B) : Insecticides ; (C) : Herbicides

A



B



C



Annexe 4**Tableau 13** : Caractéristiques chimiques des pesticides utilisés

	Pesticides	Matière active	Formule chimique	Famille chimique
Fongicides	TACHIGAZOLE	Hymexazole	$C_4H_5NO_2$	Isoxazole
	TELDOR®	Fenhexamide	$C_{14}H_{17}Cl_2NO_2$	Hydroxyanilides
Insecticides	RUSTILE	Acetamipride	$C_{10}H_{11}ClN_4$	Néonicotinoïdes
	DELTAMIGHT 2,5 EC	Deltamithrine	$C_{22}H_{19}Br_2NO_3$	Pyréthrinoïdes
	KARATEKA	Lambda-cyhalothrine	$C_{23}H_{19}ClF_3NO_3$	Pyréthrinoïdes
Herbicides	PROWL AQUA	Pendiméthaline	$C_{13}H_{19}N_3O_4$	Toluidines
	ZOOM	Dicamba	$C_8H_6Cl_2O_3$	des acides benzoïques
	GRANSTAR 75 DF	Tribénuron méthyle	$C_{15}H_{17}N_5O_6S$	Sulfonylurées
	TILLER 410	Glyphosate	$C_3H_8NO_5P$	Phosphonoglycines

Tableau 15 : les résultats de biodégradation des insecticides sur MM1

Les isolats		<i>Insecticides</i>											
		Rustile				Deltamight				Karateka			
		48 h	72 h	7 jours	15 jours	48 H	72 h	7 jours	15 jours	48 h	72 h	7 jours	15 jours
Sols Saharien	B2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eaux usées	MY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MK	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	AG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MI	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	PM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	AC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MX	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eaux thermales	KSR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
	ETAT3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ETST4	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	ETA5	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	GA3C	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	GA3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ETST8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ETAT10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SEA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Annexe 6

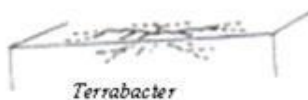
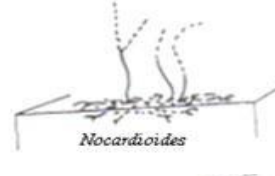
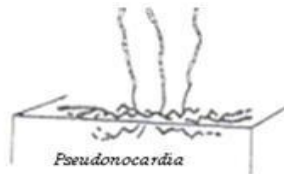
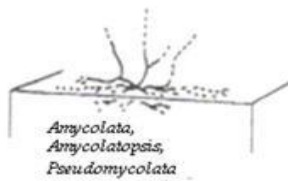
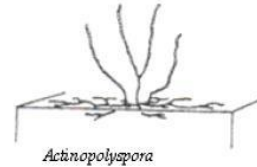
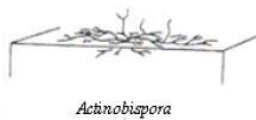
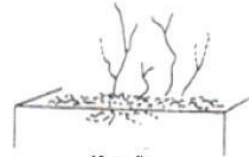
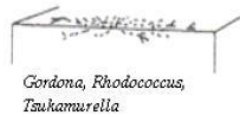
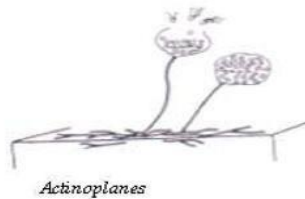
Les résultats de biodégradation des pesticides par Sur milieu MM2

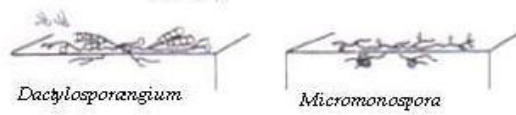
Tableau 17 : les résultats de biodégradation des fongicides sur MM2

