



UNIVERSITÉ DE TLEMCEEN
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la
Terre et de l'Univers

Département de Biologie

MEMOIRE

Présenté par :

BENGUEDIH Farah

DJEDID Nour El Houda

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Microbiologie appliquée et Contrôle de qualité

Thème

**La biodégradation des pesticides par les champignons
du sol**

Soutenu le / 07/ 2021 devant le jury composé de :

Encadrante	BENSALAH Fatima	Docteur MCB	U. de Tlemcen
Examinatrice 01	KHOLKHAL Wahiba	Docteur MCB	U. de Tlemcen
Examinatrice 02	Bouali Wafaa	Docteur MCA	U. de Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

Résumé :

Les pesticides sont largement utilisés pour lutter contre les mauvaises herbes, les maladies et les ravageurs des plantes cultivées partout dans le monde. Ces substances sont très toxiques, cancérigènes et sont la cause de pollution de l'environnement. Ils représentent une préoccupation majeure pour les autorités publiques et sanitaires. La restauration des sites contaminés est possible par des techniques de dépollution biologique impliquant les microorganismes (biodégradation microbienne).

Nous avons montré dans ce travail et sur la base des travaux antérieurs la capacité des champignons du sol à dégrader les pesticides telle que la dégradation de l'herbicide organochloré diuron par 13 souches de basidiomycètes de la forêt tropicale, montrant la souche la plus efficace dans la dégradation du diuron. Ainsi nous avons étudié la toxicité et la dégradation de l'atrazine par 13 souches de basidiomycètes tropicaux avec production d'enzymes ligninolytiques montrant le rôle de l'azote dans le processus.

Mots clés : pesticides, biodégradation, champignons du sol, basidiomycètes de la forêt tropical.

ملخص:

تستخدم المبيدات على نطاق واسع لمكافحة الحشائش والأمراض والآفات التي تصيب المحاصيل المزروعة في جميع أنحاء العالم. هذه المواد شديدة السمية ومسببة للسرطان وتسبب تلوث البيئة وتشكل مصدر قلق كبير للسلطات العامة والصحية. يمكن استعادة المواقع الملوثة بتقنيات إزالة التلوث البيولوجي التي تشمل الكائنات الحية الدقيقة (التحلل البيولوجي الجرثومي).

لقد أظهرنا في هذا العمل وعلى أساس الأعمال السابقة قدرة فطريات التربة على تحلل المبيدات الحشرية مثل تحلل المبيدات العضوية الكلورية ديورون بواسطة 13 سلالة من الفطريات القاعدية في الغابات المطيرة ، مما يوضح السلالة الأكثر كفاءة في تحلل الديورون. وهكذا قمنا بدراسة سمية وتحلل الأترازين بواسطة 13 سلالة من الفطريات القاعدية الاستوائية مع إنتاج إنزيمات محللة للجنين تظهر دور النيتروجين في هذه العملية.

الكلمات المفتاحية: مبيدات الآفات ، التحلل البيولوجي ، فطريات التربة ، الفطريات القاعدية للغابات الاستوائية.

Summary:

Pesticides are widely used to control weeds, diseases and pests of crops around the world. These substances are highly toxic, carcinogenic and cause environmental pollution. They are a major concern for public and health authorities. The remediation of contaminated sites is possible by biological remediation techniques involving microorganisms (microbial biodegradation).

In this work and based on previous work, we have shown the ability of soil fungi to degrade pesticides such as the degradation of the organochlorine herbicide diuron by 13 strains of rainforest basidiomycetes, showing the most efficient strain in the degradation of diuron. Thus we studied the toxicity and degradation of atrazine by 13 strains of tropical basidiomycetes with production of ligninolytic enzymes showing the role of nitrogen in the process.

Key words: pesticides, biodegradation, soil fungi, tropical forest basidiomycetes.

Table des matières

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Introduction générale	1
Partie 1: Synthèse Bibliographique	04
Chapitre bibliographique 1 : les pesticides et leur impact sur l'environnement	04
1. Historique	05
2. Définition	05
3. Composition des pesticides	06
4. Classification des pesticides	06
4.1 Classification selon le ravageur qu'ils tuent	07
4.1.1 Les insecticides	07
4.1.2 Les herbicides	07
4.1.3 Les fongicides	07
4.2 Classification selon leur particularité chimiques	08
4.2.1 Les organochlorés (DDT, lindane)	08
4.2.2 Les organophosphorés	08
4.2.3 Les carbamates	09
4.2.4 Les pyréthrinoides	09
5. Mode d'action des pesticides	09
6. Application des pesticides	10
7. Usage des pesticides	11
8. Transfert des pesticides	11
9. Les effets des pesticides	13
9.1 Effets sur la santé humaine	13
9.1.1 La toxicité aigüe et la toxicité chronique	13
9.2 Les principaux mécanismes de toxicité des pesticides	14
9.3 Impacts sur l'écosystème de l'eau et de l'air	16

