



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 :

*Effet des pesticides sur la faune et la microflore des sols
désertiques et synthèse bibliographique sur les techniques de
dégradation de ces xénobiotiques*

Préparé par : Benabbes Soumia

Le : 10/10/2020

Djelouat Ibtissem

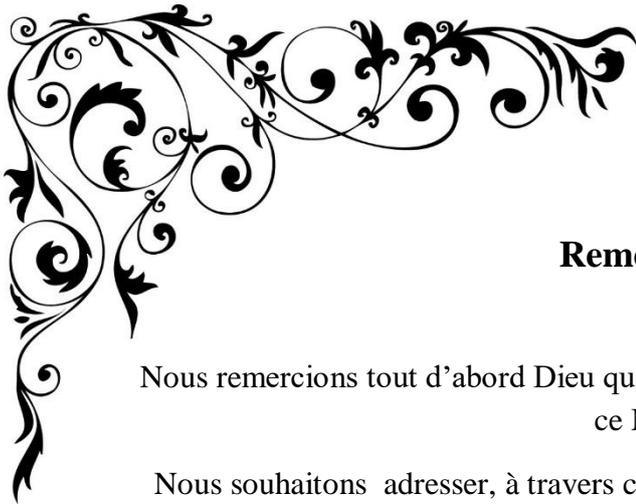
Jury d'évaluation :

Président du jury : KITOUNI Mahmoud (Pr- UFM Constantine).

Rapporteur : BOUDEMAGH Allaoueddine (Pr- UFM Constantine).

Examineur : BENHIZIA Yacine (Pr- UFM Constantine).

*Année universitaire
2019- 2020*



Remerciement

Nous remercions tout d'abord Dieu qui nous a donné la force et la volonté pour réaliser ce Mémoire.

Nous souhaitons adresser, à travers ces quelques lignes, notre grande reconnaissance envers l'université des Frères Mentouri Constantine Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, particulièrement, le département de microbiologie.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à Mr «**BOUDEMAGH Allaoueddine**» pour nous avoir proposé ce sujet, pour son encadrement, ses encouragements, ses orientations, pour ses aides, sa patience, ses conseils scientifiques judicieux, sa compétence et sa gentillesse qui nous avons permis de bien mener ce modeste travail.

Nos remerciements ne sont jamais assez pour vous Monsieur

Nous voudrions également remercier les membres du jury de ce mémoire qui ont accepté de juger ce travail :

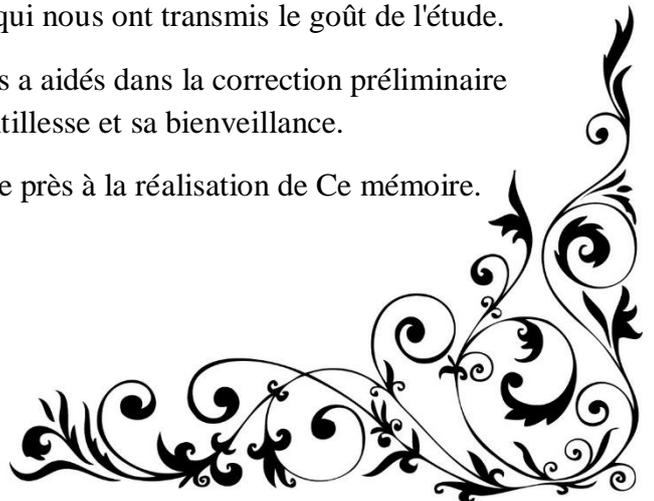
Un merci particulier à notre président de jury Mr **KITOUNI Mahmoud**, de nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de notre mémoire.

Un merci particulier à l'examineur de ce mémoire Mr **BENHIZIA Yacine**, pour avoir accepté d'examiner et évaluer notre travail.

Sans oublier de remercier tous les enseignants du département microbiologie et surtout de spécialité biologie moléculaire des microorganismes qui nous ont transmis le goût de l'étude.

Un merci spécial à Mr Boumoula Ahmed qui nous a aidés dans la correction préliminaire de ce travail ainsi que pour sa grande gentillesse et sa bienveillance.

A toutes et à tous qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de Ce mémoire.





Dédicace

*A mes chers parents
(Mohamed yacine & Samira)*

*Sans vous , je ne serais pas ce que je suis et que toute ma réussite dans la vie et dans mes études dépendra de ce que vous m'avais donné Accepter ce travail comme un témoignage de ma profonde sympathie.
Que dieu vous accorde la santé et la vie.*

*A mes chers frangins
Fares, Seif, et Mostapha. Que dieu puisse me permettre de vous récompenser.*

*Et sans aucun doute, ma chère tante **Nadia** et ma grand-mère **chalabia** qui me souvient avec ses prières.*

A toute ma famille et tous mes amis qui m'ont toujours soutenu.

*A ma collègue **Soumia** qui m'a aidé à achever ce mémoire.*

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail

Ibtissem

Dédicaces

*Merci Allah pour m'avoir donné la santé, la force nécessaire et le courage pour mener à
réalisé ce travail.*

En termes d'amour et de fidélité, je dédie ce mémoire,

À mes très chers parents Hayet et Mourad

*Aucune dédicace, aucun mot, ne saurait exprimer réellement Mon profond amour, mon
respect et ma vive gratitude pour leur amour, leurs encouragements incessants et leur
soutien moral aux moments difficiles qui furent pour moi les meilleurs gages de réussite.
Que dieu les protège et leur donne la bonne santé et qu'ils trouvent ici la preuve de ma
reconnaissance infinie.*

À mon adorable sœur et à mon petit Frère Rayene et Zinou

Pour leur soutien moral et leurs encouragements.

A toute ma famille chacun en son nom

Pour son soutien, chaque instants.

A mon adorable amie : Ibtissem

Pour tous les moments et les souvenirs que nous avons passés ensemble.

*A tous ceux et toutes celles qui m'ont encouragé et m'ont souhaité du bien de près ou de
loin.*

Soumia

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction..... 1

Chapitre I : Environnement et microbiologie des sols Sahariens

1. Aperçu général sur le sol Saharien	3
1.1. Données climatiques.....	3
1.2. Caractéristiques physico-chimiques	4
1.3. Classification des sols Sahariens.....	4
1.4. La végétation du sol saharien.....	5
1.4.1. Classe des plantes éphémères	6
1.4.2. Classe des plantes vivaces (permanentes).....	6
2. Microbiologie des sols sahariens	7
2.1. Les bactéries.....	8
2.2. Les actinobactéries	10
2.3. Les champignons.....	10
2.4. Les algues	11
2.5. Les protozoaires	12
3. Facteurs influençant la microflore saharienne.....	12
4. Les interactions entre les microorganismes du sol.....	13
4.1. Effet des interactions microbiennes sur la propriété du sol.	14

Chapitre II : Pesticides : Effet sur la faune, la microflore et pollution des sols arides

1. Définition des pesticides	16
2. Historique des pesticides.....	16
3. Classification des pesticides	17
3.1. Selon la nature de la cible visée	18
3.1.1. Les insecticides	18
3.1.2. Les fongicides	18
3.1.3. Les herbicides	18

3.1.4. Autres groupes de pesticides	19
3.2. Selon la famille chimique.....	19
3.2.1. Les pesticides organiques	19
3.2.2. Les pesticides inorganiques	19
3.2.3. Les biopesticides	20
4. Le mode d'action de principaux types de pesticides	20
5. Utilisation des pesticides	21
5.1. Dans l'agriculture	21
5.2. Domaines d'application des pesticides	22
6. Règles essentielles d'utilisation des pesticides	22
7. Les pesticides dans le monde.....	23
8. Les pesticides en Algérie.....	24
9. Éco-toxicologie des pesticides.....	25
9.1. Effets sur le sol.....	25
9.2. Effets sur l'air.....	26
9.3. Effets sur l'eau	26
9.4. Effets sur la santé de l'homme	27
9.5. Effets sur la microflore	29
9.6. Effets sur la faune	31
10. Pollution des sols par les pesticides	32
10.1. Formes de pollution	32

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

1. La dégradation des pesticides	34
1.1. La dégradation abiotique.....	34
1.1.1. Transformation chimique	34
1.1.2. Transformation physique	35
1.1.3. Les voies abiotiques de dégradation des pesticides	35
1.2. La dégradation biotique	38
2. Microorganismes impliqués dans la biodégradation des pesticides.....	40
2.1. Les bactéries	40
2.2. Les actinobactéries.....	46
2.3. Les champignons	51
Conclusion et perspectives	56
Référence bibliographiques	58

Liste des abréviations

DDD	:	Dichlorodiphényldichloroéthane.
DDT	:	Dichlorodiphényltrichloroéthane.
DDE	:	Dichlorodiphényldichloroéthylène).
Ha	:	Hectares.
HAP	:	Hydrocarbures aromatiques polycycliques.
MCPA	:	Acide 2-méthyl-4-chlorophénoxyacétique.
MAT	:	Matières azotées totales.
MCP	:	Monocrotophos.
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé.
OTU	:	Unité Taxonomique Opérationnelle.
PCP	:	Pentachlorophénol.
PP	:	Produit phytosanitaire.
TCP	:	trichloro-2-pyridinol.

Liste des figures

Figure 1 : (<i>Rumex vesicarius</i>) espèce herbacée annuelle poussant en touffes après la pluie....	6
Figure 2 : espèce vivace (permanente) vivent même c'est un désert <i>Artemisia</i>	7
Figure 3 : (<i>Phoenix dactylifera</i>) plante palmier dattier	7
Figure 4: Variation de la densité de la microflore tellurique dans les sols arides.....	9
Figure 5 : les genres les plus identifier dans les sols désertiques.....	11
Figure 6 : un type d'algue du sol désertique	11
Figure 7 : Le marché mondial des pesticides	24
Figure 8 : Quantité de produits phytopharmaceutiques importés en Algérie en tonnes depuis 1975 jusqu'à 2007.....	25
Figure 9 : Comportement des pesticide dans l'environnement et divers voies de contamination	27
Figure 10 : Divers processus impliqués dans la dispersion des polluants dans les sols arides	38
Figure 11 : Principales voies de dégradation de l'atrazine.	42
Figure 12 : Voies proposées pour la dégradation bactérienne du monocrotophos.....	44

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des sols sahariens	5
Tableau 2 : Le mode d'action de principaux types de pesticides	20
Tableau 3 : Actinomycètes et genres des espèces dégradant les pesticides	47
Tableau 4 : Différents pesticides dégradés par les champignons de la pourriture blanche.....	52

Introduction

Les sols des zones arides sont uniques, ils ont été considérés comme un habitat très complexe. Depuis plusieurs décennies, le sol présente plusieurs rôles dans l'environnement y compris la production et la qualité des aliments, la régulation du climat...etc. Ce qui le rend l'une des précieuses ressources pour l'humanité. Malgré son importance, ce compartiment reste considéré comme un patrimoine menacé, qui peut être facilement détruit lorsqu'il est exposé à plusieurs dangers d'origine anthropique (**Berkal, 2006**). Ces interventions de l'homme se dirigent vers l'emploi de produits phytosanitaires pour l'augmentation des rendements de culture (**Mamy et al., 2009**). Ces dernières années, l'activité agricole dans le Sahara Algérien est en pleine expansion. L'approvisionnement de ces sols en pesticides, conduit à une dégradation de cet écosystème tellurique fragile. En agissant négativement sur la flore et la faune. Ce qui rend difficile, voire impossible le maintien de la bonne qualité de cet écosystème (**Zgheib, 2009**). Le risque le plus dangereux consiste à la mobilisation de ces polluants vers les autres compartiments de l'environnement à surtout, l'eau souterraine et l'air (**Ayad mokhtari, 2012**).

Plusieurs recherches ont été orientées vers les techniques de dépollution des sols contaminés par les pesticides. L'emploi de différents processus physiques, chimiques et biologiques ont été utilisés pour réduire cette pollution (**Mamy et al., 2009**). Les techniques physico-chimiques sont l'oxydation, l'hydrolyse et bien d'autres. Ce sont tous des moyens coûteux et difficile à mettre en œuvre. Les techniques biologiques qui font appel à l'activité microbienne assurés soit en aérobie ou en anaérobie, sont beaucoup plus utilisés. Ces techniques conduisent à la production d'enzymes capables de métaboliser les polluants jusqu'à leur minéralisation.

La microflore tellurique comprenant les bactéries, champignons, et actinobactéries exerce divers rôles importants dans le contrôle de ces pesticides au sein du sol ainsi que d'autres compartiments naturels, essentiellement par biotransformation (**Djelouat et Mahdeb, 2019**). Cependant, ces procédés ne sont pas épargnés par l'apparition d'autres métabolites, encore plus dangereux par rapport à la molécule mère. L'emploi excessif de ces molécules phytosanitaire est aussi d'un grand danger sur la biodiversité microbienne, qui a longtemps était d'un secours aux différentes cultures. Au fil du temps, la majorité des agriculteurs se sont retournés vers des alternatives naturelles, afin de réduire l'emploi des produits chimiques. C'est la lutte biologique qui prime de nos jours, sur l'ensemble des techniques. (**Harir, 2010**). Cette prise de conscience par les chercheurs dans ce domaine participe à la relance de

Introduction

Plusieurs études scientifiques dans ce domaine. Ces études ont également conduit à l'adoption et à la mise en place de plusieurs textes réglementaires (Zgheib, 2009).

Notre étude est principalement axée sur des études antérieures sur l'effet des pesticides sur la faune et la microflore désertique. La contribution de ces microorganismes dans la dépollution de ces milieux extrêmes est également envisagée.

Pour mener cette étude, nous avons entamé une synthèse bibliographique qui regroupe trois chapitres, le premier présente un aperçu sur l'environnement extrême d'origine saharienne. Le second traite l'effet des pesticides sur la faune, la microflore et la pollution des sols arides. La dernière partie est consacrée à une compilation sur les travaux précédents qui concernent l'utilisation des microorganismes dans les biodégradations de ces substances nocives.

En fin de compte, nous sommes arrivés à une conclusion qui comprend un résumé de l'idée générale d'un ensemble d'études ainsi que des perspectives qui pourront être appliquées ultérieurement.

Chapitre I

I .Aperçu général sur le sol Saharien

Le sol est l'une des ressources les plus importantes de notre planète. Il est considéré comme un élément clé des écosystèmes terrestres (**Chaussod, 1996**). Il est connu également comme un système biologique dynamique et complexe car il englobe de nombreux organismes vivants qui réalisent diverses fonctionnalités notamment les cycles biogéochimiques. Cependant, le sol forme une différenciation fondamentale d'un environnement à un autre selon plusieurs facteurs comme la composante, l'abondance des êtres vivants ...etc. (**Khbiz et al., 2015**). Les zones désertiques sont les plus grandes surfaces et représentent l'écosystème le plus dominant, couvrant ainsi plus d'un tiers des surfaces terrestre (**Makhalanyane et al., 2015 ; Zablocki et al., 2016**). Le mot désert signifie une zone de terre où les conditions de vie sont défavorables pour l'homme, les plantes et les animaux. Dans ces écosystèmes la précipitation est accidentelle et peu abondante (<100 mm/an). Il est considéré comme étant un environnement extrêmes écologiquement inconfortable, marqué par un manque de végétation (**Armelle et al., 2009**). Dans ces sols il y a des accumulations de sels solubles (**Boumaraf ,2013**). Le climat désertique est caractérisé par sa chaleur intense. Celle-ci n'est pas considérée comme un critère définitif, on peut donc rencontrer un désert froid, tempéré ou chaud. Le mot Sahara désigne une région désertique inexplorée, vaste et vide. Ces régions sont considérées comme des sols squelettiques composé de calcium, de magnésium et d'oligo-éléments avec une teneur faible de matière organique (fraction <1%) et une fraction minérale importante dans les zones sableuses et une concentration réduite en eau d'environ 8% (**Berkal, 2006**).

I.1. Données climatiques

Les conditions climatiques du milieu Saharien sont dus avant tout au réglage des latitude aux niveaux orbital (**Chehema et Youcef, 2009**). Le milieu est caractérisé par une faiblesse et une irrégularité des précipitations (**Chehema et Youcef., 2009**). Une forte température qui atteint 70°C le jour et un peu moins la nuit (**Bendhia, 1998**). Ce facteur limaique important gère la multiplication des microorganismes au sein de ces surfaces arides (**Dari, 2013**). Une forte évaporation et une humidité assez faible, caractérisent ces écosystèmes. Elles aboutissent à un dessèchement des sols et augmenter leur capacité de portance (**Morsli et Bali, 2009**). Le régime des vents instables qui se montre par des courants chauds et sec avec une vitesse qui permet le déplacement des particules du sol de

l'ordre de 0.08 à 0.2 mm. Au-delà de ces diamètres, les grosses particules sont plus résistantes à ce mouvement (**Bendhia, 1998**).

I.2. Caractéristiques physico-chimiques

Les sols Sahariens sont représentés par une texture légère et d'autres lourdes dans leur quasi totalité ne renfermant que du sable. On démontre une diminution de la perméabilité à cause d'un manque de porosité des structures sableuses fines. Cette perméabilité augmente légèrement, quand la taille des grains de sable est plus importantes ces modifications physiques apparaissent lors des irrigations (**Daoud et Halitim, 1994**).

La structure stable et argileuse d'un sol Saharien obligent les microorganismes à exercer plusieurs fonctionnalités pour assurer leur survie tel que la décomposition de la matière organique, le recyclage du carbone et de nutriments minéraux dans certains cas. Le pH du milieu désertique est généralement proche à la neutralité. L'acidité des sols, limitent la prolifération des bactéries. Les actinomycètes par exemple, sont sensibles aux pH acides, cette gamme de pH présente une préférence pour les champignons (**Dari, 2013**).

Le taux de salinité a également un effet sur le développement bactérien plus le pourcentage est élevé, plus les bactéries diminuent (**Dari, 2013**).

1.3 Classification des sols Sahariens

La classification des sols Sahariens est généralement affectée par les conditions climatiques (vent, pluie et température) comme l'un des facteurs les plus importants pour la formation des sols selon leur structure, leur couleur ainsi que leur degré de lessivage (**Maurice, 1956**). La composition de ces sols est représentée dans le tableau suivant (**Daoud et Halitim, 1994**).

Tableau 1 : Classification des sols sahariens (**Daoud et Halitim, 1994**).

Les sols minéraux bruts	Le vent joue le rôle prépondérant sur la pédogenèse ou il favorise la formation des sols minéraux bruts d'ablation dépourvue d'humidité.
Les sols calcaires	Ils occupent environ 3% des surfaces et se caractérisent par un horizon peu structuré et très mince ainsi leur formation y est sur des sables éoliens calcaire. Ces sols sont localisé (pied de montagne, certaines collines, la roche mère dunaire).
Les sols gypseux	Cette classe est composée d'une valeur variable en calcaire (2 à 20%) par rapport à la teneur en gypse qui est très élevée (60 à 90%). Parfois on peut observer des croûtes en raison d'accumulation gypseux avec un manque d'horizon d'accumulation de calcaire.
Les sols calcaires et gypseux	On peut voir l'apparition de gypse soit au-dessus ou au-dessous des croûtes calcaires.
Les sols peu évolués	C'est le type le moins répandus par rapport aux autres, il est caractérisé par une teneur faible en matière organique.
Les sols halomorphes	Les sols halomorphes sont les sols dont l'évolution est dominée par la présence de sels.

1.4. La végétation du sol saharien

La végétation aux régions désertiques plus précisément dans le milieu saharien est discontinue et presque inexistante en raison des contraintes des conditions climatiques extrêmes et irrégulières (**Berkal, 2006**). Elle se présente généralement sous un aspect nu caractérisé par la rareté des arbres alors que l'apparence des herbes est limitée à une courte période de l'année (quand les conditions deviennent favorables) (**Chehema et al .,2005**). Malgré les conditions rudes (absence d'eau, manque de pluviométrie, et présence du vent ...) dans cet écosystème rude, une catégorie de plante peut s'adapter (**Toutain, 1973**). On cite les suivantes :

1.4.1 Classe des plantes éphémères

Appelées aussi achebs, leur cycle végétatif est complexe généralement dure très longue période d'un à 4 mois qui s'installent avant que la pluie disparaissent et le sol se dessèche. Elle atteint son maximum (73%) au printemps. De plus, ces espèces sont très fluctuantes et occupent la terre d'une façon intermédiaire et transitoire (**Chehma *et al.*, 2005**). C'est pour cette raison qu'elles possèdent une propriété d'adaptation majeur vis à vis des variations climatiques (Fig. 1) (**Chehma et Youcef ,2009**).



Figure 1 : (*Rumex vesicarius*) espèce herbacée annuelle poussant en touffes après la pluie (nezumi.dumousseau.free.fr).

1.4.2. Classe des plantes vivaces (permanentes)

Ce sont des plantes ont la capacité de résister à la sécheresse prolongé, donc on peut rencontrer cette catégories durant toute l'année mais l'irrégularité saisonnière du climat peuvent influencer sur la densité quantitatifs et la biomasse de ces espèces (**Chehma et Youcef ,2009**). Alors qu'on observe aussi une variété de leur composition chimique au cours de l'année notamment l'augmentation des MAT au printemps, les composés pariétaux en été et de la cellulose pendant les saisons qui suivent (**Chehma et Youcef, 2009**).

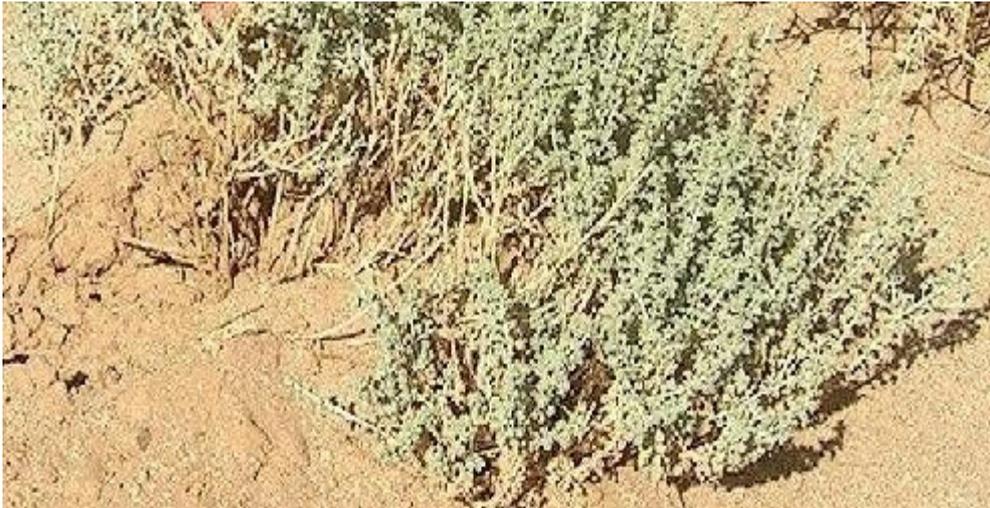


Figure 2: espèce vivace (permanente) vivent même c'est un désert *Artemisia judaica* (nezumi.dumousseau.free.fr)

Il existe d'autres classes de plantes qui caractérisent et enrichissent spécifiquement les oasis. Ce sont les palmeraies, qui ont été formées grâce au rassemblement d'un lot de palmier dattier (Fig. 3). De plus, on peut rencontrer différents types végétaux tels que les arbres fruitiers, les céréales et les légumes mais son rendement est assez faible en raison de la pauvreté des sols désertiques (www.assistancescolaire.com).