Les isolats		Fongicides							
		Tachigazole				Teldor			
		48h	72h	7jours	15jours	48h	72h	7jours	15jours
Sols Saharien	B2	-	-	-	-	-	-	-	-
	B6	-	-	-	-	-	-	-	-
	B8	-	-	-	-	-	-	-	-
	B11	-	-	-	-	-	-	-	-
Eaux usées	MY	-	-	-	-	-	-	-	-
	MB	-	-	-	-	-	-	-	-
	NC	-	-	-	-	-	-	-	-
	MK	-	-	-	-	-	-	-	-
	AG	-	-	-	-	-	-	-	-
	MI	-	-	-	-	-	-	-	-
	PM	-	-	-	-	-	-	-	-
	AC	-	-	-	-	-	-	-	-
	MX	-	-	-	-	-	-	-	-
	MJ	-	-	-	-	-	-	-	-
Eaux thermales	KSR	+	+	+	+	-	-	-	-
	ETAT3	-	-	-	-	-	-	-	-
	ETST4	-	-	-	-	-	-	-	-
	ETA5	-	-	-	-	-	-	-	-
	GA3C	-	-	-	-	-	-	-	-
	GA3	-	+	+	+	-	-	-	-
	ETST8	-	-	-	-	-	-	-	-
	ETAT10	-	+	+	+	-	-	-	-
	SEA1	-	+	+	+	-	-	-	-

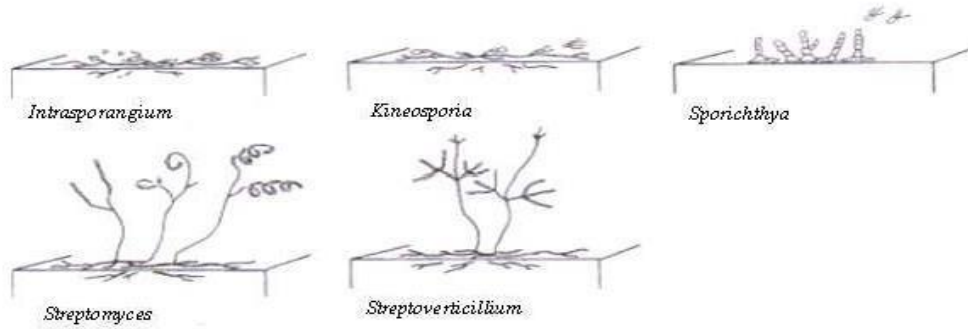
Annexe 7

Schémas représentatifs des mycéliums aériens et de substrat de quelques genres

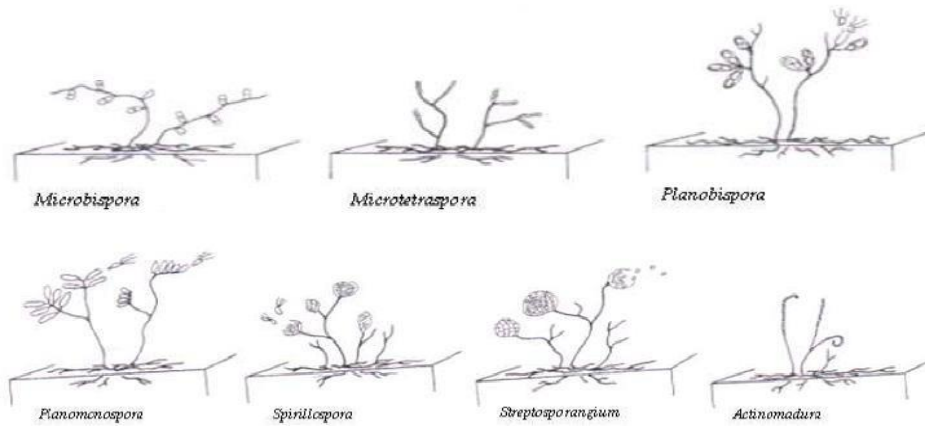
D'actinomycètes (**Bergey's Manual, 1994**)**Groupe 20****Groupe 22****Groupe 23****Groupe 24**