9.4	Effet de la toxicité des pesticides sur les plantes	17
9.5	Effet des pesticides sur la microflore du sol	17
9.6	Effets sur les aliments	18
9.7	Effets sur l'environnement	18
10.	Le marché des pesticides.....	19
11.	Législation.....	21
12.	Le problème de persistance des pesticides.....	22

Chapitre bibliographique 2 : Les champignons du sol et leurs rôles dans la biodégradation des pesticides		23
1.	Le sol	23
1.1	Définition	24
1.2	Principales fonctions du sol	24
1.3	La pollution du sol	24
1.4	Devenir des pesticides dans l'environnement	25
1.4.1	La rétention des pesticides et de leurs métabolites dans le sol	26
1.4.2	Les facteurs influençant l'adsorption	27
1.4.3	Mesure du potentiel d'adsorption d'un sol	29
2.	Les champignons du sol	29
2.1	Définition	29
2.2	Classification phylogénétique	30
2.3	Mode de vie	30
3.	L'application des champignons en bioremédiation	31
3.1	La biodégradation	32
3.2	La dégradation des pesticides	32
3.3	Les facteurs influençant la dégradation	34
3.4	Les cinétiques de biodégradation	36
4.	Rôle des communautés microbiennes dans la biodégradation	37
5.	Les champignons de dégradation des pesticides	38

Partie 2 : Méthodologie	41
Article 01	42
1. Introduction	42
2. Méthodologie	42
Article 02	43
1. Introduction	43
2. Méthodologie	44
Résultats et discussions	45
Conclusion.....	50
Références bibliographiques.....	52
Annexes	64

Liste des abréviations

CACQE : Centre Algérien du contrôle de la Qualité et l’emballage.

POP : Polluants Organiques Persistants.

STP : Substance Toxique Persistante.

GDS : Gestion durable des sols.

PCB : Polychlorobiphényles.

HCB : L’hexachlorobenzène.

DDT : Dichlorodiphényltrichloroéthane.

DDD : Dichlorodiphényldichloroéthane.

DEET : Diéthyltoluamide.

HPLC : Chromatographie Liquide Haute Performance.

HPLC-MS : Chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse.

ANOVA : Analyse de la variance.

DCPMU : N-(3,4 dichlorophényl)-N-(méthyl)-urée.

DCPU : N-(3,4 dichlorophényl)-urée.

DNS : L'acide 3,5-dinitrosalicylique

ABTS : L’acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique)

Liste des figures

<u>Figure 1</u> : Classification des pesticides par ravageur qu'ils tuent et composition chimique ..	09
<u>Figure 2</u> : Formation pour le secteur de la santé 2008	12
<u>Figure3</u> :Effets négatifs de la toxicité des métaux lourds des pesticides sur la santé humaine	16
<u>Figure 4</u> : Moyenne totale des pesticides par an	20
<u>Figure 5</u> : Pourcentages d'utilisation mondiale des pesticides	20
<u>Figure 6</u> : Phylogénie des champignons	30
<u>Figure 7</u> : Ecologie des champignons	31
<u>Figure 8</u> : comportement des pesticides dans l'environnement	35
<u>Figure 9</u> : contaminant des pesticides et biodégradation dans l'environnement	36

Remerciement

Avant toute chose, on remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la Santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire. Tout d'abord, ce Travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et L'encadrement de Mme BENSALAH Fatima Maitre de Conférences Classe « B » à L'Université Abou-Bekr Belkaid -Tlemcen, on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire

On tient à remercier Madame KHOLKHAL Wahiba Maitre de Conférences Classe « B » à L'Université Abou-Bekr Belkaid -Tlemcen, pour nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury, qu'elle trouve ici mes sincères impressions de gratitude et De respect.

Nos remerciements vont aussi à Madame BOUALI Wafaà Maitre de Conférences Classe « A » à l'université de Tlemcen, d'avoir ménagé son temps pour juger et critiquer ce travail, qu'elle trouve ici toutes mes expressions respectueuses.

Enfin, nous adressons nos remerciements particuliers à tous les enseignants du département de biologie et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

*A l'aide de dieu tout puissant on a pu achever ce modeste travail que
je dédie :*

*A mes chers parents « Djedid Mohamed et kacemi Fatiha » pour tous
leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, et leurs prières tout au
long de mes études que Dieu les protège.*

*A mes chères sœurs Asma, Moufida, Amel et Dounia qui m'avez
toujours soutenue et m'encouragé durant ces années d'études, et
surtout à mes adorables nièces et neveux.*

A mon unique frère Makhlouf, pour son aide et sa confiance.