Figure 3 : (*Phoenix dactylifera*) plante palmier dattier (nezumi.dumousseau.free.fr).

1. Microbiologie des sols sahariens

A l'époque, les sols sahariens ont été considérés comme étant des milieux stériles. Avec le temps et avec l'émergence de nombreuses études, la communauté scientifique

constate que ces zones ne sont pas stériles et sont pourvu d'une population microbiennes diversifiée (**Bioud et Boutarfi, 2017 ; Dari, 2013 ; Boudemagh, 2007**). L'abondance de cette microflore varie fortement d'un sol à un autre (**Bazzine et Belhadj, 2014**). La biodiversité de cette communauté microbienne dans les environnements sahariens varie entre 120 et 220 millions germes/gramme de terre dans les sols cultivés, dans les sols incultes (non cultivé) elle touche les 28 millions germes/gramme de terre (**Dari, 2013**). Toute cette population est distribuée verticalement surtout à la couche superficiels à cause de la présence d'une grande quantité d'éléments nutritif et aussi par une bonne aération ce qui améliore la croissance et la survie des microorganismes. Cette biomasse diminue progressivement avec les profondeurs. Au niveau horizontal, la répartition de la microflore est un peu différente elle dépend du type du sol et de la végétation. La micro biocénoses des sols sahariens est composée de bactéries, d'actinomycètes, de champignons et d'algues. Les interactions et les effets de ces microorganismes à un rôle dans la formation et l'évolution de sol (**Dari, 2013**).

2.1. Les bactéries

Ce groupe de microorganisme est le plus abondant dans le sol (**Dari, 2013**). Elles sont subdivisé en deux des bactéries autotrophes qui utilisent le carbone sous une forme minérale d'autres l'utilisent sous forme organique dite hétérotrophes (**Dari, 2013**). Elles atteignent leur valeur maximale autour des racines de certaines plantes et au sein de la partie rhizosphériques où le milieu est mieux aéré, peu acide et riche en sources d'azote. Les valeurs quantitatives de ces germes dépassent fortement leur fonction. Cela ne signifie pas qu'elles n'exercent aucune au contraire, elles participent à la minéralisation de la matière organiques, la précipitation de minéraux ainsi que la transformation de certains composants organiques en humine sans oublier leur intervention à la formation des micro-agrégats (**Dari, 2013**).

Les résultats d'analyse microbiologique de l'étude de (**Dari, 2013**) ont permis de remarquer que les bactéries sont les microorganismes les plus abondants dans ce type de sol. Les raisons principales sont dues aux caractère ubiquitaire, à leur pouvoir de coloniser de différents milieux et à leur capacité de tolérer les différents degrés de température, d'acidité, de pression et de salinité (Figure. 4).

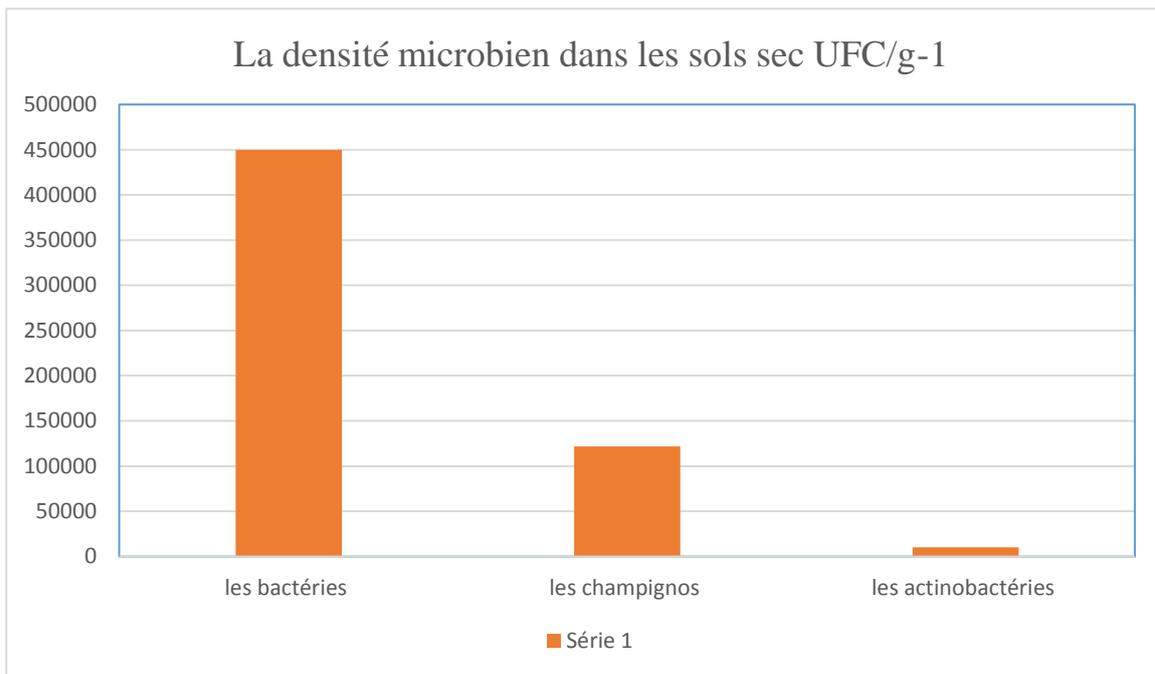


Figure 4: Variation de la densité de la microflore tellurique dans les sols arides (**Kaboul, 2016**).

Dans cette même étude, le genre *azotobacter* a été trouvé en quantité importante dans les milieux arides. Ce genre bactérien, supporte le dessèchement et la salinisation (**Dari, 2013**). Dans d'autres études, des bactéries halophiles et des archéobactéries ont été isolées à partir des milieux arides. Ils ont montré que les souches archéennes appartiennent à la famille des Halobacteriaceae et à l'ordre des Halobacteriales. Ce sont principalement les genres *Natronorubrum* et *Halorubrum*, qui dominent. Pour les bactéries, ce sont des formes de bâtonnets à Gram négatif, halotolérante, halophiles extrêmes, mésophiles et alcalophiles qui ont été isolées (**Khallef**). La densité bactérienne est variable selon des conditions écologiques qui ne tombent rarement au-dessous de 10^4 - 10^5 germes/g de sol, dans les horizons superficielles. Les autres microorganismes comme les actinomycètes, les champignons, les algues et les protozoaires, sont retrouvés en quantité plus faible. Par ailleurs, la diversité des micro-organismes au sein de la partie rhizosphérique se diffère d'une espèce végétale à une autre, à cause de la variation des sources de carbone exsudées par ces plantes. De plus, les résultats de **Dari, 2013** indiquent la présence non négligeable du rhizobium dans les sols cultivés par les légumineuses. Plusieurs facteurs influent sur cette relation symbiotique (la nodulation, fixations d'azote...etc.) telle que l'acidité, le stress osmotique et la température. Les rhizobiums sont généralement neutrophiles mais certaines souches supportent un degré de pH très bas, cette tolérance à ces fluctuations est variable d'une souche à une autre.

2.2. Les actinobactéries

Ces microorganismes sont appelés communément par le règne des bactéries mycéliennes (**Dari, 2013**). Ce sont des bactéries saprophytes, ubiquitaire particulièrement dans les sols. Cette caractéristique est due principalement à leurs diversités métaboliques ce qui rend ces microorganismes bénéfiques au sol (**Bousslama, 2011**). Dans le sol, ces bactéries jouent plusieurs fonctions écologiques très importantes. Ils possèdent un important arsenal enzymatique, utilisé dans la biodégradation de plusieurs composés organiques et minéraux et même les substances le plus difficilement dégradables. Ces bactéries sont connues aussi par leurs capacités à produire des antibiotiques (**Dari, 2013**). D'ailleurs, ils sont à l'origine de 75% des antibiotiques connus à ce jour. Ces derniers agissent comme des biomolécules à plusieurs actions (antifongiques, antibactériennes). Ils ont été utilisés dans plusieurs autres secteurs (biotechnologie, en écologie, phytothérapie etc...) (**Bousslama, 2011**).

Plusieurs expériences ont été présentées dans un but de déterminer les actinobactéries rencontrées dans les sols arides. En général, ce sont les genres *Streptomyces*, *Streptoverticillium* et les nocardioformes qui sont les germes dominants.

Les travaux de **Zerizer et al., 2006**, ont montrés la présence de certains genre bactériens. Ce sont les Streptomycètes (*Streptoverticillium*, *Kiniosporia*, *Sporichthya*) et les genres apparentés du groupe Nocardioformes (*Terrabacter* et *Nocardioïde*), qui dominent. Le genre *Kitasatospora* appartenant à un groupe non classé. Les espèces isolées et identifiées dans cette étude sont: *Streptomyces antibioticus* et *Streptomyces rochei* (**Zerizer et al., 2006**).

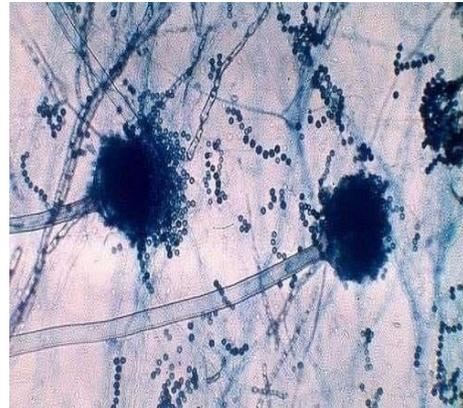
2.3. Les champignons

Appelés aussi mycètes, ces organismes sont caractérisés par la formation des long filaments d'un diamètre de quelques microns non visible à l'œil nu nommée hyphes. Ce sont généralement des aérobies et des hétérotrophes. Ils résistent à la sécheresse et à l'acidité des sols (**Dari, 2013**). La structure dimensionnelle des champignons peut atteindre même les racines des plantes où ils exercent des différentes fonctionnalités, notamment la dégradation des éléments résistants comme la lignine. Ils aident aussi par cette particularité à alimenter les plantes par les différents nutriments. Ils possèdent aussi la capacité a transporté quelques substances et une quantité d'eau non négligeable d'un endroit à un autre autour des plantes ce qui se révèle bénéfique aux végétaux. Les genres les plus abondants dans les sols désertiques

sont principalement : *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Mucor*, *Trichoderma* (Dari, 2013).



a) *Fusarium oxysporum*



b) *aspergillus Niger*

Figure 5 : les genres les plus identifier dans les sols désertiques (www.sudouest.fr ; www.pinterest.ca).

2.4. Les algues

Ce sont des organismes photosynthétiques, autotrophes. Certains d'entre eux sont unicellulaires microscopiques tandis que d'autres espèces sont multicellulaires. La biomasse des algues est répartie dans les larges fissures et aussi en surfaces où elles protègent les environnements désertiques (arides) contre l'érosion par l'encroustement. Elles jouent un rôle clé dans la production des polysaccharides extracellulaires qui participent à la cohésion de diverses particules solides (Dari, 2013).



Figure 7 : un type d'algue du sol désertique (www.unine.ch).

2.5. Les protozoaires

Les protozoaires sont un groupe de microorganismes classé parmi les eucaryotes unicellulaires. Ces microorganismes sont la particularité des écosystèmes aquatiques et des sols humides. Ils sont hétérotrophes, ils reçoivent leur énergie à partir des sources carbonées organiques, qui peuvent être par exemple, des petits fragments de matière végétale décomposée. Dans les sols désertiques ils ont été également trouvés. Leur nombre est le moins importants comparativement aux autres microorganismes de ce types de sols. L'importance de ces microorganismes a été prouvée. Ce sont des prédateurs de bactéries, qui aident à réguler le nombre de la population bactérienne. D'autres petites cellules telles que des algues ou de petites cellules de champignons sont aussi utilisés par les protozoaires. Ils participent donc, à la genèse du sol en fournissant la matière première nécessaire aux autres organismes du sol. **(Bonkowski, 2004).**

3. Facteurs influençant la microflore saharienne

Des changements dans la diversité microbienne peuvent apparaître suite aux changements des paramètres environnementaux caractérisés principalement par les fluctuations climatiques, où la température est considérée écologiquement comme un facteur majeur qui influe sur la multiplication des germes au niveau du sol aride **(Catherine et Claire, 2013)**. En effet, la plupart de la communauté bactérienne et fongique surtout, se développent à une température qui varie entre 25 et 40 °C. Mais avec les variations saisonnières, la microflore saharienne peut être altérée. Il est démontré que l'activité atteint son maximum entre les mois du printemps et l'automne où la température et l'humidité sont élevés **(Dari, 2013)**. Par ailleurs, il existe d'autres facteurs qui limitent la biomasse microbienne dans les sols désertiques. Il s'agit notamment de la structure et la texture du sol, les variations du degré du pH et la pauvreté en éléments énergétiques issue de la décomposition de la matière organiques que ce soit les substances minérales pour les chimiolithotrophes où les substances carbonés pour les hétérotrophes **(Chaussod, 1996 ; Dari, 2013)**. D'une manière plus sommaire, on peut dire que les carences en nutriments, le manque d'eau, l'instabilité de pH, l'acidité insupportable, les facteurs physiques comme la température surtout et l'absence de lumière peuvent influencer le sol désertique et par conséquent conditionner la présence et l'abondance des microorganismes **(Nola et al, 2003)**. Certains de ces microorganismes, peuvent s'acclimater à ces conditions inappropriées par des phénomènes physiologiques de

résistance (Leprinary, 2013). Il est à noter également que certaines interactions peuvent contribuer à la stabilité des microorganismes (Leprinary, 2013).

4. Les interactions entre les microorganismes du sol

Fondamentalement, la résistance du sol aux diverses maladies est due principalement aux multitudes d'interactions microbiennes complexes assimilées à une biomasse de microflore telluriques actifs et significatives (Rafin *et al.*, 1988).

Afin d'acquiescer un certain niveau de survie aux différentes fluctuations écologiques, les microorganismes interagissent de manière plus ciblée d'une manière directe ou indirecte entre elles-mêmes et cela dépend des niveaux trophiques correspondants à chaque type de bactéries (Arpin *et al.*, 1980, Dari, 2013). Ces interactions peuvent être soit bénéfiques comme le commensalisme, le mutualisme etc., soit nuisibles comme la compétition, l'amensalisme, ou alors positive pour l'un et négative pour l'autre tel que le parasitisme (Dari, 2013). Parmi ces interactions, la compétition est la plus souvent observée. Elle se présente généralement entre une gamme de microorganismes pour le même substrat (compétition nutritionnel) (Dari, 2013). Par exemple, celle observée entre bactéries et champignons c'est le cas de l'agent pathogène fongique *Fusarium*, qui interagit avec *Pseudomonas* sur le fer où cette espèce bactérienne, chélate le fer disponible dans le sol par affinité aux sidérophores sécrétés (les pyoverdines), ensuite accumule cet élément important et prive le champignon de cet élément vital qui finit par sa mort (Leprinary, 2013). Cette action n'est pas limitée que pour les *Pseudomonas* mais peut être possible avec d'autres bactéries tel que *Bacillus* spp entraînant une compétition entre ces bactéries et l'agent pathogène fongique *Fusarium* sur les éléments carbonés. Ces bactéries ont un rôle primordial pour limiter l'activité et le développement des tubes germinatifs du *Fusarium*, en exerçant un effet inhibiteur sur la prolifération des chlamydiospores (Rafin *et al.*, 1988). Cette action a été employée également, pour réduire le taux des maladies des plantes causées par d'autres champignons pathogènes (Alban, 1999). En plus, il s'agit d'autre compétition intraspécifiques au sein d'espèces *Fusarium* non pathogènes, pour le but d'inhiber le développement de ce agent phytopathogène au niveau rhizosphérique (Rafin *et al.*, 1988).

Cette concurrence a même une limite nuisible dans le cas où un microorganisme interagit négativement sur un autre, en produisant des antibiotiques et des composés toxiques (Dari, 2013).

Outre la compétition sur les nutriments, ils existent également d'autres aspects de compétition bactérienne sous l'action des enzymes et aussi par le nombre (Alban, 1999). cependant, d'autres microorganismes préfèrent interagir en produisant des composés (biosurfactants) qui peuvent cibler la membrane cellulaires des pathogènes entraînant leur mort (Leprinary, 2013).

D'autre part, les actinobactéries sont un grand groupe bactérien stable dans le sol (Van der et al., 2017). Ils dépendent pour leur nutrition de l'hydrolyse de certaines molécules complexes (Gasmi, 2017). Ces bactéries produisent à la fois des substances bioactives et possèdent un rôle prépondérant dans la production de divers produits naturels tels que les antimicrobiens et les antifongiques (Van der et al., 2017). Ces dernières ont été largement utilisées dans la lutte biologique contre certains agents phytopathogènes (Boucheffa, 2011). Il s'agit notamment du genre *Streptomyces* grâce à son activité (par les substances secondaires) contre les pathogènes et l'amélioration des relations symbiotiques entre lui et les plantes, ce qui aboutit par la suite à un meilleur rendement.

4.1. Effet des interactions microbiennes sur la propriété du sol.

Au fil du temps, l'écosystème a connu une évolution majeure en termes de composition chimique du sol. Les macroéléments qui composent la matière organique du sol, certaines formes minérales et les microéléments, ont été minéralisés par l'activité microbienne. Ce qui a conduit à la transformation et à la simplification de l'écosystème tellurique aride (Dari, 2013). Certains champignons sont des décomposeurs importants dans la chaîne trophique. Ils réalisent la conversion de la matière organique difficilement dégradable en composé plus simple. Ils permettent aussi une augmentation de l'infiltration de l'eau et leur rétention dans le sol grâce aux ces hyphes (www.plante-et-cite.fr). D'autres microorganismes comme les actinobactéries, ils jouent un rôle prépondérant dans la fertilisation des sols (Gasmi, 2017) Cela permet aux racines des plantes de bénéficier en quantité suffisante des différents facteurs de croissance et les autres éléments chimiques qui sont essentiels pour la croissance des plantes (Chaussod, 1996).

Le rôle des microorganismes dans le transport des éléments vers la plante est vérifié dans plusieurs exemples. Il contribue au changement de la composition chimique de ces sols. Ces activités concernent essentiellement les microorganismes suivants :

- **les champignons mycorhiziens** notamment les endomycorhiziens qui forment des mycorhizes avec la majorité des plantes herbacées, des arbustes et de certains arbres. On assiste ici au transfert des éléments peu mobiles comme le phosphore et les oligo-éléments. Cette activité concerne essentiellement les sols pauvres ou touchés par la sécheresse (**Chaussod, 1996**).
- **les bactéries symbiotiques**, les actinomycètes en particulier le genre *Frankia* qui s'incorpore au racines des plantes avec plus de 200 espèces des angiospermes et les rhizobiums qui présentent ainsi un rôle dans la fixation d'azote atmosphériques au niveau des nodules racinaires avec les légumineuses (**Boucheffa ,2011**). Ces activités d'interactions sont bénéfiques pour le sol, les plantes et les bactéries à la fois. Cette caractéristique importante est exploitée fortement dans le domaine agricole pour le but d'améliorer le rendement des cultures (**Dari, 2013**).
- **Les bactéries non symbiotiques**, Ces bactéries réalisent la minéralisation des nutriments pour qu'ils deviennent assimilables par les plantes. Certains d'entre eux préfèrent de stocker ces éléments en influençant la distribution spatiale et temporelle de celle-ci. Ce phénomène est observé dans l'écosystème pauvre en azote où les microbes telluriques accumulent cet élément en automne (période de sénescence des plantes) et le retenir pendant l'hiver et le printemps où il sera libre pour la plante. Outre des bactéries non symbiotiques, le genre *Azospirillum* qui a une capacité de fixation d'azote atmosphérique au niveau rhizosphérique, il a aussi des effets hormonaux vis à vis les racines des plantes (le maïs par exemple) (**Chaussod, 1996**).

Chapitre II

1. Définition des pesticides

Le terme «pesticide» représente toute substance naturelle ou de synthèse capable de détruire ou d'empêcher le développement des êtres vivants indésirables pour l'agriculture (population d'insectes, parasites, micro-organismes, rongeurs, mauvaises herbes...). Ces produits peuvent avoir aussi un effet potentiellement nocif pour l'homme et pour l'environnement (**Boland et Florijn, 2004; Berrah, 2011**). Leur composition chimique est limitée entre celles qui ont la possibilité de persister dans le milieu (forme plus stable) et celles qui sont facilement dégradables au cours des processus naturels (forme moins stable) (**Agoussar, 2017**). La formulation de la majorité des pesticides renferme une ou plusieurs matières actives qui représentent l'action toxique et englobe aussi divers adjuvants. Ces éléments support, composés d'un ensemble de molécules, sont capables d'influencer la qualité des pesticides. Ce qui rend leur utilisation plus aisée. Un autre composant fait partie de la composition du pesticide. Il s'agit du diluant qui peut être liquide (huile végétale) ou solide (talc) (**Ayad-Mokhtari, 2012**). Les pesticides sont omniprésents dans divers écosystèmes environnementaux, en particulier dans le sol où ils sont très persistants en raison de leur propriété lipophile. Ils contribuent à la protection des plantes contre certains parasites (**sante.lefigaro.fr**). Ils jouent également le rôle d'un agent régulateur d'accroissement des cultures et participent aux éclaircissements des fruits et à l'empêchement de leur chute prématuré (**Batsch, 2011**).

2. Historique des pesticides

Depuis l'antiquité, les dommages apparus aux organismes vivants, aux cultures et aux récoltes étaient causés par des insectes, des rongeurs, des champignons ou des mauvaises herbes. C'est pourquoi les chercheurs agronomiques se sont tournés vers l'amélioration et le développement des produits phytosanitaires pour la réduction de l'effet nuisible de certains organismes (**Arkoub, 2012**). Certains ont utilisé le soufre comme un agent désinfectant pour protéger les récoltes, tandis d'autres ont appliqué l'arsenic comme un insecticide pour tuer les parasites (**Batsch, 2011**).

Au XVI^e siècle, de nombreux autres produits chimiques ont été exploités pour le même intérêt comme le mercure et le plomb (utilisé en Chine et en Europe) (**Batsch, 2011**) ainsi que le sulfate de nicotine extrait du feuillage de tabac (**<https://apps.who.>**). Au début du XIX^e siècle, d'autres produits naturels ont été introduits comme le pyrèthre, dérivé du chrysanthème et la roténone dérivé des racines des légumes tropicaux (**Berrah, 2011**).