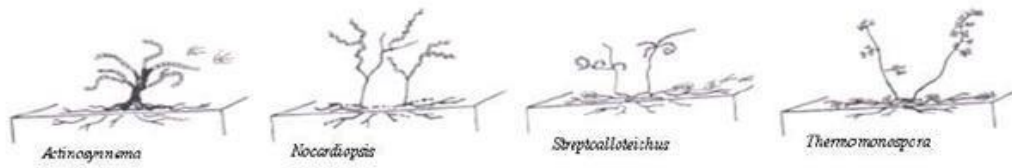
Groupe 25



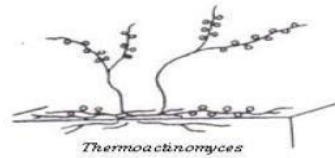
Groupe 26



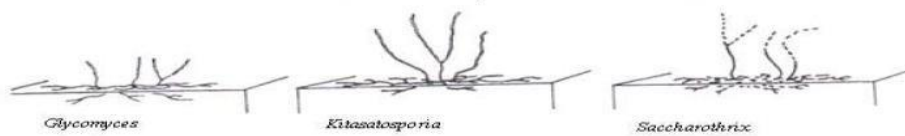
Groupe 27



Groupe 28



Groupe 29



Etude préliminaire de la biodégradation des pesticides parmi les plus utilisés à Constantine par une collection d'actinobactéries

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Biologie moléculaire des microorganismes

Au cours de notre travail nous nous sommes intéressés à tester la capacité des actinobactéries provenant de différents écosystèmes à dégrader certains pesticides. Après une enquête sur la situation des pesticides dans la wilaya de Constantine, une gamme d'herbicides, d'insecticides et de fongicides ont été sélectionnés pour cette étude. Une collection des isolats d'actinobactéries est purifiée par repiquages successifs sur milieu ISP2. Cette collection est composée de 10 isolats provenant des eaux usées, 9 isolats des eaux thermales et 4 isolats du sol Saharien, ils sont testés pour leurs aptitudes à dégrader les pesticides choisis. Le test préliminaire consiste à tester l'utilisation des pesticides, comme seule source de carbone et d'azote. Ce test est réalisé sur deux milieux minimums, respectivement, celui de Vandermess. et celui de Bano et Mussarat, additionnés de 0,2g/l du pesticide. Les isolats actifs sont ensuite testés pour leur tolérance à différentes concentrations (0.5g/l, 1 g/l, 3 g/l, 6 g/l, 12 g/l) afin d'évaluer leur performance vis-à-vis ces pesticides. Les résultats montrent que le pesticide le plus dégradé est le Tachigazole qui est utilisé comme seule source de carbone par 55,55% des isolats des eaux thermales et par 20% des isolats des eaux usées, aussi comme seule source d'azote par 44,44% des isolats des eaux thermales. En outre, le Deltamight 2,5 EC, le Zoom et le Granstar75DF se sont avérés toxiques aux actinobactéries testées pour des concentrations supérieures à 0,2 g/l. Un pourcentage de 56,52 % des isolats testés dégradent au moins un pesticide. En se basant sur les critères morphologiques, ces isolats performants se rapprochent aux genres : *Streptomyces*, *Thermomonospora*, *Actinoplanes* et *Nocardia*. ils peuvent être utilisés pour la bioremédiation des différents écosystèmes contaminés par ces pesticides.

Mots clés : Actinobactérie, biodégradation, herbicides, insecticides, fongicides, bioremédiation.

Laboratoire de recherche : Biologie moléculaire des microorganismes

Jury d'évaluation :

Président du jury :	BENHIZIA Yacine	(Prof. UFM Constantine),
Encadreur :	BOUDEMAGH Allaoueddine	(Prof. UFM Constantine),
Examineur :	CHABBI Rabeh	(MAA. UFM Constantine).

Date de soutenance : 17/07/2019