*A tous mes amis, Amina Z, Selma, Douae, et particulièrement à
Walid B, pour leur soutien moral et leur encouragement surtout.*

*Et à tous mes collègues de promotion de 2^{ème} année Master
microbiologie et contrôle de qualité 2021.*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le
fruit de votre soutien infaillible.*

D.Houda

Dédicace

C'est grâce à dieu, le tout puissant qui m'a donné le courage et la volonté pour achever ce modeste travail que je dédie :

A mes chers parents Touria et Mourad pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études Que Dieu vous protège et vous prête santé et longue vie

*Mes aimables sœurs Amaria et Nesrine et mon chère frère Othmen pour leurs soutien moral, et mon cher neveu et mon bébé d'amour
Ziad Maher*

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

*A la famille : **BENGUEDIH***

A Mes amis Sara et Ahlem et Achou qui m'ont permis d'oublier les moments de stress et de découragement. Tous ceux qui me sont chers.

A Tous mes collègues de promotion de microbiologie et control de qualité, et surtout Farah, Souad, Roumaissa, Nafissa, Nadjat, Ibtissem et Ali pour leurs aides et disponibilités

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible, Merci d'être toujours là pour moi.

B.Farah

Introduction générale

Les pesticides sont des produits chimiques utilisés dans l'agriculture pour protéger les récoltes des insectes, des champignons, des mauvaises herbes et d'autres nuisibles. Ils sont employés également pour lutter contre les vecteurs de maladies tropicales, comme les moustiques (OMS, 2016).

La pollution causée par les activités agricoles et l'usage des produits phytosanitaires représente un cas typique de pollution multiple et généralisée de tous les compartiments de l'environnement. Elle constitue un sujet de préoccupation majeur et un problème d'actualité (Craven, 2005). Seulement 5% ou moins des pesticides appliqués atteignent les organismes cibles, ce qui a entraîné une contamination des sols et des plans d'eau (problème environnemental majeur de l'âge actuel). L'utilisation périodique de pesticides rend la situation particulièrement inquiétante. Cette répétition sur le long terme conduit nécessairement à une accumulation de pesticides et de leurs résidus dans l'environnement, mettant en danger l'ensemble de la population par leur toxicité multiforme (Zhang et col., 2019).

Il existe une relation directe entre la contamination des pesticides et leur détection résiduelle (Su, 2014). En plus d'avoir des effets toxiques sur l'homme, il existe un risque élevé de contamination dans l'écosystème (Tóth, 2016). Une menace persistante de volatilisation des pesticides pulvérisés présente et frappe généralement (directement) la végétation non ciblée. Cela conduit à une contamination de l'air, du sol et des plantes non ciblées (Li et col., 2013). Il existe des menaces chroniques pour la vie humaine, causées par une exposition à long terme et à faible dose aux pesticides. Il peut provoquer des perturbations hormonales, une intelligence diminuée et des anomalies de la reproduction (Xiao et col., 2017). La mobilité constante des pesticides appliqués par lessivage et volatilisation entraîne une contamination de différents niveaux dans l'environnement (Cho-Ruk et col., 2006, Tangahu, 2011).

Parmi les nombreux pesticides commercialisés en Algérie, la deltaméthrine et l'abamectine sont parmi les plus employés dans la lutte contre différents nuisant tels que les moustiques, les blattes, le criquet pèlerin, etc. Même si aucune donnée sur les effets chroniques, génotoxiques, cancérigènes ou sur la reproduction n'est disponible, on note que l'exposition aiguë aux préparations commerciales à base d'abamectine entraîne, des réactions irritatives fortes de la peau et des muqueuses ainsi qu'une dépression du système nerveux possiblement liée à une intoxication aux solvants de la préparation (INRS, 2013). Pour la deltaméthrine, des effets aigus sont observés essentiellement neurologiques à type de paresthésies mais aussi cutanéomuqueux à type d'irritation, tandis que les manifestations décrites pour la plupart des expositions chroniques sont bénignes (INRS, 2007).

Le développement des systèmes de traitement des déchets phytosanitaires, représente un intérêt croissant. L'enjeu est majeur, il s'agit d'éviter la pollution de l'environnement par les pesticides d'une part et de protéger la santé publique d'une autre part. Parmi les moyens de dépollution, celles qui utilisent les techniques physico-chimiques sont considérées très coûteuses et nécessitent des moyens généralement lourds. On assiste ces dernières années à l'émergence des techniques biologiques qui sont beaucoup moins onéreuses et très efficaces

(Loqman, 2009). Ces procédés font appel aux microorganismes capables de biodégrader ces polluants très variés.

Le traitement biologique semble être une alternative prometteuse, efficace, économique et écologique. En fait, tous les types de sols peuvent être nettoyés à l'avance par des moyens biologiques. De même, tous les xénobiotiques sont biodégradables à long ou court terme. Le traitement biologique utilise des micro-organismes locaux (déjà en place dans le sol) ou hétérologues (ajoutés) pour dégrader les polluants organiques.