Au milieu de ce siècle le développement de la chimie minérale s'est développé dans l'agriculture d'où le démarrage réel de l'application des pesticides (**Guillaume, 2017**). D'autres études ont imposé l'utilisation des traitements fongicides (bouillie bordelaise) à base d'un mélange de sulfate de cuivre et de chaux, adopté pour la lutte contre les invasions fongiques de la pomme de terre et des vignes (**tpepesticides.e-monsite.com**).

Durant l'année 1930, l'évolution de la chimie organique pendant la première guerre mondiale a conduit à l'émergence de l'ère des pesticides de synthèse. Paul Müller a découvert le DDT qui a prouvé son efficacité pendant plusieurs années à travers le monde. En 1944, un herbicide a été synthétisé à partir d'une copie d'hormone de croissance des plantes. Pendant les années 1970, une nouvelle classe d'insecticides est apparue, ce sont les pyréthrinoïdes (**Batsch, 2011**).

Toutes les recherches liées aux pesticides ont été effectuées de manière aléatoire par l'application de divers tests biologiques dans le cas où l'analyse est positive, indiquant l'efficacité du produit, les chercheurs ont poursuivi leurs recherches plus précisément par l'établissement des relations structure- activité pour rapporter des produits efficaces et plus ciblés que les précédentes (**tpepesticides.e-monsite.com**).

Au cours des cinquante dernières années, les demandes des pesticides ont considérablement augmenté car leur utilisation a contribué à la construction de l'agriculture moderne. Ils sont considérés comme un facteur important dans la productivité. En effet, ils ont montré une action inhibitrice sur certains ravageurs des cultures surtout sur ceux qui ont acquis une résistance au PP en raison de différents mécanismes génétiques (mutations hérédité des gènes de résistance) ainsi que la détoxification et la séquestration c'est à dire le blocage d'invasion de ces produits au sein de la cellule cible. C'est pourquoi l'industrie doit donc continuer à rechercher et à développer de nouvelles molécules pour réduire ces phénomènes de résistance (**Batsch, 2011**).

3. Classification des pesticides

Les scientifiques et les industriels ont classés ces produits en plusieurs groupes (**Arkoub, 2012**). Cette classification était initialement basée sur la sélection des cibles ensuite elle a été spécialement adoptée sur la nature chimique de la principale substance active (**Ayad-Mokhtari, 2012**).

3.1. Selon la nature de la cible visée

3.1.1. Les insecticides

Ce sont des matières synthétiques (organiques) appartenant aux trois grandes familles notamment les organophosphorés, les carbamates et les pyréthriinoïdes. Il existe également une forme naturelle (substance minérale ou organique) et très marginalisée comme la roténone et les dérivés de nicotine (**agronomie.info**). Les insecticides sont des éléments destinés pour lutter contre les insectes, et les parasites, leurs larves (larvicides) et leurs œufs (ovicides). Les insecticides pénètrent dans l'organisme cible soit par une simple adhérence, ou par digestion ou encore par inhalation. Ils agissent sur les fonctions vitales de la cible visée par plusieurs manières : dommage sur l'influx nerveux, inhibition de la faim, interférence dans le métabolisme ou asphyxie) qui entraînent par la suite à sa mort (**Arkoub, 2012 ; Vaudano, 2018**).

3.1.2. Les fongicides

Ce sont des substances employées contre les champignons, particulièrement les moisissures, parasites des plantes responsables des maladies cryptogamiques afin d'assurer la protection des cultures, des récoltes où même des semences (**Arkoub, 2012**). Cependant, les fongicides se composent de deux principaux groupes. Les fongicides organiques et les fongicides minéraux. Les fongicides organiques sont généralement des produits synthétiques qui renferment plusieurs molécules d'une structure chimique diversifiée. Les fongicides minéraux sont subdivisés selon leur composition aux fongicides à base de cuivre et aux fongicides à base de soufre (**Boland et Florijn, 2004**). Selon l'action du fongicide sur sa cible, on retrouve les fongicides préventifs et les fongicides curatifs. Les premiers créent un film protecteur sur la plante avant que la maladie apparaisse où ils bloquent la germination des spores de champignons et favorisent l'inhibition des champignons déjà cultivés sur le végétal. Les deuxièmes par contre exercent une action opposée aux premiers. Lorsque la maladie existe déjà, ils vont plus ou moins se distribuer dans tous les niveaux de la plante à travers son système vasculaire (**www.universalis.fr**).

3.1.3. Les herbicides

Les herbicides ou désherbants sont des substances qui visent principalement à limiter les adventices des cultures où les mauvaises herbes.

Ces dernières assurent une concurrence avec une culture donnée sur les ressources nutritives, l'eau et la lumière (**agronomie.info**). On distingue deux groupes de désherbants: les

dés herbants totaux et les dés herbants sélectifs. Les dés herbants totaux éliminent toute végétation selon divers mécanismes comme la destruction des parties aériennes ou l'absorption par les parties racinaires. Les dés herbants sélectifs tuent les mauvaises herbes sans endommager les cultures mais causant parfois des dommages mineurs (**Arkoub, 2012**).

Les herbicides ont différents sites d'actions sur les plantes nuisibles où ils inhibent le mécanisme de photosynthèse y compris les réactions enzymatiques impliquées dans la synthèse des acides aminées. Ils jouent aussi un rôle d'un agent perturbateur de croissance plus précisément lors de la division cellulaire (étape d'élongation) et peuvent être à la fois des inhibiteurs de la synthèse de pigments (**Batsch, 2011**).

3.1.4. Autres groupes de pesticides

On peut distinguer les molluscicides destinés à tuer les mollusques (limaces, ou escargots, y compris aquatiques), les rodenticides pour éliminer les rongeurs, les corvicides pour se débarrasser des corbeaux, les nématocides qui tuent les nématodes, et les fumigants qui servent à la désinfection des sols (**www.universalis.fr**).

3.2. Selon la famille chimique

Cette classification repose sur la nature chimique de la substance active (**Ayad-Mokhtari, 2012**) qui entraîne une action standardisée ou spécifique sur les organismes indésirables ou bien les végétaux (**Magdelaine, 2013**). On distingue trois groupes:

3.2.1. Les pesticides organiques

Ce sont des produits carbonés synthétiques évoluant au laboratoire où au naturel. Ils sont d'origines animale, végétale ou microbienne tel que les Organochlorés, les Organophosphorés, les Carbamates, les Triazines et l'urée substituée (**Agoussar, 2017**).

3.2.2. Les pesticides inorganiques

Ce sont des éléments non dégradables dérivés essentiellement de minéraux à base de cuivre, arsenic, cyanure, soufre ...etc. (**Agoussar, 2017**). Une fois appliqués, ces substances ont un effet toxicologique sévère sur l'environnement (accumulation dans les sols). On peut noter les plus nocifs d'entre eux le plomb et le mercure (**Ayad-Mokhtari, 2012**).

3.2.3. Les biopesticides

Les biopesticides sont des composés dérivés de plantes ou d'animaux où à base d'organismes vivants utiles tels que les moisissures, les bactéries, les virus et certains nématodes bénéfiques (Ayad-Mokhtari, 2012). On peut citer par exemple de bacillus thuringiensis qui sont des insecticides capables de détruire les moustiques vecteurs du paludisme ou les lépidoptères nuisibles dans le secteur agricole. Ces substances exercent un rôle prépondérant dans la gestion des nuisibles (Agoussar, 2017) et sert aussi à protéger les animaux domestiques (Magdelaine, 2013).

4. Le mode d'action de principaux types de pesticides

Le tableau ci-dessous résume le mode d'action des pesticides sur l'organisme nuisible

Tableau 2 : Le mode d'action de principaux types de pesticides (El Mrabet *et al.*, 2008; Calvet *et al.*, 2005).

Premier système de classification		Deuxième système de classification	
En fonction de la cible		Spectre d'action	
		En fonction de la nature chimique de la substance active	
Herbicides	De contacte	Agit sur les parties de la plantes avec lesquelles il entre en contact.	Organochlorés Organophosphorés Les carbamates Les pyréthrinoïdes Les triazines
	Systémique	Absorbé par la plante, se déplace à l'intérieure de celle-ci.	
	Sélectif	Ne contrôle que certaines plantes parmi celle qui sont traitées.	
	De pré-levée	Action sur la graine pour empêcher sa germination.	
	De post-levée	Action sur la plante émergée.	
	Non-sélectif	Contrôle toute les plantes traitées.	

	Résiduaire	Se dégrade lentement et contrôle les plantes pour une longue période.	Les urées-substituées
	Non-résiduaire	Est rapidement inactif après son application et ne contrôle les plantes que sur une courte période.	
Fongicides	Préventif	Assurer la protection des plantes en empêchant que la maladie se développer.	
	Curatif	Réprime une maladie qui est déjà développée.	
Insecticides	De contacte	Agit lorsque l'insecte entre en contact avec le produit.	
	D'inhalation	Agit lorsque l'insecte respire le produit.	
	D'ingestion	Agit lorsque l'insecte se nourrit du produit.	

5. Utilisation des pesticides

5.1. Dans l'agriculture

L'agriculture a longtemps été considérée comme un patrimoine transmis d'une génération à une autre, alliant la main-d'œuvre, le savoir-faire et l'accès aux ressources naturelles (**Boutemedjet et al., 2015**). Dans les régions désertiques comme le Sahara, l'agriculture dépend toujours de la culture du palmier dattier (composé d'environ 1000 variétés) en raison de sa capacité à s'adapter aux conditions climatiques difficiles qui constituent l'élément de base sur lequel repose tout l'écosystème oasien. Malgré ces conditions difficiles, notamment la rigueur de son climat chaud, la région désertique a connu un développement dans le secteur céréalier, occupant plus de 81 900 ha situés principalement dans la région d'Al-Ziban (**madrp.gov.dz**). Concernant le total des autres cultures, il a également connu une croissance exceptionnelle au cours des dix dernières années, notamment celles des maraîchers, qui occupent environ 92 736 ha (dont 41% sont consacrés à la pomme de terre) et 21 203 ha appartenant aux principaux produits fruitiers de l'olivier avec les abricots. D'autres cultures occupant environ 19 196 ha sont dédiés aux cultures fourragères et 5 255 ha aux cultures industrielles (tabac, henné, faux safran et tomate) connus au niveau du Touat, Wadi Rig, Mzab, et principalement à Souf et les Ziban (**madrp.gov.dz**).

Cependant, avec le changement climatique et la présence de ravageurs envahissants, il y a une grande perte de biodiversité en raison de leur incapacité à s'adapter à tout cela. On constate que 75% de la diversité génétique a disparu en 100 ans, 75% de la nourriture <12 plantes et 5 espèces animales (**Bruno, 2017**). Les maraîchers de cette région utilisent donc de plus en plus de pesticides pour lutter contre les ravageurs et les maladies des cultures pour réduire le taux des pertes agricoles (**Diop, 2013**).

5.2. Domaines d'application des pesticides

L'évolution des pesticides en industrie a contribué grandement à une progression du secteur agricole grâce à leur importance multiple notamment dans la protection des cultures de toute menace pouvant survenir (**Vaudano, 2018**), par l'envahissement des ravageurs qui peuvent minimiser la quantité et la qualité des produits agricoles (**Lalancette, 2012**). L'importance des pesticides ne se limite pas à cela, ils aident à maintenir la qualité des aliments et à obtenir des produits sains qui évitent les allergies ou les empoisonnements chez certaines personnes comme par exemple l'exploitation des fongicides comme un complément des pratiques culturales contre certains champignons producteurs de mycotoxines dangereuses. En outre, l'application des pesticides peut prolonger la durée de vie des cultures et permet d'empêcher les pertes après récolte ce qui garantit l'obtention de récoltes régulières. L'exploitation des pesticides couvre un autre secteur très vaste qui est le secteur industriel (**Magdelaine, 2013**) qui permet le stockage et la conservation idéale de diverses céréales, ainsi que d'autres fruits, ce qui améliore mieux la qualité des produits au niveau sanitaire, gustatif et organoleptique.

En sylviculture, l'utilité des fongicides et des insecticides est indispensable lors du stockage du bois pour éviter son altération par toute sorte d'espèce indésirable. (**Boland et Florijn, 2004**).

Ces substances sont également utilisées en médecine pour limiter la multiplication de certains microorganismes des matériaux vétérinaires et aussi pour le contrôle de la santé humaine contre certains vecteurs de maladies (malaria, typhus, paludisme ...etc.), ce qui limite la propagation des épidémies. Selon l'OMS le seul insecticide (DDT) a sauvé 25 millions de vies humaines touchées par le paludisme (**Boland et Florijn, 2004**).

6. Règles essentielles d'utilisation des pesticides

L'envahissement des pesticides dans notre société moderne particulièrement au secteur agricole contribue à l'amélioration de notre qualité de vie (**Bouziati, 2007**). Leur utilisation

est conforme à des critères stricts et non pas au hasard. Cependant, les agriculteurs doivent connaître la dose appréciable ainsi que les propriétés chimiques et physiques de la molécule active de lutte antiparasitaire à appliquer aux ravageurs cibles. L'application de cette dose est basée sur plusieurs paramètres : l'intensité et la nature des organismes nocifs, l'ampleur des dommages sur les cultures, l'estimation de perte de la production agricole et aussi le coût des dépenses économiques par rapport aux rendements et des bénéfices réels des pesticides sur les cultures (Agoussar, 2017). Dans le même contexte, le rendement agricole dépend précisément de la quantité des pesticides utilisés ce qui a créé une corrélation entre eux. Quand la dose applicable dépasse un certain seuil, de divers facteurs limitant interviennent entraînant un décroissement des rendements. L'application de fortes doses destinées à combattre les organismes nuisibles peut provoquer une perte dans le contrôle et même infecter les organismes non visés bénéfiques pour les plantes. En revanche, lorsque la dose est accrue, on peut avoir une stabilité de rendement (Arkoub, 2012).

7. Les pesticides dans le monde

Ces dernières années, l'utilisation des pesticides est devenue indispensable dans la plupart des pratiques agricoles quel que soit le niveau de développement économique des pays. Depuis 1945 jusqu'à la fin du siècle, les demandes mondiales de pesticides ont augmenté à travers tous les pays du monde (Bouziani, 2007).

La consommation annuelle de ces produits pourrait dépasser les deux millions de tonnes où la plupart de ces produits sont synthétisés dans les pays industrialisés (Lindquist, 2000) et consommés essentiellement par les pays en voie de développement (Bouziani, 2007).

Les pesticides ont également pris une énorme importance en agriculture notamment dans les pays développés (Amérique du nord, Europe, Japon, etc. ..), en raison des pertes agricoles qui ont atteint un pourcentage élevé qui varie entre 40 et 75%, à cause des nuisibles enregistrés dans ce secteur particulier. L'usage de ces produits s'élargit de plus en plus dans les pays en développement où il remplace peu à peu les organochlorés par d'autres familles chimiques tel que les organophosphorés, les carbamates et les pyréthriinoïdes. Ces derniers sont moins persistants mais plus toxiques dans l'espace environnemental (Magdelaine, 2013).

Dans le monde, en Europe en particulier, les herbicides sont les pesticides les plus utilisés (Aubertot *et al.* , 2005). Ils présentent le pourcentage le plus élevé d'environ 46% en raison de la forte augmentation des cultures de maïs et de soya (Gagné, 2007), suivi par les fongicides et les insecticides avec respectivement 26% et 25 %. Ils sont utilisés dans le

traitement de divers cultures telles que de la pomme de terre et le tabac (Gagné, 2007). Les 3% restants renferment les nématicides et d'autres produits divers (Ayad-Mokhtari, 2012). La consommation des pesticides dans le secteur agricole dépasse clairement les 95% où la France a été classée comme le premier utilisateur de pesticides en Europe et le quatrième au plan mondial derrière les Etats unis, le Brésil et le Japon (Aubertot *et al.*, 2005).

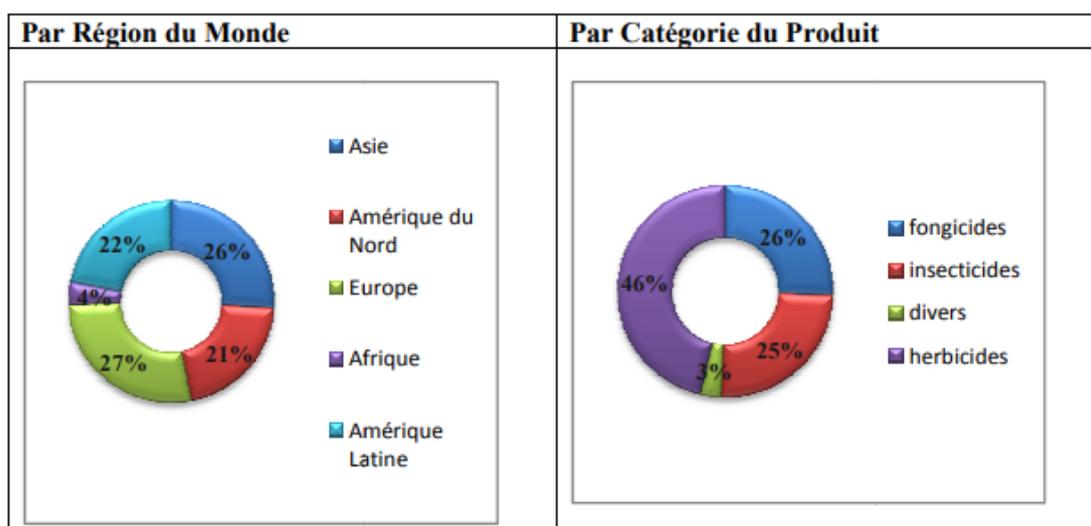


Figure 7 : Le marché mondial des pesticides (Ayad-Mokhtari, 2012)

8. Les pesticides en Algérie

L'utilisation des produits phytosanitaires en Algérie s'est largement répandue avec le développement de l'agriculture. La production de ces produits est réalisée par des sociétés indépendantes comme Aasmidal et Moubydal (Bouziანი, 2007). En 2009, le marché algérien a connu une évolution importante où les importations atteignent les 67 millions de Dinars (Ayad-Mokhtari, 2012). La consommation des pesticides dépasse plusieurs tonnes pour le traitement des cultures afin de lutter contre les parasites, d'assurer un meilleur rendement et limiter la croissance de toute pathologie vectorielle tel que leishmaniose qui peut entraîner des perturbations environnementales (Bouziანი, 2007). Les pesticides les plus utilisés sont les pyréthrinoides, les organophosphorés et les carbamates, ils sont par pulvérisation ou épandage dans les zones touchées par les criquets, dans le sud et sur le tell (Bouziანი, 2007).

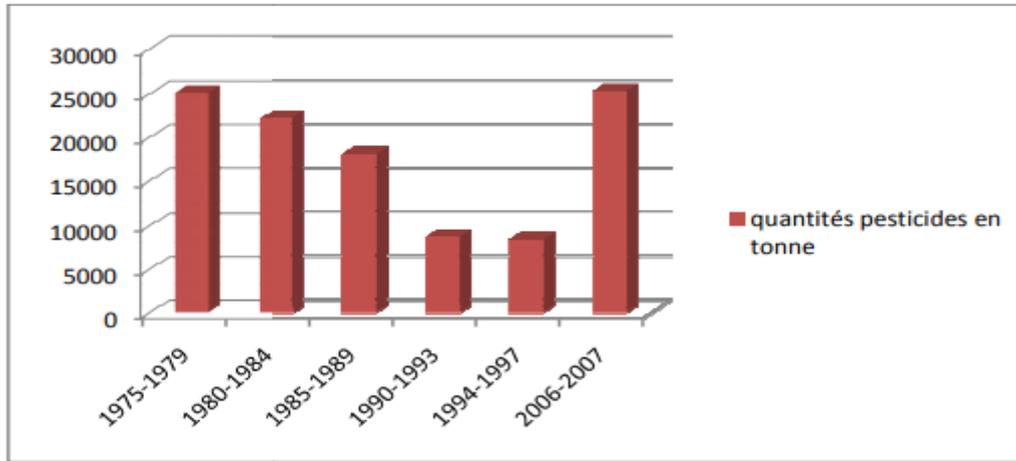


Figure 8: Quantité de produits phytopharmaceutiques importés en Algérie en tonnes depuis 1975 jusqu'à 2007 (Ayad-Mokhtari, 2012).

9. Éco-toxicologie des pesticides

Au cours de ce dernier siècle l'exploitation de tous les produits phytosanitaires engendrent un effet négatif sur l'écosystème naturel (Berrah, 2011) et provoquent la contamination des milieux abiotiques comprenant l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère, sans oublier son impact contagieux sur les êtres vivants (l'homme, l'animal et les microorganismes...etc.) (Rezkallah, 2020).

9.1. Effets sur le sol

Le sol est l'un des écosystèmes les plus touchés par les pesticides. En effet la propagation de ces produits dans cet écosystème dépend de leur état physique. Quand ils sont en phases liquide ou gazeuse, ils sont disponibles à la dégradation par les microorganismes (épuration), ensuite ils vont rejoindre les nappes d'eau. Par contre, quand ils sont en phase solide, ils restent collés dans le sol (stockage), où ils peuvent persister pendant plusieurs années entraînant la contamination des sols (Berrah, 2011). La persistance des pesticides est l'un des principaux processus qui déterminent le devenir de ces produits dans le sol et leur élimination ainsi du milieu naturel. Cette procédure est liée d'une façon directe à leur dégradation qui est éventuellement de nature biotique (microflore, microfaune) ou abiotique (réactions chimiques) (Mamy *et al.*, 2011). Si les pesticides se représentent sous une forme difficilement dégradable (plus persistants) ou dans un sol à forte acidité, ils forment des liaisons avec certains composants du sol (phénomène de rétention) (Berrah, 2011). Plus leur rétention est importante, plus leur mobilité est faible et du fait il y a moins de

risques de pollution dans les parties profondes des eaux souterraines. Il pourrait y avoir un potentiel de risque sur les eaux de surfaces lors du ruissellement ou des épisodes d'érosions. Donc le contrôle de comportement de ces produits est assuré par ce phénomène (**Mamy et al., 2011**).

Le sol renferme une variété d'organismes vivants qui se différencient par leur forme ainsi que leur fonction, celle qui participent au recyclage de la matière organique d'une faible masse moléculaire, d'autres qui se nourrissent du sol vivent dans le réseau de pores et entre les micro-agrégats de celui-ci (**Alix et al., 2005**). Par ailleurs, toutes ces fonctions sont sujettes à l'inhibition lors du traitement du sol par plusieurs molécules tel que les pesticides polluants qui entraînent un impact écotoxicologique sur les cohabitats de cet écosystème (**Soulas, 1999**).

9.2. Effets sur l'air

L'air peut également être exposé aux effets de certains pesticides. La pulvérisation de ces produits provoque une pollution de l'atmosphère dans des zones traitées, et en particulier les zones qui n'ont pas été traitées par ces substances. Plusieurs paramètres sont responsables de la dispersion des pesticides dans l'atmosphère. Il s'agit de l'humidité atmosphérique, la température, et le vent qui est responsable du déplacement des gouttelettes du pesticide très loin et parfois à plusieurs centaines de mètres de la parcelle traitée (**Agoussar, 2017**). Le déplacement de ces substances n'est pas limité qu'à ces conditions, il peut être influencé par les propriétés du produit comme la solubilité, la mobilité et le pouvoir de dégradation ainsi que le type de sol et les diverses pratiques agricoles.

Les dernières études effectuées par un ensemble de géochimistes et d'écologues ont confirmé que les pesticides peuvent polluer de vastes zones, en se déplaçant dans l'atmosphère, avant de retourner avec les variations d'intempéries ou sous forme de sédiments secs (**Berrah, 2011**).

9.3. Effets sur l'eau

Les pesticides sont des agents causaux de la pollution des eaux. Les espèces aquatiques ainsi que les sources d'eau potable sont exposées à la pollution par divers pesticides polluants transportés par les eaux de pluie qui rejoignent les ruisseaux, les rivières et les lacs. En effet, les principaux mécanismes qui conduisent à la propagation de ces produits dans le sol vers les eaux souterraines sont l'érosion, le ruissellement et le lessivage (**Agoussar, 2017**). La solubilité de ces produits au niveau des eaux souterraines menace la qualité de l'eau et

augmente sa pollution (**Gagné, 2007**). Cette pollution est liée à la fois à des facteurs naturels comme le climat, la topographie et la nature du sol et des facteurs anthropiques tels que les pratiques agricoles qui entraînent une contamination diffuse très difficile à contrôler. En revanche, la contamination ponctuelle par les pesticides détermine un danger réel pour le milieu environnemental dont elle s'exprime d'environ 50 à 90% de pollution des eaux. C'est la conséquence de rejet de ces produits dans un point unique et identifiable (**Agoussar, 2017**).

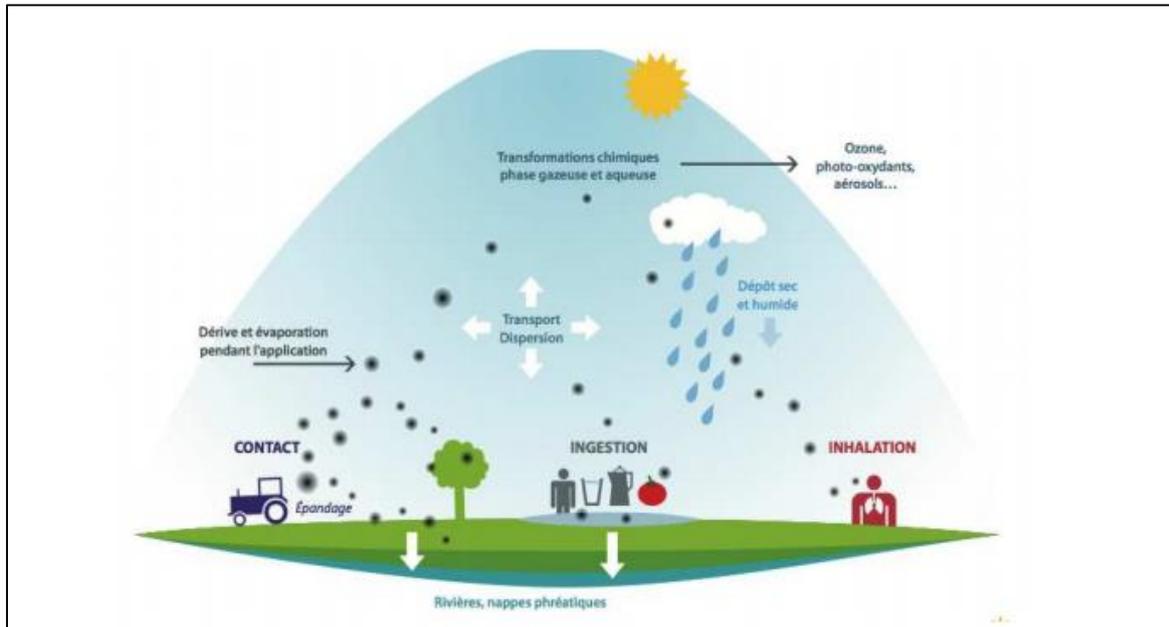


Figure 9 : Comportement des pesticide dans l'environnement et divers voies de contamination (tpepesticides.e-monsite.com) .

9.4. Effets sur la santé de l'homme

L'application de pesticides provoque une pollution des sols, de l'eau et de l'air. Ces composés ou métabolites intermédiaire sont formés lors de leur décomposition biologique entraînent la contamination d'échantillons des produits alimentaires et agricoles dans de nombreux pays. Quelques soit les nombreux effets des pesticides sur l'environnement, sa toxicité ne se limite pas aux espèces que l'on veut éliminer parce que la migration de ces polluants entre ces compartiments de l'environnement peut présenter certains risques affectants d'une manière ou d'une autre l'homme et les écosystèmes, avec un impact à court ou à long terme. Cependant, dans nos aliments plus de 50% des fruits et des légumes contient ces produits phytosanitaires appliqués en agriculture de façon intensive. Ces polluants empruntent un chemin dans notre corps à travers l'eau et les aliments consommés. Donc on peut estimer que nos organes contiennent des centaines de molécules toxiques qui

pénètrent dans le corps humain par plusieurs voies : par ingestion volontaire ou involontaire (mains souillées, conjonctive de l'œil) où par inhalation (d'aérosols ou de poudres), par contact avec la peau (cutané muqueuse) (**Agoussar, 2017**).

On distingue deux types d'exposition : l'exposition directe et l'exposition indirecte. La première est due aux manipulateurs des produits (les agriculteurs) lors de la préparation, l'application, nettoyage des appareils ...etc. elle est dite exposition primaire puisqu'elle est ponctuelle et survient pendant les périodes de traitement. La deuxième est dite exposition secondaire, elle concerne l'ensemble de la population des manipulateurs, les consommateurs (les femmes enceintes, les enfants ...etc.). Cela est dû à leur exposition aux résidus découlant de l'utilisation de pesticides, à travers l'alimentation et l'environnement. Cette toxicité est le résultat d'une accumulation de ces molécules avec un seuil de concentration bien déterminée. (**Batsch, 2011**).

La contamination de l'organisme humain par les pesticides peut causer un déséquilibre du système hormonal (perturbateurs endocriniens) ou toucher le système immunitaire (chute de production d'anticorps, réactions d'hypersensibilité retardée). L'exposition chronique à certains pesticides peut déclencher plusieurs formes de cancer (cancer du sein, de la prostate, des poumons, du cerveau, du colon, des testicules, du pancréas, de l'œsophage, de l'estomac, et du sang). Plusieurs études expérimentales ont recensé 70 pesticides ayant été déclarés cancérigènes probables ou possibles pour l'humain (**Pierre, 2014**). Les pesticides les plus appliqués et qui conduisent au plus grand nombre d'intoxications sont :

- les fongicides, comme le sulfate de cuivre et soufre provoquent des irritations de la peau et des muqueuses en cas de projection et d'inhalation, en cas d'ingestion il y a apparition de des diarrhées et des vomissements.
- les insecticides tel que les organophosphorés et carbamates anticholinestérasiques, ces produits ont une bonne pénétration cutanée, ils sont toxiques par voie respiratoire.
- Les herbicides comme les phytohormones de synthèse qui provoquent des irritations locales de la peau, des yeux, et des voies respiratoires, ils entraînent une dépression du système nerveux central et des troubles cardio-vasculaires en cas d'une exposition massive (**Batsch, 2011**). Selon l'OMS le nombre de cas d'intoxication accidentelle aux pesticides dans le monde est estimé à un million par an alors que 20000 personnes trouvent la mort (**Hayo et van der., 1997**).

9.5. Effets sur la microflore

Les micro-organismes sont les premiers organismes exposés inévitablement aux différents polluants du sol d'origine agricole ou industriel ce qui impose un effet toxicologique d'une façon directe ou indirecte (**Pascal, 2007**). Ces effets sont déclenchés par l'enchaînement de divers paramètres environnementaux comme la température, et le type de sol qui peuvent influencer sur la disponibilité, la persistance et la toxicité des pesticides et également sur le métabolisme microbien (**Alix *et al.*, 2005**). Auparavant, les propriétés de taille et d'activité des microflore étaient considérées comme étant les plus étroitement liées aux performances biologiques du sol et comptaient parmi les meilleurs indicateurs de l'effet toxique écologique des pesticides (**Soulas, 1999**). A l'heure actuelle, ces indices sont critiqués à cause des adaptations physiologiques et structurelles qui sont associées à la réponse microbienne (**Soulas, 1999**). Ces contaminants assurent à la fois la destruction de populations sensibles et aident à l'émergence de populations tolérantes à leur toxicité (**Martin-Laurent, 2013**). Donc les descripteurs de diversité ont compté sur d'autres niveaux plus spécifiques métaboliques et génétiques (**Soulas, 1999**).

Cependant, l'impact éco-toxicologique est exprimé généralement lors de l'utilisation de doses considérables de pesticides ce qui provoquent le ralentissement de l'activité microbienne, modifiant ainsi les caractéristiques physiologiques de la microflore tellurique et aboutissant à une diminution de la biodiversité. Tous ces changements qui atteignent le sol sont à l'origine de la pression sélective des espèces résistantes aux polluants qui peuvent être utilisés comme source de carbone et d'énergie pour leur développement (**Pascal, 2007**). Ainsi l'adaptation aux polluants modifie et élargit l'évolution de la communauté microbienne des sols, tant dans sa composition que dans son abondance, ce qui peut limiter sa fonction (**Martin-Laurent, 2013**). Par ailleurs, certaines communautés microbiennes comme les cyanobactéries et les micro algues tolèrent différentes molécules xénobiotiques notamment les herbicides alors que d'autres bactéries et champignons peuvent être touchés par l'effet nocif de ces substances (**Pesce *et al.*, 2009**) comme les lichens qui disparaissent de certains écosystèmes (**Alix *et al.*, 2005**).

Pour étudier l'abondance et la diversité de la population microbienne dans les environnements exposés aux pesticides, un groupe scientifique a mené des recherches sur des habitats aquatiques. Ces écosystèmes sont souvent intégrés à l'intérieur et autour des terres agricoles et sont fréquemment exposés à ces contaminants. Leurs recherches étaient axées sur

les effets seuls et combinés de deux herbicides (atrazine, glyphosate) et de trois insecticides (malathion, carbaryl, perméthrine) sur les communautés microbiennes des habitats aquatiques. Le séquençage MiSeq de la région V4 du gène de l'ARNr 16S bactérien a été utilisé pour caractériser les communautés microbiennes de microcosmes intérieurs qui étaient soit exposés à chaque pesticide seul, soit à un mélange d'herbicides et d'insecticides. Les résultats obtenus dans ces investigations sont sans appel et confirment l'effet des pesticides sur la diversité microbienne. En effet, le mélange d'insecticides (malathion, carbaryl, perméthrine) a réduit la diversité et la richesse microbienne. Le mélange carbaryl et perméthrine, ont également modifié la structure de la communauté microbienne.

Cependant, le mélange d'herbicides (l'atrazine et le glyphosate) n'a aucun effet sur la diversité microbienne et sur la structure de la communauté microbienne. Ces résultats n'étaient pas attendus, puisque dans études précédente utilisant un modèle expérimental similaire avait révélé que les deux herbicides peuvent induire des changements dans la communauté microbienne. La différence entre ces deux expériences réside dans les changements de concentration des deux herbicides dans le milieu et aussi dans l'abondance microbienne. Les travaux montrent clairement que les communautés microbiennes réagissent différemment aux concentrations des deux herbicides. Les chercheurs sont arrivés à la conclusion que l'atrazine et le glyphosate, peuvent retarder l'apparition des effets négatifs sur les communautés microbiennes, jusqu'à des concentrations élevées dans le milieu (**Muturi et al ., 2017**).

La combinaison entre insecticides et herbicides a réduit la diversité microbienne et a provoqué des modifications structurales de la communauté microbienne. L'effet était plus perçut au jour 7 qu'au 3 jour (**Muturi et al ., 2017**).

Ces changements apparus sur les communautés microbiennes suite à une exposition aux pesticides, peuvent résulter des effets toxiques de ces substances sur certains groupes microbiens. La prolifération d'espèces tolérantes en raison d'une concurrence pour l'espace et les nutriments est également possible. Certains microbes sont également capables d'utiliser des pesticides comme source de carbone, d'azote, de phosphore et d'énergie en bénéficiant d'une exposition aux pesticides. Les mélanges de pesticides peuvent supprimer certaines espèces microbiennes tout en stimulant la croissance et la survie d'autres. Cela est bien vérifié dans les travaux de (**Muturi et al ., 2017**). Qui indiquent que le mélange des pesticides pourraient avoir affecté les communautés microbiennes sensibles à l'exception de 3 taxons OTU 2 (*Terrimonas*), OTU 3 (*Methanosarcina*) et OTU 11 (*Hydrogenophaga*), qui peuvent avoir bénéficié d'une exposition aux pesticides. Ces expérimentations n'ont pas pu

déterminer si l'effet des mélanges de pesticides était soit dû à des effets synergiques entre les pesticides, soit à une concentration globale plus élevée de pesticides dans les microcosmes (Muturi et al., 2017). Des études en laboratoire ont été faites pour savoir s'il existe un effet synergique entre les pesticides. Une recherche a été menée pour étudier l'influence du chlorothalonil sur la dégradation du chlorpyrifos et ses effets sur les populations bactériennes, fongiques et actinomycètes du sol. Les résultats indiquent une réduction significative de la population microbienne par le chlorpyrifos seul (témoins), et l'inhibition a augmenté avec l'ajout de chlorothalonil. Ce qui explique que l'effet inhibiteur du chlorpyrifos sur les microorganismes du sol a augmenté sa combinaison avec le chlorothalonil. D'après ces résultats, il est donc suggérer que les effets combinés devraient être pris en compte pour évaluer les effets réels des applications de pesticides (Diez, 2010).

Les changements induits par les pesticides peuvent affecter la croissance, la survie et la reproduction individuelle des microorganismes. Ils peuvent se manifester à la fois au niveau de la population (croissance de population) et sur la communauté (structure du réseau trophique, richesse en espèces). Ce qui entraîne par la suite, des perturbations dans les fonctions écosystémiques, si les microorganismes tolérants sont incapables de compenser la perte de fonction associée aux microbes sensibles aux pesticides. Ces expériences ont montré comment les changements causés par les pesticides pouvaient affecter les communautés microbiennes qui ont un rôle médiateur clé dans les processus écosystémiques tels que la décomposition, le cycle des nutriments et la biorestauration (Muturi et al., 2017).

9.6. Effets sur la faune

L'exposition aux pesticides constitue également une menace majeure pour la faune soit en inhalant des vapeurs soit à travers leur peau, ou encore par consommation d'aliments ou de l'eau contaminées par ces produits. Certains insecticides peuvent affecter les animaux sauvages en touchant leur système nerveux, ce qui limite leur capacité à survivre ou à se reproduire, conduisant éventuellement à l'empoisonnement des prédateurs lorsqu'ils s'attaquent à ces animaux infectés par ces pesticides. L'utilisation de certains types de contaminant comme les herbicides qui luttent contre les mauvaises herbes peut influencer les autres plantes. Ce qui conduit à des pertes dans les cultures et dans la faune. Ces pesticides peuvent également traverser le placenta ou affecter les œufs d'oiseaux à de très faibles concentrations qui arrivent par exemple à 0.000001 g de produit phytosanitaire présent dans 1 litre d'eau, soit de l'ordre de $\mu\text{g/L}$). Les reptiles sont également touchés en provoquant une

faiblesse et des imperfections qui apparaissent plus tard dans la vie et qui se traduit par des troubles de la reproduction (**Berrah, 2011**).

D'autre part, la pollution des milieux aquatiques par les pesticides met en jeu la vie des poissons, les amphibiens et les insectes aquatiques. Ces créatures sont susceptibles d'être contaminées par ces polluants ce qui se répercute par la suite la contamination de leur prédateur. Néanmoins, il existe deux types de toxicité par les pesticides On distingue une toxicité aiguë (pollution létale a des fortes concentrations) et une toxicité chronique (exposition prolongée à des polluants mais à faible concentration qui peut entraîner des malformations congénitales voire la mort prématuré des individus) (**Berrah, 2011**).

10. Pollution des sols par les pesticides

Les produits phytosanitaires (engrais et produits chimiques) utilisés pour lutter contre les mauvaises herbes et les ravageurs, contiennent des éléments qui ne sont pas entièrement dégradables. Ce qui conduit à une pérennité dans le sol, entraînant de nombreuses pollutions dans ce compartiment par ruissellement grâce aux pluies vers les cours d'eaux ou par infiltration vers les eaux souterraines (**www.mtaterre.fr**). Les pesticides sont susceptibles de produire des effets néfastes après des dizaines, voire des centaines d'années après leur utilisation. Cela dépend du taux d'infiltration dans le sol, de l'humidité du sol, de la teneur en matière organique, du pH et de la nature des pesticides (**Jeannot et al ., 2001**).

A l'origine, on dit qu'un sol est contaminé lorsqu'il contient une concentration anormale de composés chimiques susceptibles de présenter un risque pour la santé des humains, pour les plantes ou pour les animaux. Cette pollution passe soit par le système digestif (consommation d'eau polluée, par exemple), ou par le système respiratoire (inhalation de poussières de sols pollués) (**risques environnementaux-collectivites.oree.org**).

10.1. Formes de pollution

La pollution des sols est divisée en deux types:

a - Pollution locale

Elle se caractérise soit par une propagation ponctuelle des polluants contenant des substances dangereuses ou bien sous forme d'un dépôt dans les sols.

b - Pollution diffuse

Elle comprend la diffusion de nombreux polluants sur de grandes surfaces. Elle implique de faibles concentrations et proviennent généralement d'épandage de produits (engrais et pesticides).

Pour chacun de ces deux formes de pollution, on distingue deux types:

- **Pollution accidentelle:** C'est une pollution ponctuelle et momentanée causée par des déversements ou des dépôts de polluants.
- **Pollution chronique:** C'est une contribution continue à la pollution par fuite par exemple, dont les effets cumulatifs peuvent être importants que celle de la pollution accidentelle (Jeannot *et al.*, 2001).

Chapitre III

Le sol rassemble plus de 100 millions à 1 milliard de bactéries par gramme, certains d'entre eux savent neutraliser les produits toxiques en se nourrissant de ces polluants. La teneur en matière organique dans les sols arides est faible, surtout l'azote organique. Le rapport avec le carbone (C/N) est inférieur à 10%, ce qui traduit la faiblesse des deux éléments les plus importants qui aident à renseigner sur l'activité biologique.

1. La dégradation des pesticides

La persistance des pesticides ou de leurs métabolites présente un risque de propagation d'un compartiment à un autre. Ainsi, de nombreux processus se chevauchent sous forme de phénomènes indépendants les uns des autres tels que les transformations biologiques des pesticides par les êtres vivants comme les mammifères, les insectes, les plantes et les microorganismes (**Domange, 2005; Savadogo, 2001**) et non biologiques, par divers réactions chimiques (**Domange, 2005**). Ces phénomènes parfois complémentaires entraînent une minéralisation complète ou partielle des produits phytosanitaires (**Grébil *et al.*, 2001**).

1.1. La dégradation abiotique

C'est un phénomène soit chimique ou photochimique (**Grébil *et al.*, 2001**).

1.1.1. Transformation chimique

La transformation des pesticides est liée généralement à l'action de plusieurs paramètres environnementaux (**Savadogo, 2001**). Certains facteurs chimiques, influencent la dégradation ou la transformation des pesticides. Il s'agit principalement de propriétés de la surface, la présence de cations, le pH, la température et le taux d'humidité (**Domange, 2005**). Par exemple, c'est pour l'isofenphos, qui est un insecticides à large spectre, sa dégradation était plus grande entre 35°C par rapport à 25 et 15°C.

D'autres comme les organophosphates, le fénitrothion par exemple, marque une grande stabilité thermique et ne s'évaporent pas (**Savadogo, 2001**). Il est démontré qu'une partie de la molécule active du polluant entre en contact avec la surface des constituants du sol (argile, matière organiques, oxyde métallique) (**Grébil *et al.*, 2001**). Plusieurs études ont montrés que la vitesse d'hydrolyse la plus élevée été observé en milieu alcalin. Par exemple, le tétrachlorvinphos s'hydrolyse bien dans un intervalle de pH entre 5.75 et 9. Alors que d'autres études ont signalés que le chlorpyriphos présente une demi-vie de 72 jours à pH 7 alors qu'à pH 9 elle n'est que 16 jours. En effet, la stimulation de l'hydrolyse des pesticides peut être assurée par certains ions métalliques. Par exemple, ceux qui participent à l'hydrolyse

des pesticides organophosphorés sont: le Pb^{2+} , le Zn^{2+} et le Cu^{2+} . Ces derniers forment des complexes avec d'autres molécules ce qui favorise ainsi l'hydrolyse de ces composés (Savadogo, 2001). D'autre part, les acides humiques exercent aussi un rôle dans la dégradation abiotique des pesticides. C'est le cas par exemple de l'atrazine leur hydrolyse augmente progressivement avec la teneur en acides humiques ou fulviques alors que pour la furanone ces acides jouent un rôle protecteur (Grébil *et al.*, 2001).

1.1.2. Transformation physique

Autrement dit la photo-dégradation qui est un processus omniprésent dans l'eau, l'atmosphère, la surface du sol et dans les plantes. Elle peut être la principale voie de dégradation mais dans d'autres cas elle peut être banale. Ce traitement est lié fondamentalement à l'action des rayonnements ultraviolets ou visibles (Domange, 2005). La majorité des pesticides ont un intervalle d'absorption compris entre 200 et 400 nm, ce qui entraîne la décomposition de ces molécules créant par la suite des substances avec un taux de toxicité généralement inférieur à celui de la molécule mère. Le taux de photolyse des polluants dépend du compartiment exposé à la lumière solaire. Les organochlorés et les pyréthrinoides par exemple, sont parmi les pesticides qui la lumière du soleil est la source majeure de dégradation.

D'un point de vue environnemental, la décomposition abiotique ne contribue souvent qu'à une perte du pouvoir toxique de la substance active et ne participe généralement pas à une minéralisation complète du pesticide. Il est donc nécessaire d'assurer une biodégradation naturelle qui semble plus efficace (Grébil *et al.*, 2001).

1.1.3. Les voies abiotiques de dégradation des pesticides

Le devenir des pesticides est contrôlé par des processus tels que la photolyse, l'hydrolyse, l'oxydation ou réduction et biodégradation (Walker *et al.*, 1988).

Les processus de dégradation non biologique jouent un rôle important dans la dissipation de nombreux pesticides dans le sol, dans lequel cette voie de dégradation passe principalement par plusieurs réactions chimiques. Les réactions d'hydrolyse sont des étapes importantes dans la dégradation de nombreux composés pesticides. (Armstrong et Konrad, 1974). Elle pourrait entraîner la production d'un produit de toxicité similaire ou supérieure à celle du produit chimique d'origine (Walker *et al.*, 1988). Dans le sol, le bénomyl par exemple, est rapidement converti en carbendazime par des processus abiotiques pour qu'il soit disponible pour une dégradation biotique parce qu'aucune bactérie n'est capable de dégrader le

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

benzimidazole (**Schrijver et Mot, 1999**). En effet, dans le sol, les réactions catalysées par sorption semblent être particulièrement importantes pour deux groupes de pesticides (les herbicides chloro-s-triazine et les insecticides organophosphorés). Il existe d'autres réactions chimiques induites par le rayonnement électromagnétique (altération et/ou de dégradation) vers des pesticides appliqués sur le sol. Ces réactions ont une importance potentielle dans la dégradation des pesticides dans le sol malgré la forte sensibilité de ces composés aux réactions photochimiques. Cependant, le rôle des réactions photochimiques dans la dégradation des pesticides dans le sol reste incertain. Diverses autres réactions chimiques, en plus de l'hydrolyse et de la photodécomposition, sont importantes pour certains pesticides (**Armstrong et Konrad, 1974**).

Concernant la dégradation sous l'effet des rayonnements solaire ultraviolet des matières organiques naturelle ainsi que des polluants organiques, des études ont été réalisées sur la dégradation photochimique de trois HAP; anthracène, phénanthrène et naphthalène. Les deux premiers polluants étaient rapidement photodégradés (demi-vies de 1 et 20, 4 heures, respectivement) par rapport au naphthalène qui a une demi-vie photochimique qui dépassé les 100 heures. La photodégradation est très probablement un mécanisme d'élimination le moins important pour ce dernier composé. Le taux de dégradation de ces trois HAP peuvent être influencé par la présence des substances humiques où le phénanthrène a considérablement ralenti aux forte concentrations de ces substances par contre la photodégradation de l'anthracène n'ait pas été affectée par ces ajouts. Ces deux réponses différentielles peuvent être expliquées par des différences d'absorbance spectrale des deux composés (**Bertilsson et Widenfalk, 2002**).

De nombreux autres examens ont été mis en évidence dans la mobilité et la dégradation des pesticides dans les sols, ainsi que la pollution des ressources des eaux souterraines et de surface. Ils ont montré que cet ensemble de processus est influé par des caractéristiques physico chimiques (la teneur en matière organique et en argile, le pH, sur la sorption/désorption et sur la durée de persistance des pesticides au niveau du sol. Le phénomène d'adsorption peut également être soumis à de nombreuses influences anthropiques comme l'ajout d'amendements organiques et de nutriments. Cela influence sur le mouvement et la biodégradation des pesticides (**Diez, 2010**).

La température et l'humidité sont parmi les facteurs environnementaux qui affectent le comportement des pesticides dans le sol où l'humidité ayant un poids relatif plus important que la température. Plusieurs expériences ont été appliqués sur cinq fongicides flutriafol,

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

époxiconazole, propiconazole, triadiméfon et triadimenol où les auteurs sont arrivés à prouver une relation opposée entre la température du sol et le taux de dégradation de ce type de pesticides. Pour simplifier cette relation, l'exemple de l'atrazine et le lindane détermine une toxicité assez élevée dans des sols où la température est très basse. À côté de ces recherches ils ont apporté que la température du sol affectait le potentiel de lessivage de trente pesticides autres que les précédentes dans les eaux souterraines. Ils ont indiqué que la contamination par ces composés varie selon les conditions climatiques (Diez, 2010). D'autres études ont été supposées sur le régime d'humidité où le chlorpyrifos est le composant de base dans la recherche. Il été observé que sa dégradation est plus rapide dans les sols secs à l'air et un peu plus lentement dans les sols à des conditions submergées.

Outre ces deux facteurs, le pH a montré une autre approche importante concernant l'adsorption des composés avec des groupes fonctionnels acides sur le sol. Comme le cas de la sorption du chlorophénol dans le sol, en supposant un partage hydrophobe des espèces neutres en matière organique du sol (Diez, 2010). Les deux principaux phénomènes de rétention des pesticides, sont l'adsorption et la désorption. Ils permettent la détermination de leur transport, de leur transformation et leurs effets biologiques. L'Atrazine par exemple, est généralement retenu sur l'argile silicatée par adsorption qui peut être physique ou chimique. Cela contribue à leur rétention par la matière organique du sol. En revanche, dans un sol à faible teneur en argile ou en matière organique, l'atrazine devient modérément à très mobile dans ce milieu. Donc, la teneur en argile et la matière organique jouent un rôle important dans ce processus de rétention. Les processus non biologiques incluent des réactions de photodé-composition et des réactions d'oxydation comme dans le cas de la transformation de molécule d'atrazine en hydroxyatrazine qui peuvent également être catalysée par l'argile ou la matière organique du sol (Monard, 2008) (Fig. 10).

A propos de la persistance, Diez, 2010 démontre dans ses travaux que l'adsorption et le mouvement de la flumioxazine dans le sol, que sa réduction (DT50) dans le sol est de 3 mois. Le terme demi-vie (DT50) explique la vitesse de dégradation des pesticides indiquée en années, en mois ou en jours. Chaque pesticide possède sa propre valeur de demi-vie, qui signifie que la moitié de quantité reste en place alors que l'autre moitié a été éliminée sous l'effet de dégradation. Ce processus peut avoir lieu par des organismes biologiques (bactéries, champignons), ou bien par plusieurs interactions physico-chimiques notamment la température, le rayonnement lumineux et l'acidité des sols.

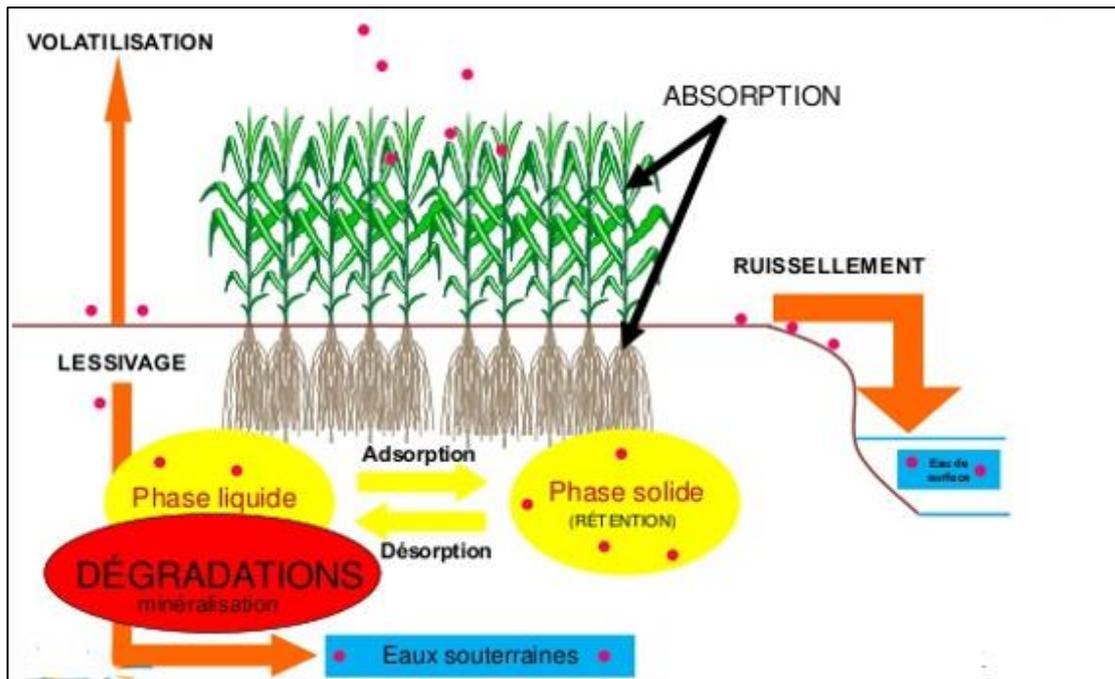


Figure 10: Divers processus impliqués dans la dispersion des polluants dans les sols arides (fr.slideshare.net/).

1.2. La dégradation biotique

L'usage répété des pesticides sur les parcelles agricoles conduit généralement à l'adaptation des microorganismes du sol qui acquièrent la capacité de décomposer ces particules polluées. Cela est dû généralement à leurs systèmes enzymatiques adaptés. Une dégradation d'origine naturelle, peut se produire au sein des écosystèmes terrestres ou aquatiques (Domange, 2005). Les sédiments de rivière et les eaux usées sont régulièrement contaminés par les pesticides. Ces phénomènes de biodégradation sont souvent observés dans ces niches écologique, afin de réduire le taux de persistance de ces substances (Devers-Lamrani *et al.*, 2014). Cette transformations des pesticides est assuré par un ensemble de microorganismes majoritairement les bactéries et les champignons (pascal, 2007). Ces derniers, ont la capacité à dégrader une vaste variété de composés organiques (Agoussar, 2017). Les algues et les protozoaires, contribuent aussi avec une faible incidence. Ces microorganismes doivent bénéficier de meilleures conditions pour survivre afin de permettre le bon déroulement de ce processus (Agoussar, 2017). La présence d'une diversité microbienne, la nature brute du pesticide, la nature et la composition chimique du sol à côté de la température atmosphérique et le degré de pH, contribuent à la réussite de ce phénomène (pascal, 2007).

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

Les micro-organismes impliqués dans ce processus sont dit indigènes. Ils sont présents naturellement dans les zones contaminées. Ils sont capables d'éliminer les contaminants existants. La stimulation de la rentabilité de ces derniers, repose sur l'ajustement de certains facteurs physico-chimiques ce phénomène est dit biostimulation. Une autre technique permet également de décontaminer les sites pollués. Elle consiste à ramener d'autres microorganismes exogènes et les ajoutés aux milieux pollués. Ce phénomène est connu sous le nom de bio augmentation (**Agoussar, 2017**).

Par ailleurs, on distingue trois mécanismes à l'origine de dégradation microbienne des pesticides. Il s'agit de métabolisme direct, du co-métabolisme et de la conjugaison.

Le métabolisme direct destiné a utilisé le polluant comme étant une source d'énergie ou bien sous forme d'un élément nutritif (C, N, P, S) essentiel pour les microorganismes, qui sera utilisé pour leurs développements et leurs activités. Certaines bactéries peuvent effectuer une minéralisation complète des polluants, alors que d'autres utilisent une partie du polluant. Ces mécanismes nécessitent l'intervention de nombreuses espèces microbiennes pour finaliser la minéralisation des molécules de pesticides pour obtenir des substances inorganiques comme le dioxyde de carbone, l'ammoniac, l'eau, les anions sulfates et phosphates...etc (**pascal, 2007**). Cette dégradation incomplète peut même avoir un effet nocif sur la microflore elle-même et aussi sur l'environnement en général (**Savadogo, 2001**).

Quelques microorganismes transforment le pesticide par des réactions métaboliques, mais ne l'utilisent pas comme source d'énergie et d'éléments nutritifs. L'abondance de système enzymatiques des champignons les rangent parmi les microorganismes fortement employés dans ce processus à large spectre d'activité pour produire des métabolites de propriétés différentes (polarité élevé suivi d'une solubilité dans l'eau et parfois une toxicité non négligeable) de celle du pesticide lui-même (**pascal, 2007**).

Le troisième mécanisme est la conjugaison. Il est un processus dans lequel les pesticides interagissent entre eux ou avec d'autres composés existants naturellement dans une solution de sol (**Domange, 2005**). Ces réaction chimiques étant catalysées par des enzymes exocellulaires, si la conjugaison réunit plus de deux molécules on parle de condensation (**pascal, 2007**).

En générale, pour qu'un microorganisme puisse dégrader un pesticide, il faut avoir cette 'information génétique dans son patrimoine ADN ou sur des éléments génétiques mobiles et échangeables comme les plasmides. Ces échanges s'effectuent entre des espèces ou même des genres bactériens différents, ce qui engendre l'apparition de souches hybrides.

L'assemblage des microorganismes autotrophes et hétérotrophes forment des communautés microbiennes de sensibilités différentes. Ces microbes sont capables de faire face au divers changement environnementaux et d'interférer dans de nombreux processus écologiques majeurs notamment la régulation des cycles biogéochimiques ou l'autoépuration des zones contaminées (Pesce, 2013).

Plusieurs microorganismes ont montrés leurs capacités d'éliminer les pesticides dans le sol et dans d'autres écosystèmes. Ce sont surtout les *Pseudomonas* qui ont montrés ces grandes aptitudes (Savadogo, 2001). Les actinobactéries présentent aussi un grand potentiel. Ce sont beaucoup plus les *Streptomyces* et les *Micromonospora* qui ont été démontrés dans de nombreuses investigations (Fuentes *et al.*, 2010).

2. Microorganismes impliqués dans la biodégradation des pesticides

L'application régulière et où en grande concentration de différentes molécules xénobiotiques dans les milieux arides à donner la possibilité aux microorganismes de sol de s'adapter à ces polluants et acquis la capacité de les métaboliser et de les utiliser comme source nutritive dans un milieu où les nutriments sont rares .De plus , cette capacité de minéralisation de ces polluants s'effectue via une seule souche où bien en s'organisant en consortia bactériens. Cette adaptation se réalise selon différents évènements qui sont à l'origine liée à la forte plasticité du génome microbien et le faible temps de génération.

Grâce à ces processus d'adaptation, les microorganismes les plus aptes à résister ou à dégrader les molécules xénobiotiques vont être sélectionnées et au fur et à mesure vont représenter une plus grande fraction de la population microbienne totale qu'avant la présence du xénobiotique (Diez, 2010).

(Monard, 2008) a montré que cette plasticité est liée également à des évènements de recombinaison homologe (réarrangements de l'ADN) ce qui fait augmenter le contenu génétique.

2.1. Les bactéries

La biodégradation des pesticides est classée parmi les processus majeurs dans la dépollution des sols arides. Elle est liée principalement à l'acclimatation des bactéries à ses composés (Savadogo, 2001). Cela résulte de l'application répétée de pesticides dans le même champ pendant un certain nombre d'années, ce qui favorise le développement d'une population microbienne active dans le sol, possédant des capacités de dégradation des composés polluants (Diez, 2010). Les bactéries jouent un rôle important dans la

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

transformation de tous types de ces substances même les plus persistants. L'étendue du métabolisme bactérien est un facteur majeur, soit par utilisation des composés comme sources d'énergie ou nutriments (carbone, azote, phosphore, ou soufre), ou par co-métabolisme avec d'autres substrats favorisant la croissance bactérienne. Ce dernier s'est probablement considéré comme le plus large mécanisme de propagation pour la dégradation des pesticides. Les gènes impliqués dans la dégradation de ces substances ont été identifiées et cartographiés sur des plasmides et ou des chromosomes et parfois sont transportés par des transposons. Il est actuellement prouvé que l'activité des éléments transposables, les réarrangements d'ADN, les transferts entre des souches non apparentées, conduit à l'évolution rapide de certaines souches spécialisées capables d'utiliser ces composés xénobiotiques comme substrats. Les voies métaboliques de biodégradation des pesticides par les bacilles Gram négatif ont été étudiées de manière plus approfondie (**Schrijver et Mot, 1999**).

La famille des s-triazines (triazines symétriques) sont dérivés azotés hétérocycliques. Cette famille englobe plusieurs groupes (la simazine, propazine, cyanazine ...etc) où l'atrazine est le plus connu et largement utilisé dans le monde entier. Plusieurs bactéries peuvent dégrader l'atrazine ont été isolées, mais ces pures cultures ne parviennent souvent pas à dégrader les autres groupes de la même famille.

Certaines populations majoritairement mixtes de micro-organismes se sont avérées capables de minéraliser complètement l'atrazine. Les voies de dégradation des s-triazines consistent en une série de clivages des groupes chloro-, amino- et alkylaminogroupes du cycle s-triazine qui fournit de l'énergie aux microorganismes dégradants. De plus les gènes impliqués dans cette voie de dégradation sont généralement portés sur des plasmides (**Schrijver et Mot, 1999**).

Monard, 2008, a mis en évidence plusieurs expériences dans lesquelles il était basé sur le polluant connu par l'atrazine. Il a été mentionné dans ses études, que les *Pseudomonas sp* présentent une capacité dégradante sous une forte pression de polluant (l'atrazine), où l'ADP a augmenté sa capacité de dégradation en dupliquant le gène atz B intervenant dans le processus par un événement de recombinaison homologue utilisant des séquences d'insertion. Il faut savoir que les gènes impliqués dans la dégradation de molécules xénobiotiques sont associés aussi à des éléments de transposition et où fréquemment localisés sur des plasmides. Ces dégradations peuvent être aussi gérées par l'intervention de plusieurs enzymes qui possèdent une large spécificité. Le métabolisme bactérien des métabolites secondaires issus des plantes (exsudats) joue un rôle important dans le développement d'enzymes dégradant les

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

polluants organiques grâce à leur forte similarité à certains polluants. Ce qui aide à l'acclimatation rapide des bactéries. Ce genre de ces bactéries ayant le pouvoir de conserver cette capacité de dégradation soit par la formation des spores où d'autres formes de résistances ce qui leur permet de mieux survivre à des conditions non optimales.

D'autre études ont montré que le métabolisme de l'atrazine impliquait des réactions d'hydroxylation, de déalkylation et la dechlorination de l'atrazine en hydroxyatrazine où de nombreux chercheurs ont réussi à isoler différents types de bactéries capables de décomposer l'atrazine et l'utiliser comme la seule source de carbone et d'énergie tel que les trois espèces de *Pseudomonas* (*P. putida*, *P. fluorescens* et *P. stutzeri*).

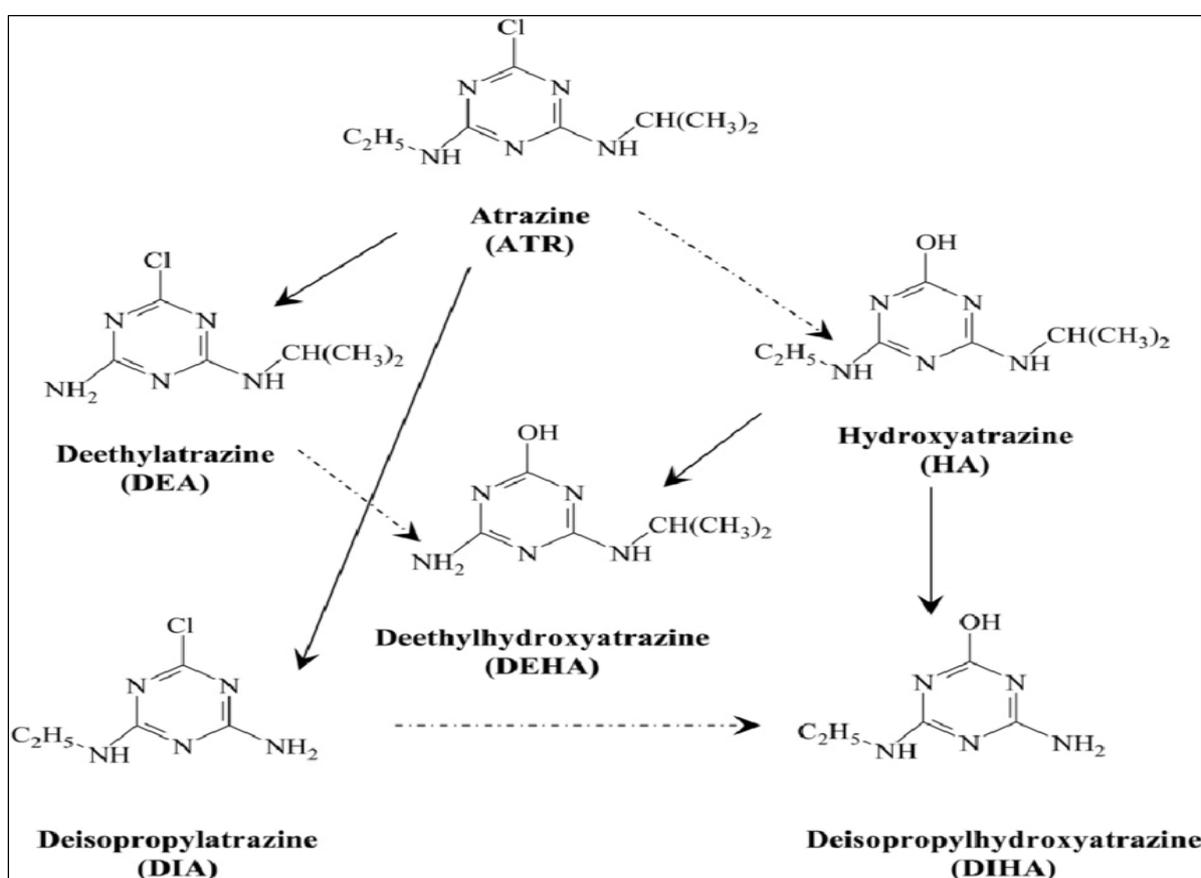


Figure 11: Principales voies de dégradation de l'atrazine (www.researchgate.net).

Plusieurs micro-organismes du sol possèdent les enzymes catalysant l'activation et l'élimination des pesticides dont les organophosphorés. Leurs voies de dégradation passent par deux phases (phase 1 et phase 2).

-La phase 1 : implique des enzymes responsables de l'oxydation, de la réduction et de l'hydrolyse des composés chimiques, avec catalyse de la majorité des biotransformations des pesticides. Par exemple, la fonction des enzymes oxydatives est de convertir les molécules

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

chimiques en leurs dérivés solubles et d'exposé ou d'ajouter par deux systèmes oxydatifs (cytochrome P450 et la fonction amine mixte oxydase), les groupes fonctionnels (OH, SH, NH₂, COO).

-La deuxième phase renferme des enzymes conduisant les réactions de conjugaison sont des glucuronosyl transférases, des sulfo transférases, des N-acyl transférases et des glutathione S-transférases. Les enzymes de la phase 1 et 2 sont considérées comme des enzymes de détoxification. (Savadogo, 2001).

Une étude a montré que la décomposition où la détoxification des pesticides organophosphorés par l'action de microorganismes se fait généralement par l'hydrolyse des liaisons P – O par l'enzyme estérase ou phospho-tri-estérase ou de la phosphatase. Cette réaction est considérée comme l'étape la plus significative de la désintoxication de ces composés. Parmi les étapes importantes de la minéralisation des pesticides organophosphoré, l'hydrolyse primaire de la molécule mère, ce qui rend le composé plus susceptible aux métabolismes supplémentaires.

Le MCP est un pesticide organophosphoré leur taux d'hydrolyse dans les milieux environnementaux dépendent du pH (3 et 9). Leur persistance dans le sol dure 30 jours à pH neutre dans l'obscurité.

Dans une enquête, deux souches isolées d'un sol exposé au MCP pendant plusieurs années, ont été sélectionnés pour des études sur la voie de dégradation d'MCP. Ces isolat pourraient survivre dans ce sol soit en raison de la tolérance au pesticides ou en raison de leur capacité à le dégrader et d'utiliser le MCP comme source de carbone. Les cultures isolées ont été identifiées comme étant *Arthrobacter atrocyanea* MCM B-425 et *Bacillus megaterium* MCM B-423. Ces souches ont une capacité de production des enzymes comme phosphatase et estérase pour exercer leurs activités dégradantes de l' MCP. Cela est indiqué par la libération de phosphate dans le milieu lors de la dégradation de ce composé. Ces phosphates pourraient être des di- ou mono-méthyl-phosphates, comme ceux présentés chez les plantes et systèmes animaux. Ces isolats se sont avérés produire de la méthylamine en tant que métabolite formé par l'enzyme estérase. Qui pourrait être une amidase capable de sélectionner des amides comme substrats, car les estérases attaquent parfois les liaisons amides. La dégradation initial du MCP par *Arthrobacter atrocyaneus* et *Bacillus megaterium* produits des acides gras volatils n-valérique l'acide et de l'acide acétique respectivement. Ce dernier, est le métabolite (substrat) clé de la voie glycolytique des microorganismes. Ils ont également libéré

du dioxyde de carbone comme élément fin produit, indiquant que le MCP était minéralisé en carbone dioxyde (Fig. 12) (Bhadbhade et al ., 2002).

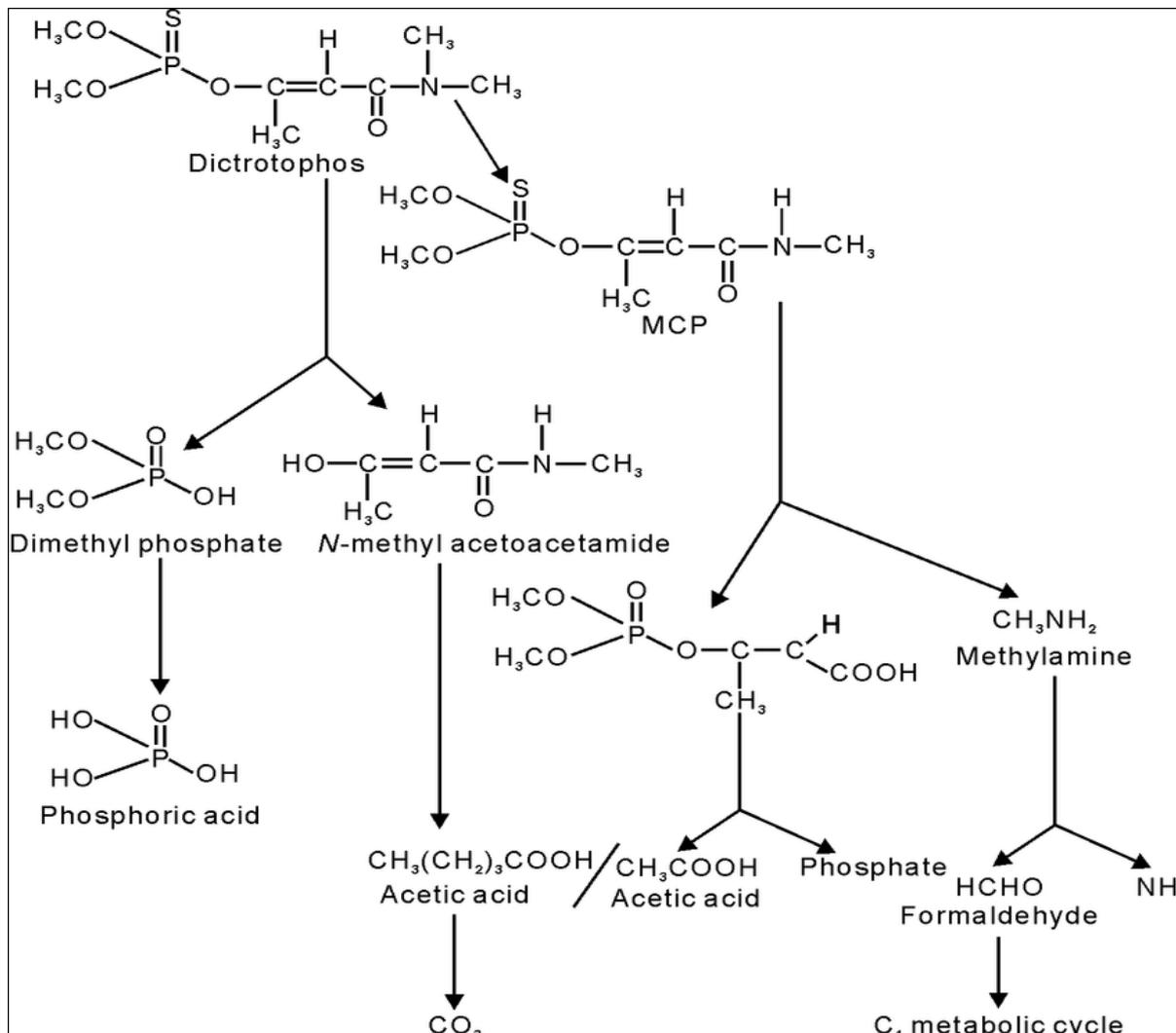


Figure 12 : Voies proposées pour la dégradation bactérienne du monocrotophos (www.researchgate.net).

D'après (Singh et walker, 2006) Le premier micro-organisme capable de dégrader les composés organophosphorés a été isolé en 1973 il a été identifié comme étant *Flavobacterium sp.* Cette espèce est capable d'assurer la conversion du glyphosate à l'acide aminoéthylphosphonique et capable aussi de décomposer le Coumaphos et le Diazinon.

Selon une autre étude, les bactéries qui ont eu une réaction positive (activité de dégradation de diazinon) ont été soumis à une succession de purification des colonies bactériennes, traitée dans une solution minérale contenant du diazinon et ou la solution

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

minérale contenant une solution aqueuse de diazinon, après les avoir cultivé sur gélose de Wakimoto modifiée. Comme premier résultat observé est que le diazinon a disparu rapidement du milieu minéral inoculé. Ce qui prouve que cette bactérie a utilisé cet insecticide comme une seule source de carbone. L'identification permet d'assigner cette bactérie à *Flavobacterium* sp. Ce même résultat a été prouvé par le carbone marqué (¹⁴C-diazinon).

L'expression des enzymes responsables de la dégradation de diazinon (gène constitutive) a permis la dégradation d'autres substances que le diazinon tel que l'éthyl parathion mais pas le malathion. Ces deux premiers composés possèdent une liaison similaire P-O-C tandis que le malathion est caractérisé par une liaison P-S-CH. La bactérie *Flavobacterium.sp* possède une enzyme qui attaque le P-O-C (liaison du diazinon et du parathion). Sachant que, la dégradation du parathion par cette bactérie a été signalé dans les travaux de **(Sethunathan et Yoshida, 1973)**. Une autre étude montre que le genre *Pseudomonas* isolé à partir des effluents industriels est capable de dégrader le malathion **(Savadogo, 2001)**.

Il existe une différence de biodégradation très significative dans les conditions aérobies et anaérobies. Les bactéries telluriques dans les conditions aérobies, digèrent le polluant en traversant leur métabolisme et produisant ensuite du CO₂ et de l'H₂O. Cette minéralisation complète transforme le polluant toxique en une molécule inoffensive. Alors que dans les conditions anaérobies par exemple dans les sols argileux, les bactéries vont brûler le polluant et le dégrader peu à peu jusqu'à la production d'un hydrocarbure plus simple tel que le méthane. Cette capacité microbienne peut présenter un avantage dans le traitement d'une marée noire (nappe d'hydrocarbures).

Une étude a réussi d'isoler des bactéries présentes dans l'eau d'une rizière, ces microorganismes vivent en synergie entraînant le métabolisme de diazinon et l'utiliser comme seule source de carbone tel que l'action d'un *Arthrobacter* sp. Et un *Streptomyces* sp **(Sethunathan et Yoshida, 1973)**.

Plusieurs recherches démontrent que des consortia de bactéries étaient capables de dégrader et de minéraliser de fortes concentrations des pesticides **(Savadogo, 2001)**. C'est le cas la biodégradation du lindane par un consortium bactérien indigène isolé du sol contaminé. Ici, deux bactéries *Bacillus thiooxidans* et *Sphingomonas paucimobilis* dégradent ce composé après 3 jours d'incubation dans des conditions d'aérobiose. Pour comprendre et évaluer la dégradation de deux herbicides (l'atrazine et l'alachlore), un consortium microbien indigène a

été testé. Ce consortium a présenté un modèle de dégradation unique. Qui consiste à la biodégradation de l'atrazine qui dépend de la biodégradation de l'alachlore (**Diez, 2010**).

Certains micro-organismes sont capables de transformer les pesticides halogènes en conditions d'anaérobiose. Le mécanisme est dit « La déhalogénéation réductive » La souche *Oesulfomonile Nedjei OCB-1*, qui est une bactérie sulfato-réductrice, anaérobie stricte Gram négative, est capable de méta-déhalogéner une grande variété de substances de types halobenzoates et chlorophénols. D'après les résultats fournis dans plusieurs études, les chercheurs ont prouvé que les substituants fluorés ont moins tendance à la déhalogénéation réductive que les substituants composé de brome ou de chlore.

2.2. Les actinobactéries

Les actinobactéries sont appelées encore les actinomycètes (**Saker, 2018**). Ce mot est dérivé de deux mots du grec « Aktis » et « Mykes » qui signifie champignons à rayons. Ces bactéries ont la capacité de croître autour du germe qui leur a donné naissance. A l'époque, les actinobactéries étaient classés parmi les organismes eucaryotes (champignons) dû à leur morphologie fongicoïde (**Moudoub et Oumellil, 2018**). Maintenant elles sont reconnues comme des bactéries à cause de leurs propriétés chimiques, physiologiques, immunologiques, génétique qui n'est pas protégé dans une enveloppe nucléaire (**Moudoub et Oumellil, 2018**). Ces microorganismes possèdent un ADN plasmidique ou phagique, alors que la majorité sont dotés d'un ADN chromosomique d'une taille de 3,7 méga Daltons avec une proportion élevée de guanine et de cytosine supérieure à 55% généralement compris entre 60% (*Corynebacteria*) et 75% (*Streptomycètes*) (**Maalem et Sansri, 2014**).

Ce sont des bactéries de coloration Gram positif, généralement filamenteuses. Le diamètre des hyphes est plus petit que celui des champignons (**Ouazene, 2019**). Toutefois, leur paroi cellulaire est composée d'une gamme de glycoprotéine (l'acide diamino pimélique ou de la lysine) mais elle ne renferme aucun autre composant (chitine, cellulose...) (**Lalaoui, 2012**).

En général, la plupart des actinomycètes sont des microorganismes aérobies mais il est possible de distinguer les formes anaérobies trouvées chez les animaux et l'homme (**Ouazene, 2019**). Plusieurs groupes des actinobactéries sont hétérotrophes, mais quelques-uns peuvent être chimioautotrophe (**Bensaidoune et boumeraou, 2018**). La majorité sont saprophytes mais il y'a d'autres qui sont pathogènes ou symbiotes des plantes et des animaux. Ce grand groupe des actinobactéries englobe plusieurs espèces qui sont immobiles, d'autres sont mobiles (**Ouazene, 2019**).

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

Les actinobactéries ont un potentiel considérable pour la biotransformation et la biodégradation des pesticides à différentes structures chimiques, y compris les organochlorés, les s-triazines, les triazinones, les carbamates, les organophosphates, les organophosphonates, les acétanilides et les sulfonilurées ...etc. Les membres de ce groupe mycélien à Gram positives nécessitent des consortiums (population mixte) pour une dégradation complète des pesticides à l'exception de certains xénobiotiques, qui peuvent être minéralisés par des isolats uniques. Ils existent beaucoup moins d'informations en ce qui concernent les mécanismes moléculaires impliqués dans la biotransformation des pesticides par les actinobactéries, par rapport à leur dégradation par des bactéries Gram négatif (**Schrijver et Mot ,1999**). Les actinobactéries dégradant les pesticides ne sont pas limitées à un genre ou à une famille. Le tableau suivant présente les actinobactéries capable de biodégrader des pesticides appartenant à différents genres.

Tableau 3 : Actinomycètes et genres des espèces dégradant les pesticides (**Schrijver et Mot, 1999**).

La famille	Le genre	Les pesticides
Actinomycetaceae Micrococcaceae	<i>Arthrobacter</i>	PCP, phenoxyacetate herbicides, organochlorines, triazinones, N-methylcarbamates, N-phenylcarbamates, organophosphates, and glyphosate.
Brevibacteriaceae	<i>Brevibacterium</i>	Phenoxyacetate herbicides
Microbacteriaceae	<i>Clavibacter</i>	Organochlorines and s-triazines.
Corynebacteriaceae	<i>Corynebacterium</i>	Thiocarbamates
Mycobacteriaceae	<i>Mycobacterium</i>	PCP and organochlorines
Nocardiaceae	<i>Nocardia</i>	Organochlorines

Certains genres ont montrés leurs capacités dans la biodégradation des pesticides. On retrouve *Arthrobacter*, *Clavibacter*, *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Nocardioides* et *Streptomyce*. Le pouvoir

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

de dégradation de ces microorganismes est due à leur capacité à produire des enzymes extracellulaires très importantes. Cela contribue beaucoup à la minéralisation d'une large gamme de composés organiques complexes. La production des monoxygénases et de dioxygénases chez certains actinomycètes aérobies, propriété distinctive aux actinobactéries, a permis la décontamination des sols par ces bactéries (**Diez, 2010**).

Plusieurs études ont montré que le genre *Streptomyces* englobe de nombreuses espèces considérées comme des agents de biodégradation et d'utilisation des pesticides. Il s'agit de l'atrazine, le carbofuran, le diuron, la cyperméthrine et bien d'autres. Certaines souches de *Streptomyces* assurent le clivage de la molécule glyphosate au niveau de la liaison C-P entraînant la formation d'une autre molécule la sarcosine. Alors que d'autres souches sont capables de dégrader l'alachlore, le diuron, le lindane, le chlordane, le méthoxychlore et la cyperméthrine.

Les pesticides organochlorés aromatiques sont susceptibles d'être dégradés par les actinomycètes. Le PCP et le dérivé phénolique 2,4-D sont dégradés par de nombreux processus métaboliques différents. La décomposition de ces pesticides organochlorés, peut être réalisée en aérobiose et produit des chlorophénols. Elle peut avoir lieu également en anaérobiose où la production des produits intermédiaires aura lieu.

Arthrobacter, *Mycobacterium*, *Rhodococcus* et *Streptomyces*, sont d'autres genres d'actinobactéries qui peuvent dégrader le phénol polychloré tel le PCP. L'exemple de *Mycobacterium chlorophenolicum* PCP-1 qui dégrade et utilise le PCP comme source de carbone et d'énergie en est le meilleur exemple. Cette souche déchlorine initialement le PCP par l'action consécutive de deux enzymes inductibles, où elles s'organisent leur dégradation selon deux étapes de déchloration (**Schrijver et Mot, 1999**).

Dans un même contexte, 93 colonies appartenant aux actinobactéries ont été isolées à partir d'eaux usées. Elles ont été testées contre 11 pesticides organochlorés notamment l'Aldrin, chlordane, DDD, DDE, DDT, dieldrin, heptachlor, l'éptachlorepoxydes, lindane et le méthoxychlor. Cette expérience a sélectionné quelques souches de *Streptomyces* qui ont une activité positive contre ces pesticides. Une souche de *Streptomyces* sp M7 isolée à partir des sédiments contaminés par les pesticides en Argentine, est capable de synthétiser l'enzyme dechlorinase en présence du lindane qui favorise la dégradation de ce polluant et de l'utiliser comme une source de carbone et d'énergie. Cette capacité distinctive de la bioremédiation du lindane par l'utilisation de cette souche aide à l'augmentation de la

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

biomasse des plantes de maïs et assure la réduction de façon concomitante les résidus du lindane. L'activité de cette souche n'a pas été inhibée par la flore microbienne naturelle du sol et sa croissance n'a pas été inhibée par une concentration élevée de pesticides (**Diez, 2010**).

Dans d'autres travaux, menés sur l'isolement des actinomycètes à partir des sols contaminés et charger par des organophosphorés, les chercheurs arrivent à identifier deux acinobactéries (*Streptomyces* sp AC5 et *Streptomyces* sp AC7). Ces deux actinobactéries ont montré une capacité de croître en utilisant l'insecticide chlorpyrifos comme apport en carbone. Le résultat de cette expérience a montré également que ces souches ont une possibilité de dégrader 90 % de cette substance après seulement 24h d'incubation (**Savadogo, 2001**).

Streptomyces alanosinicus, est une bactérie qui a une aptitude de vivre dans les sols salins. Elle arrive à une dégradation de presque 95 % d'une autre molécule xénobiotique carbofuran et l'utiliser comme source de carbone (**Savadogo, 2001**).

Cette fonctionnalité de cette espèce de *Streptomyces* lui a donné la possibilité de l'utiliser dans la bioremédiation des sols salés contaminés.

De plus, une recherche a été menée pour étudier la dégradation de l'isoxathion qui est un pesticide organophosphoré dans le sol. L'isolement et l'identification de la souche bactérienne a permis de l'assigner à *Arthrobacter* sp. Cette espèce d'actinobactérie est capable de dégrader le pesticide en hydrolysant la liaison ester de l'isoxathion, Mais elle était incapable d'utiliser ce composant comme seule source de carbone et de phosphore. Cette souche est également capable d'hydrolyser le diazinon, le pamthion, le fénitrothion, l'isofenphos, le chlorpyrifos, et l'ethoprophos, mais la vitesse de dégradation dépendait du substrat pesticide utilisé (**Savadogo, 2001**).

Certaines espèces d'*Arthrobacter* possèdent aussi des rôles dans la dégradation de plusieurs autres pesticides dans les eaux usées. Deux souches parmi ce genre ont montrés leurs capacités à dégrader le diazinon. *Arthrobacter atrocyaneus* a le pouvoir de conversion du glyphosate en acide amino-méthyl-phosphonique (**Schrijver et Mot ,1999**).

Les espèces du genre *Nocardia* sont capable de dégrader l'insecticides DDT en DDD (dechlorination). La souche *Nocardia* B-1 été rapportée pour dégrader le coumaphos et d'autres pesticides l'azoxystrobine, par exemple (**Schrijver et Mot ,1999**).

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

Arthrobacter, *Rhodococcus* et *Nocardioides* sont capables d'utiliser l'herbicide chlorophénoxyacétate comme source d'énergie et de carbone. Mais ni les enzymes ni les gènes ont été caractérisés chez l'espèce *Arthrobacter* (Schrijver et Mot, 1999).

Loos *et al.*, 1967 ont démontré que la souche *Nocardioides simplex* NRRL B-24074 possède une aptitude d'utilisation de l'herbicide mono-di, et tri-chloro phénoxy acétate comme seule source de carbone et d'énergie. Cette bactérie possède un système enzymatique développé qui lui permet la dégradation de coumaphos.

Les travaux sur *Pseudaminobacter* et *Nocardioides*, ont montrés que ces deux espèces peuvent s'adapter en présence de l'atrazine où elles exercent la minéralisation de cette molécule.

Les *Rhodococcus* sont des bactéries des plus intéressantes, en raison de leur diversité et leurs actions dépolluantes sur les pesticides, les hydrocarbures et bien d'autres molécules contaminants des milieux naturels (Achoub et Saadoune, 2017 ; Parekh *et al.*, 1994 ont détecté la capacité de la souche *Rhodococcus* sp. 0246b a utilisé l'herbicide sélectif métamitron, qui agit en inhibant le transport d'électrons lors de la photosynthèse. Cette souche a la capacité de l'utiliser comme seule source de carbone par la minéralisation partielle du cycle phényle. En revanche, des souches d'*Arthrobacter* sp, assurent une voie de dégradation différente qui ne touche pas le fragment phényle mais clive la liaison amide dans l'anneau de triazinone (Schrijver et Mot, 1999). Cette étude a identifié les métabolites issus de la dégradation de cet herbicide qui sont le Benzoylformate acétylhydrazone et le benzoylformate (Schrijver et Mot, 1999). La biodégradation du Bromoxynil est assurée aussi par *Rhodococcus rhodocrous* (Topp *et al.*, 1992). Chimiquement, les pesticides carbamates sont des esters de carbamate qui ont une large application comme herbicides, insecticides et fongicides. D'après plusieurs études, les meilleurs microorganismes qui métabolisent les carbamates sont les actinobactéries. Dans la plupart des cas, la dégradation est initiée par le clivage de la molécule au liaison ester aboutit à l'apparition de benzimidazole-,N-méthyl-, N-phényl- et thiocarbamates.

D'autres études ont isolé, *Rhodococcus erythropolis* (et des espèces étroitement apparentées) qui utilisent le carbendazime comme seule source de carbone. Il est possible que ces isolats soient occasionnellement incapables de dégrader la structure cyclique du composé, mais ne peut utiliser que la chaîne latérale de celui-ci comme substrat de croissance.

Les *Micromonospora* sont capables de se développer en présence de l'insecticide Endosulfan. Ce genre peut dégrader plusieurs pesticides tel que l'alachlore, le diuron, le

lindane, le chlordane, le méthoxychlore et la cyperméthine ainsi que le chlorpyrifos, et le methoxychlor (Achoub et Saadoune , 2017).

Les *Mycobacterium* sont parmi les genres les plus adaptés aux sols pollués, grâce à leur forte tolérance lors de l'application de certains insecticides comme l'endosulfan plus l'urée et d'autres engrais à base phosphatés (Achoub et Saadoune, 2017).

Actuellement rien n'est connu à propos des mécanismes utilisés par les actinobactéries pour l'absorption des pesticides. Cependant, divers enzymes jouent un rôle important dans les étapes initiales de biodégradation tel que les enzymes du cytochrome P450. Contrairement aux bactéries Gram-négatives, seules quelques enzymes impliquées dans la dégradation des pesticides ont été caractérisées et leurs gènes correspondants clonés (Schrijver et Mot ,1999) La présence d'enzymes cytochromes P450 avec un large substrat, la spécificité des actinobactéries suggère qui ont un potentiel métabolique encore largement inexploré pour la biorestauration des produits agrochimiques. Ces bactéries peuvent être une ressource précieuse pour de nouveaux gènes lors de la construction de plantes résistantes aux herbicides. Les progrès dans ce domaine ont été sérieusement entravés par un manque d'outils de génétique moléculaire adaptés pour la plupart des représentants de ce groupe majeur de bactéries du sol. Surmonter cette contrainte permettrait une meilleure exploitation des capacités de biodégradation et de biotransformation des actinomycètes pour des applications telles que la bioremédiation et la construction de plantes transgéniques résistantes aux herbicides (Schrijver et Mot ,1999).

2.3. Les champignons

La plupart des examens concernant l'activité fongique sur les polluants environnementaux, ont révélé qu'une grande variété de champignons sont capables de dégrader une gamme très large de produits chimiques toxiques. Les résultats de ces études ont ouvert des domaines d'application de ces microorganismes non ligninolytiques et ligninolytiques dans la bioremédiation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), le benzène-toluène-éthylbenzène- xylène (BTEX), les chlorophénols, le polychlorobiphényle, et les pesticides.

Les champignons principalement responsables de la pourriture blanche sont capables de la dégradation d'une large gamme de composés organiques comme montre le tableau suivant :

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

Tableau 4: Différents pesticides dégradés par les champignons de la pourriture blanche (Diez, 2010).

Les champignons	Les pesticides dégradés
<i>A. discolor</i> <i>Phanerochaete chrysosporium</i>	le lindane, l'atrazine, le diuron, la terbuthylazine, le métalaxyl, le DDT, le gamma-hexachlorocyclohexane (g-HCH), la dieldrine, l'aldrine, l'heptachlore, le chlordane, le lindane, le mirex composé chloré tel que le pentachlorophénol (PCP).
<i>Bjerkandera adusta</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> et <i>P. chrysosporium</i>	terbufos, azinphos-méthyl, phosmet et tribuios
<i>P. chrysosporium</i>	Le MCPA et le bentazon
<i>P. chrysosporium</i> et <i>T. Versicolor</i>	Le phénylamide, la triazine, la phénylurée, le dicarboximide, les composés chlorés et organophosphorés
<i>Agrocybe semiorbicularis</i> , <i>Auricularia auricula</i> , <i>Coriolus versicolor</i> , <i>Dichomitus squalens</i> , <i>Flammulina velupites</i> , <i>Hypholoma fasciculare</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Stereum hirsutum</i> et <i>A. discolor</i>	l'isoproturon appartenant aux groupes phénylurée
<i>B. adusta</i> et <i>A. discolor</i>	dégradé 2,4, 6-tribromophénol
<i>T. versicolor</i> et <i>Agaricus augustus</i> r <i>B. adusta</i> et <i>A. discolor</i> Sp4	pentachlorophénol PCP

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

Ces microorganismes fongiques présentent une richesse enzymatique qui comprennent un grand nombre du système exo-et intracellulaires.

-les système enzymatiques exocellulaires qui caractérisent ces microorganismes fongiques sont peu spécifiques et profitent d'un fort pouvoir oxydant. Ils incluent en particulier les peroxydases du système ligninolytique (lignine et manganèse peroxydases) et des phénoloxydases (laccases). Ce système n'est pas régulé par la quantité de polluant présente à proximité des champignons mais il est contrôlé et où stimulé par l'apport en élément nutritifs lorsque le champignon ressent une carence nutritionnelle vis-à-vis de la source de carbone ou d'azote. Plusieurs expériences ont été abordées dans le but d'améliorer la production et l'activité des peroxydases. Cette production est stimulée par mutagénèse et amplification génique des souches. Une telle démarche peut s'appliquer à d'autres systèmes enzymatiques.

Généralement l'action des enzymes visent les polluant dissous dans l'eau du sol, mais les systèmes exocellulaires présentent une particularité de dégrader les polluants adsorbés sur la fraction solide du sol. En plus, leur mycélium fongique permet la capture et l'accumulation de polluants (principalement des composés lipophiles). Cette particularité les rend capables de convertir les polluants volatils présents dans la phase gazeuse du sol et de le rendre des substrats potentiels pour les enzymes intracellulaires.

-les seconds systèmes intracellulaires sont souvent impliqués chez les eucaryotes pour assurer la biotransformation des xénobiotiques. L'exemple le plus connu est les monooxygénases à cytochrome P-450. Dans le milieu liquide la transformation directe des polluants est généralement effectuée par le système conventionnels (monooxygénases à cytochrome P-450) par rapport au système lignolytique qui ne semble pas souvent impliqué. En effet, la modification de la température entraîne l'élongation de la phase de croissance fongique conduit à une forte dégradation par les enzymes intracellulaires. L'induction de la synthèse de ces enzymes dépend de certains substances xénobiotique ou des stress, ou encore à leur forte tolérance aux composé toxiques.

La richesse enzymatique des champignons leurs procure des propriétés physico-chimiques (polaires, lipophiles, etc.) qui favorise un grand nombre de réactions chimiques (oxydation, réduction, hydrolyse, conjugaison et oligomérisation). Cela leurs permet, une action sur une gamme importante de contaminants xénobiotique de diverses structures chimiques (**Mougin et al ., 1996**).

Diez, 2010 a mentionné dans son étude la dégradation totale de certains HAP (Isomères du naphtalène, du tétrachlorobenzène et de la dichloroaniline, du diphényléther et

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

de la N-phényl-1-naphtalénamine) par les champignons responsables de la pourriture blanche comme (*Phanerochaete chrysosporium* NRRL 6361 et *Pleurotus pulmonarius* CBS 664.97). Une libération importante d'ions chlorure dans un sol traité par ces microorganismes a été enregistrée, en comparaison avec celle de microcosme témoin. Ces deux champignons ont conduit à une désintoxication marquée du sol, même en présence d'une concentration résiduelle élevée des principaux composants de la fraction d'hydrocarbures aromatiques. Ces organismes fongiques sont capables de dégrader tous les principaux polymères du bois: la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Pour ce dernier composé, les basidiomycètes sont les seuls organismes connus capables de le dégrader totalement en CO₂ et H₂O en culture pure. Les espèces modèles qui ont été utilisés dans les études de biodégradation de la lignine sont *Phanerochaete chrysosporium* et *T. versicolor* grâce à la synthèse des enzymes telles que la lignine peroxydase (LiP), la manganèse peroxydase (MnP) et la laccase. Ce système enzymatique extracellulaire employé n'est pas spécifique et il est utilisé dans la dégradation de plusieurs xénobiotiques, y compris plusieurs classes de pesticides comme le lindane, l'atrazine, le diuron, la terbuthylazine, le métalaxyl, le DDT, le gamma-hexa-chlorocyclohexane (g-HCH), la dieldrine, l'aldrine, l'heptachlore, le chlordane, le lindane, le mirex, etc. L'inoculation de la même espèce fongique *Phanerochaete chrysosporium* dans des sols pollués par des pesticides a révélé qu'elle est capable de se développer même en présence de la microflore endogène. En effet, leur action dans le sol, sur l'atrazine semble sans effet car elle ne modifie ni le taux de minéralisation de l'herbicide, ni sa transformation en métabolites polaires extractibles, ni même la quantité de résidus non extractibles. En revanche, cette espèce contribue à la minéralisation du lindane en synergie avec la microflore endogène du sol. D'après les résultats obtenus, la transformation des polluants est variable et dépend de la nature des composés (Mougin *et al.*, 1996).

De nombreuses autres revues se sont orientées pour expliquer la capacité des microorganismes indigènes du sol et des sédiments à dégrader les pesticides. C'est le cas par exemple des travaux sur l'isolement d'une souche fongique à partir du sol d'un champ de maïs. La capacité d'utiliser l'atrazine comme seule source d'azote a été mise en évidence et une dégradation de 44 % en 20 jours (Diez, 2010).

Pour étudier la persistance de certains pesticides au processus de dégradation *in vivo*, un groupe de chercheurs a réalisé à partir d'un sol contaminé une suspension composée d'un mélange native de microflore et de chlorpyrifos. Ce mélange réactionnel a été déposé dans un réacteurs biologique a des concentration différentes (3000/ 6000/ 12000 $\mu\text{g} / \text{g}^{-1}$). Les

Chapitre III: Dégradation abiotique et biotique des pesticides

résultats indiquent que 91 %, 82 % et 14 % du chlorpyrifos était respectivement selon les concentrations, dégradé et ce après 72 h. Cette étude exprime que le chlorpyrifos résiste à une dégradation accrue qui a été attribuée à l'activité antimicrobienne du 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (TCP) (Diez, 2010).

Conclusion
Et
Perspectives

En raison des conditions sanitaires de cette année, il n'a pas été possible de mener une étude pratique sur le sujet choisi. Nous avons donc abordé une recherche approfondie de certains travaux précédents, afin de pouvoir conclure ce qui suit:

Les sols arides englobent une variété de microflore telluriques qui possèdent une large source de composés d'une activité métabolique très importante en produisant des métabolites secondaires variés comme les enzymes. Cette caractéristique est limitée à certains groupes bactérien qui sont responsables de nombreux services écologiques tels que le cycle des nutriments, la dégradation des déchets et la biodégradation des polluants comme les pesticides. Les champignons, les bactéries et les actinobactéries ont montré une grande capacité à transformer les polluants organiques et a contribué à la dépollution des sols. Cette capacité épuratrice développée par ces microorganismes du sol revêt un intérêt majeur en limitant les contaminations et en maintenant la résistance du sol.

La vitesse de disparition et le degré de persistance d'un produit xénobiotique dépend d'un certain nombre de facteurs chimiques comme l'hydrolyse, l'oxydation, la photodégradation, l'humidité, la température et la teneur en matière organique. Les facteurs biologiques interviennent plus efficacement à la biodégradation des pesticides de cet environnement. Ces activités biotiques conduisent généralement à une minéralisation de ces produits. Les consortiums bactériens sont très utilisés dans ces biodégradations.

La plupart des pesticides sont conçus pour cibler un organisme nuisible ou un groupe de ravageurs particulier. Cependant, ils peuvent avoir des effets toxiques sur d'autres communautés non ciblées. Cela perturbe la structure et la fonctionnalité des communautés microbiennes.

D'après les conclusions et les discussions de tous les chercheurs, Il est conseillé pour les agriculteurs, d'être bien précis dans les dosages des pesticides. Les chercheurs stipulent dans leurs recommandations le développement de nouvelles techniques d'application des pesticides afin de limiter leur dispersion dans d'autres compartiments environnementaux et leur accumulation, pour palier aux possibilités de résistance des organismes cibles.

L'exploitation des méthodologies intelligentes comme l'emploi des consortiums bactériens, qui sont les plus performants que les monobactéries.

En perspective, nous espérons réaliser des études pratiques de biodégradation des pesticides les plus utilisés dans les sols arides Algériens.

Références bibliographiques

- **Achoub, A., Saadoune, I. (2017).** Biodégradation des pesticides et recherche d'actinobactéries d'origine Saharienne présentant ces aptitudes métaboliques. Mémoire de master : Microbiologie Générale et Biologie moléculaire des Microorganismes .Département de Microbiologie : Université des Frères Mentouri Constantine, 126p.
- **Agoussar, A. (2017).** Effet des pesticides sur la diversité bactérienne des champs agricoles et la capacité des bactéries à les dégrader. Thèse pour l'obtention du grade de maîtrise: Microbiologie. Département de Microbiologie Immunologie et Infectiologie. Faculté de médecine : Université de Montréal ,92p.
- **Agronomie info.** Classification des pesticides [en ligne]. (Page consultée le 04/08/2020) <https://agronomie.info/fr/classification-des-pesticides/>
- **Agronomie info.** Dispersion des pesticides dans l'environnement [en ligne]. (Page consultée le 02/082020).<https://agronomie.info/fr/dispersion-des-pesticides-dans-lenvironnement/>.
- **Alban, R. (1999).** Analyses diagnostics essais conseils programmes de fertilisation solutions biologiques. [En ligne], (consulté le 26/06/2020) http://data.over-blog-kiwi.com/0/57/02/32/201309/ob_1399b6_la-vie-bacterienne-du-sol.pdf
- **Algérie désert et villes. Armoise Artemisia judaica. (Sans date).** [Photo] In: nezumi. Disponible sur: <<http://nezumi.dumousseau.free.fr/alg/veget.htm>> (consultée le 26/05/2020).
- **Algérie désert et villes. Oseille sauvage Rumex vesicarius (Polygonaceae). (Sans date).** [Photo] In: nezumi. Disponible sur:<<http://nezumi.dumousseau.free.fr/alg/veget.htm>> (consultée le 26/05/2020).
- **Algérie désert et villes. Palmier-dattier Phoenix dactylifera. (Sans date).** [Photo] In: nezumi. Disponible sur: <<http://nezumi.dumousseau.free.fr/alg/veget.htm>> (consultée le 26/05/2020).
- **Alix, A., Barriuso, E., Bedos, C., et al. (2005).** Devenir et transfert des pesticides dans l'environnement et impacts biologiques. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et CEMAGREF, 219p
- **Arkoub, F. (2012).** Impacts des pesticides sur la santé des agriculteurs dans la wilaya de Bejaia. Mémoire master: Environnement et santé Publique. Département des

sciences biologiques de l'environnement : Université Abderrahmane Mira - Bejaia ,45p.

- **Armelle, C., Martine, D. (2009).** Des déserts déserts d'hommes ? Approche géographique d'un milieu dit hostile. 9p.
- **Armstrong, D. E., Konrad, J. G. (1974).** Nonbiological degradation of pesticides. Pesticides in soil and water, 123-131.
- **Arpin, P., Kilbertus, G., Ponge, J. F., et al. (1980).** Importance de la microflore et de la microfaune en milieu forestier. 87-150.
- **ASP assistance scolaire personnalisée.** Les hommes dans le Sahara [en ligne]. (Page consultée le 27/06/2020). <https://www.assistancescolaire.com/eleve/6e/geographie/visiter-une-notion/les-hommes-dans-le-sahara-6gzc02>
- **Aubertot, J. N., Barbier, J. M., Carpentier, A., et al. (2005).** Pesticides, agriculture et environnement .Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Rapport de l'expertise réalisée par l'INRA et le Cemagref à la demande du Ministère de l'agriculture et de la pêche (MAP) et du Ministère de l'écologie et du développement durable (MEDD), décembre 2005 france, 59p.
- **Ayad-mokhtari, N. (2012).** Identification et dosage des pesticides dans l'agriculture et les problèmes d'environnement liés. Mémoire Magister: chimie organique (environnement). Laboratoire de synthèse organique appliquée (LSOA):Université d'Oran, 54p.
- **Batsch, D. (2011).** L'impact des pesticides sur la santé humaine. Thèse pour l'obtention du Diplôme d'Etat de Docteur : Pharmacie .Faculté de pharmacie. Université Henri Poincaré-UHP, 185p.
- **Bazzine, M., Belhadj, H A. (2014).** Etude des Croûtes biologiques de quelques sols gypseux et salins du milieu saharien: cas de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional EEst algérien). Algerian Journal of Arid Environment "AJAE", Journal of Arid Environment "AJAE",4 (1), 45-52
- **Ben Dhia, M. (1998).** Quelques particularités de l'utilisation du sable de dune en construction routière en milieu saharien. Bulletin-laboratoires des ponts et chaussées, (10). 33-42.

- **Bensaidoune, T., Boumeraou, S. (2018).** Etude de l'activité kératinolytique d'une souche d'actinobactérie du genre streptomyces sp. Mémoire Master: Biotechnologie microbienne. Département de Microbiologie: Université A. Mira - Bijaïa, 32 p.
- **Berkal, I. (2006).** Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie. Mémoire de magister : Sciences agronomique. Institut National Agronomique : I-N-A EL HARRACH- ALGER, 95p.
- **Berrah, A. (2011).** Etude sur les pesticides. Mémoire master [en ligne]: toxicologie appliquée. Université de Tébessa Algérie.
- **Bertilsson, S., Widenfalk, A. (2002).** Photochemical degradation of PAHs in freshwaters and their impact on bacterial growth–influence of water chemistry. *Hydrobiologia*, 469(1-3), 23-32
- **Bhadbhade, B. J., Sarnaik, S. S., & Kanekar, P. P. (2002).** Biomineralization of an organophosphorus pesticide, Monocrotophos, by soil bacteria. *Journal of applied microbiology*, 93(2), 224-234.
- **Bioud, R., Boutarfi, I. (2017).**Évaluation de la biodiversité bactérienne d'un sol dunaire du sud Algérien (Région de Biskra).Mémoire de master : Microbiologie Générale et Biologie Moléculaire des Microorganismes. Département de microbiologie : Université des Frères Mentouri Constantine, 68p.
- **Boland, J., Florijn, A. (2004).** Les pesticides: composition, utilisation et risques : les pesticides. Wageningen Wageningen:Agromisa CTA. 216p.
- **Bonkowski, M. (2004).** Protozoa and plant growth: the microbial loop in soil revisited. *New Phytologist*, 162 : 617–631
- **Boubetra-biskri, D. (2013).** Nouvelles espèces de saccharothrix isolées des sols sahariens et nouveaux antibiotiques secrétés par saccharothrix sp.SA198. Thèse de doctorat: science Agronomique. Département technologie alimentaire. Ecole nationale supérieure agronomique, 114p.
- **Boucheffa, K. (2011).**Criblage de souches d'actinomycètes productrices d'antifongiques non-polygéniques : Identification des souches productrices et Essai de caractérisation des antifongiques produits .Mémoire magister: Microbiologie appliquée aux substances antimicrobiennes .Faculté des sciences de la Nature et de la Vie: Université Abderrahmane Mira Bejaia, 73p.

- **Boudemagh, A. (2007).** Isolement, à partir des sols Sahariens, de bactéries actinomycetales productrices de molécules antifongiques, identification moléculaire de souches actives. Thèse de doctorat : Microbiologie Appliquée. Département des Sciences de la Nature et de la Vie : Université Mentouri Constantine, 144p.
- **Boumaraf, B. (2013).** Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée d'Oued Righ, Sahara Nord Oriental Algérie. Thèse de doctorat: Géographie physique, humaine, économique et régionale.Ecole doctorale Sciences de l'homme et de la société (Reims, Marne) : Université Mohamed Khider Biskra.
- **Bouslama, N. (2011).** Étude de l'activité de la microflore des sols à terfez:Terfezia boudieri chatin.Mémoire de Magister : Biotechnologie .Département de biotechnologie : Université Ahmed ben bella d'Oran 1
- **Boutmedjet, A., Boukaya, N., Houyou, Z., et al. (2015).** Étude des effets de l'application de boues d'épuration urbaines sur un sol érodé cultivé dans la région de Laghouat. Revue des Régions Arides, 36, 235.
- **Bouziani, M. (2007).** L'usage immodéré des pesticides. De graves conséquences sanitaires. Le Guide de la Médecine et de la Santé. Epidémiologiste, Faculté De Médecine d'Oran.
- **Bruno, S. (2017).** Peut-on nourrir le monde sans pesticide?. Gembloux Agro-Bio Tech/ULg. Université de liège.
- **Calvet, R., Barriuso, E., Bedos, C., et al. (2005).** Les pesticides dans le sol: conséquences agronomiques et environnementales. France AGRICOLE. 637 p.
- **Catherine, B., Claire, S. (2013).**Analyse de la biodiversité bactérienne d'un sol contaminé de la zone d'exclusion de Tchernobyl et caractérisation de l'interaction engagée par une souche de Microbacterium avec l'uranium .Thèse pour obtenir le grade de docteur : Microbiologie .Ecole Doctorale ED 62 Sciences de la vie et de la santé : UNIVERSITE AIX-MARSEILLE ,198p.
- **Chaussod, R. (1996).** La qualité biologique des sols. Évaluation et implications, Étude et gestion des sols, 3, 261-278.
- **Chehma, A. Youcef, F. (2009).**Variations saisonnières des caractéristiques floristiques et de la composition chimique des parcours sahariens du Sud-Est algérien. Sécheresse ,20. 373-381.

- **Chehna, A., Djebbar, M. R., Hadjaiji, F., Rouabeh, L. (2005).** Étude floristique spatio-temporelle des parcours sahariens du Sud-Est algérien. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 16(4), 275-285.
- **Daoud, Y., Halitim, A. (1994).** Irrigation et salinisation du Sahara algérien. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, Vol 5. (3), 151-160.
- **Dari, R. (2013).** Dénombrement de la biomasse microbienne des sols arides exemple d'un sol salé sous deux types de cultures. Mémoire d'ingénieur d'état : Sciences agronomique .Département des Sciences agronomique : université Kasdi Merbah Ouargla, 83p.
- **Devers-Lamrani, M., Pesce, S., Rouard, N., et al. (2014).** Impact écotoxicologique de pesticides sur les communautés microbiennes naturelles responsables de la biodégradation de pesticides dans les sédiments de rivière. 44. Congrès du groupe français des pesticides:" Protection des cultures et santé environnementale: héritages et conceptions nouvelles", 27/05/2014.
- **Diez, M. C. (2010).** Biological aspects involved in the degradation of organic pollutants. *Journal of soil science and plant nutrition*, 10(3), 244-267.
- **Diop, A. (2013).** Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar (Sénégal) .Thèse de doctorat : Chimie Analytique. École doctorale Sciences de la matière, du rayonnement et de l'environnement (Villeneuve d'Ascq, Nord) : Agence universitaire de la francophonie.
- **Djelouat, W. Mahdeb, D. (2019).** Effet PGPR de quelques souches actinomycétales sur les caractères morfo-biochimiques de la tomate *Solanum Lycopersicum*. Mémoire Master: Biologie Moléculaire des Microorganismes. Université des Frères Mentouri Constantine, 56.
- **Domange, N. (2005).** Etude des transferts de produits phytosanitaires à l'échelle de la parcelle et du bassin versant viticol (Rouffach, Haut-Rhin).Thèse de doctorat : Science de la terre et de l'univers. Strasbourg I:Université Louis Pasteur ,329 p.
- **Doolotkeldieva, T., Bobusheva, S., Konurbaeva, M. (2015).** Effets of Streptomyces biofertilizer to soil fertilité and rhizosphere's functional biodiversity of agricultural plants. *Advances in Microbiology*, 5(07), 555.
- **El-Mrabet, K., Charlet, P. Lalère, B. (2008).** Les pesticides. Laboratoire National de métrologie et d'Essai 'LNE', Janvier 2008, France, 15p

- **El-shanshoury, A.R., abu el-sououd, S.M. Awadalla, O.A., Et al. (1995).** Effects of streptomycetes *corchorusii*, *st mutabilis*, *pendimenthalin*, and *metribuzin* on the control of bacterial and fusarium wilt of tomato. 1016-1022.
- **Encyclopædia Universalis.** « PESTICIDES » [en ligne]. (consulté le 4 août 2020) <https://www.universalis.fr/encyclopedie/pe>
- **European Commission .**Le sol est vivant ! Protéger la biodiversité des sols à travers l'Europe [en ligne].(21/06/2020) https://www.plante-et-cite.fr/ressource/fiche/155/le_sol_est_vivant_proteger_la_bio/n:0
- **Fuentes, M. S., Benimeli, C. S., Cuozzo, S. A., et al. (2010).** Isolation of pesticide-degrading actinomycetes from a contaminated site: bacterial growth, removal and dechlorination of organochlorine pesticides. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(6), 434-441.
- **Gagné, Ch. (2007).** L'utilisation des pesticides en milieu agricole. Mémoire présenté à la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire Québécois: géographie. Université du Québec à Rimouski, 17p.
- **Gasmi, M. (2017).** Isolement, identification et criblage d'actinomycètes à activité chitinolytique à partir du sol de la région de Laghouat. Optimisation de la production de chitinase par streptomycetes *griseorubens* C9 par méthode des surfaces de réponse. Thèse doctorat : Biotechnologies et Biochimie .Département de Biochimie et Biologie Moléculaire et Cellulaire: Université Frères Mentouri Constantine, 164p.
- **Grébil, G., Novak, S., Perrin-Garnier, C., Schiavon, M. (2001).** La dissipation des produits phytosanitaires appliqués au sol. 31 Congrès du Groupe Français des Pesticides, May 2001 Cemagref, 12p.
- **Guezei, A., Soualeh, A. (2018).** Prédiction de risque de transfert des pesticides vers l'agroenvironnement saharien de cultures maraichères. Mémoire master: La Biodiversité et environnement. Département de biologie: Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, 62p.
- **Guillaume Fournier.** Agricool. L'origine des pesticides [en ligne]. (Page consultée le 04/08/2020) <https://medium.com/welcome-to-agricool/lorigine-des-pesticides-1ebb51afbaa8>
- **Harir, M. (2010).** Effets antagonistes entre les souches d'actinomycètes et *Verticillium dahliae* kleb agent de la verticilliose de l'olivier. Mémoire de Magister : Biotechnologie .Département de Biotechnologie : Université d'Oran, 78p.

- **Hayakawa, M. (2008).** Studies on the isolation and distribution of rare actinomycetes in soil. *Actinomycetologica*, 22(1), 12-19.
- **Hayo, M., Van der Werf, G. (1997).** Évaluer l'impact des pesticides sur l'environnement. *Court. L'environnement l'INRA*, (31), 1-20.
- **Heinonen, H. (1976).** The effect of herbicide dichlobenil to some Streptomyces. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 26(4), 277-281.
- **INRA.** Biodégradation des pesticides dans les sols [en ligne]. (Page consultée le 03/08/2020).https://www7.inra.fr/dpenv/pdf/degradation_pesticide.pdf
- **Iznaga, Y., Lemus, M., González, L., et al. (2004).** Antifungal activity of actinomycetes from Cuban soils. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 18(6), 494-496.
- **Jeannot, R., Lemièrre, B., Chiron, S., et al. (2001).** Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués Vol. 298.
- **Kaboul, A. (2016).** Etude des croûtes biologiques sols des zones arides (cas de la région d'Ouargla et la région El Oued). Mémoire de Master : Sciences de l'environnement. Département des sciences biologiques : Université de Kasdi Merbah-Ouargla, 97p.
- **Khallef, S.** Etude de la flore bactérienne halophile des zones humides d'Ouargla. Thèse de doctorat: Biologie. Département de biologie : Université de Tizi Ouzou-Mouloud Mammeri.
- **Khbiz, N Boudjella , H Abdelghani Z. et al (2015).** P180:Taxonomie et activité et activité antifongiques d'une souche de streptomyces isolée d'un sol saharien algerien.*Archives de l'Institut Pasteur de Tunis*, 92 (1 / 2) ,13
- **Kitouni, M. (2007).** Isolement de bactéries actinomycetales productrices d'antibiotiques à partir d'écosystèmes extrêmes. Identification moléculaire des souches actives et caractérisation préliminaire des substances élaborées. Thèse de doctorat: Microbiologie appliquée .département des sciences de la nature et de la vie: Université Mentouri-Constantine. 144p.
- **La pollution des sols | Mtaterre** [en ligne], consulté le 24 août 2020, <https://www.mtaterre.fr/la-pollution-des-sols>

- **Lacey, J. (2008).** Actinomycetes in composts. *Annals of agricultural and environmental medicine*, 4(1), 113-121.
- **Lalancette, A. (2012).** Méthodes de lutte à la contamination des eaux de surface en Montérégie par les pesticides agricoles. Thèse pour l'obtention d'une maîtrise en environnement. Centre universitaire de formation en environnement: Université de Sherbrooke, 122p.
- **Lalaoui, W. (2012).** Influence de quelques milieux de culture sur la production d'antibiotiques par une souche de streptomyces isolée d'un sol saharien. Mémoire Master: Microbiologie appliquée à l'agroalimentaire, biomédical et à l'environnement. Université Abderrahmane Mira Bejaia, 50p.
- **Lauzier, A. (2007).** Facteurs physiologiques modulant la production de thaxtomine chez streptomyces scabies. Thèse doctorat: Biologie. Faculté des sciences : Université de Sherbrooke, 112p.
- **Le figaro.fr.** Pesticides - Effets sur l'environnement ? [en ligne]. (page consultée le 04/04/2020) <https://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/environnement/pesticides/effets-sur-lenvironnement>
- **Leprinay, C. (2013).** Etude des interactions plantes-microbes et microbes-microbes, au sein de la rhizosphère, sous un aspect coûts-bénéfices, dans un contexte de variation environnementale. Thèse de doctorat : Ecologie microbienne. Ecole Doctorale Environnements-Santé: Université de Bourgogne France, 263p.
- **Les rencontres qualiméditerranée. Processus impliquée dans la dispersion des intrants fonction filtre des sols agricoles. (2013)** [photo]. In: slideshare. Disponible sur: <<https://fr.slideshare.net/qualimediterranee2013/la-dgradation-des-xnbiotiques-pesticides-antibiotiques-dans-le-sol-point-sur-les-mcanismes-dadaptation-des-microorganismes-la-dgradation-des-pesticides-optimiser-le-potentiel-purateur-et-protecteur-du-sol>>(Consultée le 30/08/2020).
- **Lindquist, D.A. (2000).** Les pesticides: la chimie au service de la survie. *Rayonnements et agriculture AIEA Bulletin*. 23, (3), 37-39.
- **Loos M. A., Bollag J. M., et Alexander, M., (1967).** Phenoxyacetate herbici de detoxication by bacterial enzymes, *J. Agric. Food Chem.*, 15, 858.
- **Maalem, A., Sansri, D. (2014).** Activité anti-phytopathogène de quelques souches rhizosphériques appartenant aux groupes des actinomycètes filamenteux et des

Pseudomonas spp fluorescents. Mémoire Master: Biologie moléculaire des procaryotes. Département de Snv : Université 8 mai 1945 Guelma, 42p.

- **Magdelaine Christophe.** [Les pesticides ou produits phytosanitaires\[en ligne\]. \(page consultée le 04/08/2020\) https://www.notre-planete.info/services/membres/membre.php?id=2](https://www.notre-planete.info/services/membres/membre.php?id=2)
- **Makhalanyane, T.P., Valverde, A., Gunnigle, E., et al (2015).** Microbial ecology of hot desert adaphic systems. *FEMS Microbiology reviews*, 39, 203-221.
- **Mamy, L., Barriuso, E., Bedos, C. et al. (2009).** Des pesticides qui s'accumulent dans les sols. [En ligne]. (Page consultée le 25/08/2020) (<https://www.researchgate.net/publication/281471148> Des pesticides qui s'accumulent dans les sols).
- **Mamy, L., Barriuso, E., Gabrielle, B. (2011).** Impacts sur l'environnement des herbicides utilisés dans les cultures génétiquement modifiées. (60), 15-23.
- **Martin-Laurent, F. (2013).** Adaptation des communautés microbiennes aux polluants chimiques. VI colloque de l'Association Francophone d'Ecologie Microbienne (AFEM) "Microbiologie environnementale: du gène à l'écosystème», Association Francophone d'Ecologie Microbienne (AFEM). FRA, 2013-10-22 Parent France, 101p.
- **Maurice, B (1956) .LES SOLS D'ALGÉRIE.** *Revue de Géographie Alpine* [en ligne] , 44 , (4) , (page consultée le 25/06/2020)
- **Ministère de l'agriculture et du développement rural.** Développement agricole dans les zones arides et semi-arides [en ligne]. (Page consultée le 5 août 2020) <http://madrp.gov.dz/agriculture/irrigation/agriculture-saharienne/>.
- **Monard, C. (2008).** Biodégradation des herbicides en sols tempérés-Contrôle des communautés bactériennes dégradantes par la bioturbation du sol .Thèse de doctorat : Sciences du Vivant. Université Rennes, 245p.
- **Morsli, M., Bali, A. (2009).** La Pratique du dimensionnement des chaussées sahariennes. In *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Vol 1, 2, 3, 4. 805-808.
- **Moudoub, M., Oumellil, M. (2018).** Isolement et sélection des souches d'actinomycètes productrices de peroxydases. Mémoire Master: Biotechnologie microbienne. Département de Microbiologie: Université A. Mira - Bijaïa, 29p.

- **Mougin, C., Chaplain, V., Rama-Mercier, R., et al. (1996).** Utilisation de champignons filamenteux pour la dépollution de sols pollués par des polluants organiques. *Sciences et Techniques*, 4, 20-22.
- **Muturi, E. J., Donthu, R. K., Fields, C. J., Moise, I. K., & Kim, C. H. (2017).** Effect of pesticides on microbial communities in container aquatic habitats. *Scientific reports*, 7, 44565.
- **Nola, M., Njiné, T., Servais, P. et al. (2003).**Évaluation de l'adsorption de deux bactéries fécales par l'horizon argilo-sableux et l'horizon quartzo-feldspathique d'un sol ferrallitique au cameroun (Afrique centrale).*Journal of Environmental Engineering and Science*, 2(5), 383-393..
- **Orée.** Connaître et maîtriser les risques liés à l'environnement [en ligne].consulté le 24 août 2020, <http://risquesenvironnementaux-collectivites.oree.org/le-guide/risques-mon-territoire/sante-environnement/pollution-du-sol.html>
- **Ouazzane, F., Ouazzane, N. (2019).**Etude de l'activité antibactérienne de quelques isolats d'actinomycètes isolés du sol. Mémoire Master: Microbiologie appliquée. Département de biologie: Université Djilali bounaama khemis Miliana, 45p.
- **Parekh N. R., Walker A., Roberts S. J., et Welch S. J., (1994).** Rapid degradation of the triazinone herbicide metamitron by a *Rhodococcus* sp. isolated from treated soil, *J. Appl Bacteriol.*, 77, 467.
- **Pascal, J. (2007).** Impact des résidus de pesticides sur les microorganismes des sols dans les agrosystèmes cotonniers du Burkina Faso. Mémoire diplôme d'étude approfondies (DEA): En gestion intégrée des ressources naturelles (GIRN). Ministère des enseignements secondaire, supérieur et de la recherche scientifique (M.E.S.S.R.S), 60p.
- **Pesce, S. (2013).** Réponses des communautés microbiennes aux pesticides organiques et inorganiques en milieu lotique. Thèse de doctorat: HDR en Ecotoxicologie Microbienne. Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand). 114p.
- **Pesce, S., Margoum, C., Rouard, N., et al (2009).** Adaptation microbienne aux changements spatio-temporels d'exposition aux pesticides en cours d'eau. 39ème Congrès du Groupe Français des Pesticides, UR QELY et INRA, 2009-05-13 Toulouse france.
- **Pierre Auger (2014).** Les effets de l'usage des pesticides sur la santé [en ligne]. (Page consultée le 04/08/2020).<https://uttam.quebec/chronique-MT/pesticides.php>

- **Pinterest. Fusarium oxysporum. (Sans date).** [Photo]. In: Pinterest. Disponible sur:<<https://www.pinterest.ca/pin/481814860106159422/>> (consultée le 26/06/2020).
- **Rafin, C., Couteaudier, Y., Alabouvette, C. (1988).** Etude de la dynamique et des interactions bactéries-Fusarium en sol désinfecté. Rev. Ecol. Bio. Sol, 25, 385-396.
- **Researchgate.** Degradation pathways of atrazine. (2008). [Cycle]. In: researchgate. Disponible sur:<https://www.researchgate.net/figure/Degradation-pathways-of-atrazine_fig3_5671223> (consultée le 30/08/2020)
- **Researchgate.** Proposed pathways for bacterial degradation of dicrotophos and monocrotophos.(2006) [cycle]. In: researchgate. Disponible sur :<https://www.researchgate.net/figure/Proposed-pathways-for-bacterial-degradation-of-dicrotophos-and-monocrotophos-Singh-and_fig9_325004031> (consultée le 30/08/2020)
- **Rezkallah Haciba . (2020).** Le Soir d'Algérie Quotidien national d'information [en ligne].(Page consultée le 01/08/2020). <https://www.lesoirdalgerie.com/actualites/les-intoxications-par-les-pesticides-constituent-un-veritable-probleme-de-sante-publique-37370>
- **Sahur, A., Ala, A., Patandjengi, B., Syam'un, E. (2018).** Effect of Seed Inoculation with Actinomycetes and Rhizobium Isolated from Indigenous Soybean and Rhizosphere on Nitrogen Fixation, Growth, and Yield of Soybean. International Journal of Agronomy, 2018.
- **Saker, R. (2018).** Recherche de nouveaux taxons d'actinobactéries halophiles des sols sahariens et potentialités antagonistes .Thèse de doctorat : Microbiologie. Département de microbiologie : Université Ferhat Abbas Sétif 1 ,139p .
- **Santé publique france.** Sols [en ligne] consulté le 24 août 2020 <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/sols>
- **Savado, P.W. (2001).** Etude de la biodégradation anaérobie des pesticides utilisés en agriculture au Burkina Faso: Cas particulier du Decis, de l'ultracide et du Sumithion. Thèse de Doctorat : Biochimie -Microbiologie. Département de biochimie-microbiologie. Université d'Ouagadougou, 114 p.
- **Schrijver, A. D., Mot, R. D. (1999).** Degradation of pesticides by actinomycetes. Critical reviews in microbiology, 25(2), 85-119..
- **Sethunathan, N., & Yoshida, T. (1973).** A Flavobacterium sp. That degrades diazinon and parathion. Canadian Journal of Microbiology, 19(7), 873-875.

- **SHAHIDI, B. G. H. (2007).** Potential hazards of gasoline additives in altering soil environment in favor of harmful microorganisms.
- **Sharma, M., Dangi, P., Choudhary, M. (2014).** Actinomycetes: source, identification, and their applications. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 3(2), 801-832.
- **Singh B. K., et Walker A., (2006).** Microbial degradation of organophosphorus compounds. *Federation of European Microbiological Societies*, 2006, 30: 428-47
- **Soulas, G. (1999).** Techniques d'évaluation de l'écotoxicité des substances xénobiotiques vis à vis de la microflore des sols. n°(19) 57-66.
- **Sud-ouest. Aspergillus Niger. (17 septembre 2018).** [Photo] In: Aspergillose : quel est ce minuscule champignon qui menace nos poumons?. Disponible sur :<<https://www.sudouest.fr/2018/09/17/aspergillose-quel-est-ce-minuscule-champignon-qui-menace-nos-poumons-5398652-10407.php>> (consulté le 26/06/2020).
- **Topp E., Xun L.Y., et Orser C.S., (1992).** *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 50-2506.
- **Toutain, G. (1973).** Conservation des sols en palmeraies dattières saharienne et perisahariennes, n° 48, 1-16.
- **Tpe pesticides . L'histoire des pesticides**[en ligne]. Page consultée le (04/08/2020) <http://tpepesticides.e-monsite.com/pages/pesticides-infos/l-histoire-des-pesticides.html>
- **Unine. Des micro-algues favorisent la biodiversité des sols. (16 mai 2017).** [Photo]. In: Unine. Disponible sur:<<https://www.unine.ch/unine/home/pour-les-medias/communiqués-de-presse/des-micro-algues-favorisent-la-b.html>> (consultée le 26/06/2020).
- **Van der, A., Worsley, S.F., Hutchings, M., Van wezel, S. (2017).** Chemical ecology of antibiotic production by actinomycetes. [En ligne] ,41 (3) (page consulté le 26/06/2020) <https://academic.oup.com/femsre/article/41/3/392/3830259>
- **Vaudano Maxime.** « A quoi servent les pesticides, qui se retrouvent dans notre alimentation ? » [en ligne].(consulté le 4 août 2020) https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2018/02/27/au-fait-a-quoi-servent-les-pesticides_5263042_4355770.html.
- **Walker, W. W., Cripe, C. R., Pritchard, P. H., Bourquin, A. W. (1988).** Biological and abiotic degradation of xenobiotic compounds in in vitro estuarine water and sediment/water systems. *Chemosphere*, 17(12), 2255-2270.

- **World Health Organization & United Nations Environment Programme. (1991).** L'utilisation des pesticides en agriculture et ses conséquences pour la santé publique. Organisation mondiale de la Santé, 06 MAI 1991 Genève, 145p. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/40742>
- **World Health Organization & United Nations Environment Programme. (1992).** L'Utilisation des pesticides en agriculture et ses conséquences pour la santé publique. Organisation mondial de la santé, 20 juillet 1992 Genève. 118p.
- **Zablocki, O., Adriaenssens, E.M. and Cowan, D C. (2016).** Diversity and ecology of viruses in hyper arid desert soils. *Applied and environmental Microbiology*, 82. (3), 770-777.
- **Zerizer, H., Oulmi, L., Boughachiche, F., et al. (2006).** Identification d'une actinomycetale productrice d'antibactériens, isolée de sils arides de la région de Biskra. *Sciences et Technologie. C, Biotechnologies*, 17-22.
- **Zgheib, S. (2009).** Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire. Thèse doctorat: Sciences et Techniques de l'Environnement. École nationale des ponts et chaussées, 273p.

Résumé

Notre travail consiste à définir la composante microbienne des sols arides. Il est question également de déterminer les effets néfastes des produits phytosanitaires sur la survie, la croissance et la structure des communautés microbiennes. Nous avons traité aussi dans ce travail, les techniques naturelles, de dégradation biotique et abiotique de ces molécules xénobiotiques. Les mécanismes de biodégradation des pesticides à différents structure chimique, ont été détaillés. Surtout concernant les organochlorés, les s-triazines, les triazinones, les carbamates, et les organophosphates Cette action s'exerce par différents mécanismes moléculaires qui utilisent des enzymes extracellulaires. La dépollution par des procédés abiotiques, laisse comprendre des actions physico-chimiques très différentes. Tels que la photolyse, l'hydrolyse, l'oxydation et des réactions photochimiques. Les microorganismes comme les champignons, les bactéries et les actinomycètes, participent activement au processus de biodégradation. Mais ce sont les consortiums bactériens qui donnent de bons résultats, comparativement aux monocultures.

Mots clés : sol aride, pesticides, biodégradation, dégradation abiotique.

Abstract

Our work consists in defining the microbial component of arid soils. It is also a question of determining the harmful effects of plant protection products on the survival, growth, and structure of microbial communities. In this work, we also dealt with the natural techniques of biotic and abiotic degradation of these xenobiotic molecules. The biodegradation mechanisms of pesticides with different chemical structures have been detailed. Particularly concerning organochlorines, s-triazines, triazinones, carbamates, and organophosphates This action is exerted by different molecular mechanisms that use extracellular enzymes. Depollution by abiotic processes allows very different physicochemical actions to be understood. Such as photolysis, hydrolysis, oxidation, and photochemical reactions. Microorganisms such as fungi, bacteria, and actinomycetes actively participate in the process of biodegradation. But it is the bacterial consortia that give good results, compared to monocultures.

Keywords: arid soil, pesticides, biodegradation, abiotic degradation

ملخص

يتمثل عملنا في تحديد المكون الميكروبي للتربة القاحلة. إنها أيضاً مسألة تحديد الآثار الضارة لمنتجات وقاية النبات على بقاء المجتمعات الميكروبية ونموها وبنيتها. في هذا العمل ، تعاملنا أيضاً مع التقنيات الطبيعية لتحلل الأحيائي واللاأحيائي لهذه الجزيئات الغريبة الحيوية. تم تفصيل آليات التحلل البيولوجي لمبيدات الآفات ذات التركيبات الكيميائية المختلفة. خاصة فيما يتعلق بالكلور العضوي ، والتريازينات ، والتريازينونات ، والكرامات ، والفوسفات العضوي ، ويتم تنفيذ هذا الإجراء بواسطة آليات جزيئية مختلفة تستخدم إنزيمات خارج الخلية. تسمح إزالة التلوث بالعمليات اللاأحيائية بفهم إجراءات فيزيائية - كيميائية مختلفة جداً. مثل التحلل الضوئي والتحلل المائي والأكسدة والتفاعلات الكيميائية الضوئية. تشارك الكائنات الحية الدقيقة مثل الفطريات والبكتيريا والفطريات الشعاعية بنشاط في عملية التحلل البيولوجي. لكن الاتحادات البكتيرية هي التي تعطي نتائج جيدة ، مقارنة بالزراعة الأحادية.

الكلمات المفتاحية: تربة قاحلة ، مبيدات حشرية ، تحلل حيوي ، تحلل غير حيوي.

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

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie moléculaires des microorganismes

*Effet des pesticides sur la faune et la microflore des sols désertiques et
synthèse bibliographique sur les techniques de dégradation de ces
xénobiotiques*

Notre travail consiste à définir la composante microbienne des sols arides. Il est question également de déterminer les effets néfastes des produits phytosanitaires sur la survie, la croissance et la structure des communautés microbiennes. Nous avons traité aussi dans ce travail, les techniques naturelles, de dégradation biotique et abiotique de ces molécules xénobiotiques. Les mécanismes de biodégradation des pesticides à différents structure chimique, ont été détaillés. Surtout concernant les organochlorés, les s-triazines, les triazinones, les carbamates, et les organophosphates Cette action s'exerce par différents mécanismes moléculaires qui utilisent des enzymes extracellulaires. La dépollution par des procédés abiotiques, laisse comprendre des actions physico-chimiques très différentes. Tels que la photolyse, l'hydrolyse, l'oxydation et des réactions photochimiques. Les microorganismes comme les champignons, les bactéries et les actinomycètes, participent activement au processus de biodégradation. Mais ce sont les consortiums bactériens qui donnent de bons résultats, comparativement aux monocultures.

Mot clés : sol aride, pesticides, biodégradation, dégradation abiotique.

Membre du jury :

Président du jury :	KITOUNI Mahmoud	(Pr- UFM Constantine).
Rapporteur :	BOUDEMAGH Allaoueddine	(Pr- UFM Constantine).
Examineur :	BENHIZIA Yacine	(Pr- UFM Constantine).

Présentée par : Benabbes Soumia
Djelouat Ibtissem

Année universitaire : 2019 -2020