La problématique face aux besoins de connaissances nouvelles, c'est bien évidemment : « Est-ce que les champignons du sol pourraient-être efficaces dans la biodégradation des pesticides ? ».

Notre travail de recherche a comme but de montrer principalement l'efficacité des champignons du sol dans la bioremédiation des pesticides. Dont les objectifs sont :

- Etudier le devenir des stocks en pesticides présents dans les sols sur le long terme.
- Déterminer leurs conséquences sur l'environnement.
- Savoir comment certains types de champignons peuvent subir la dégradation de pesticides.

Synthèse bibliographique

Chapitre I :

Les pesticides et leur impact sur
l'environnement

1. Historique

La lutte chimique a une histoire de milliers d'années. L'utilisation du soufre remonte à la Grèce antique (1000 avant JC), et le naturaliste romain Pline l'Ancien a recommandé l'utilisation de l'arsenic comme insecticide. Les plantes connues pour leurs propriétés toxiques sont utilisées comme pesticides (par exemple, l'aconit au Moyen Âge était un insecticide pour les rongeurs). Des articles sur ces plantes ont été écrits (par exemple, l'article de Maïmonide sur les poisons en 1135). L'arsenic ou les produits à base de plomb (arséniate de plomb) ont été utilisés en Chine et en Europe au XVIe siècle (Canabal ,2010). Les propriétés insecticides du tabac sont connues dès 1690. En Inde, les jardiniers utilisent les racines de Derris et Lonchocarpus (roténone) comme insecticides. Leur utilisation s'est répandue en Europe vers 1900. Parmi les pesticides les plus utilisés depuis le 19ème siècle, le bactéricide à base de sulfate de cuivre, notamment le célèbre mélange bordelais élaboré par A (un mélange de sulfate de cuivre et de chaux) Millardet (1838-1902) proposa d'utiliser en 1885. En 1807, Isaac-Bénédict Prévost préconise l'utilisation du sulfate de cuivre pour traiter la pourriture du blé. Elle a été rarement suivie en France et ses recommandations ont été rapidement adoptées en Suisse, au Royaume-Uni et aux Pays-Bas (Canabal ,2010). L'arsenic de plomb a été utilisé en Algérie en 1888 pour lutter contre l'Eudemis du raisin. Ensuite, il a été remplacé par le DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) dès le début de la Seconde Guerre mondiale.

2. Définition

Le mot « pesticide » est un terme générique dérivé des termes latins « caedere » qui signifie (tuer) et « pestis » qui a le sens de (fléau). Ce mot est intégré à la langue anglaise vers 1940, ensuite a pris naissance dans la langue française vers la fin des années 1950. Ce terme est utilisé fréquemment dans le langage courant que scientifique. Les pesticides se caractérisent principalement par la lutte contre les organismes nuisibles (animaux, végétaux, champignons) mais ils peuvent aussi réguler la croissance des végétaux, avoir des propriétés défoliantes ou dessicantes, aussi améliorer le stockage et le transport des produits de culture (Les éditions Inserm, 2013). Leurs définitions précises et classifications sont diverses en fonction des contextes d'utilisation et des réglementations. Ainsi, les pesticides peuvent être regroupés selon leurs cibles principales : les herbicides ou désherbants, les fongicides (pour lutter contre les champignons), les insecticides ou produits antiparasitaires, les acaricides, les rodenticides (contre les petits rongeurs), les nématicides (contre les vers), les

molluscicides (limaces)...etc. Les pesticides peuvent être également regroupés selon les usages aux quels ils sont destinés: cultures végétales, entretiens d'espaces verts, plantes ornementales, voiries, traitement du bois, élevage... etc. Selon leurs structures moléculaires et leurs propriétés, et ils appartiennent à différentes familles chimiques. Au niveau réglementaire, les produits habituellement regroupés sous le terme « pesticides » sont définis selon quatre réglementations européennes distinctes : Les produits phytopharmaceutiques, les biocides, les médicaments et produits à usage humain ainsi des usages vétérinaires. Ces réglementations ont été mises en place afin de se doter d'un cadre juridique harmonisé au sein de l'Union Européenne. Une même substance peut être soumise à plusieurs réglementations existantes. Les pesticides tels qu'ils sont considérés dans la présence expertise collective et par la communauté scientifique internationale, s'affranchissent des définitions réglementaires (variables au cours du temps au sein d'un même pays ou selon les pays) ainsi que de leur origine, naturelle ou issue de la transformation de produits (Les éditions Inserm, 2013).

3. Composition des pesticides

Les pesticides sont composés d'une série de molécules, dont:

- Un ou plusieurs principes actifs ayant des effets toxiques en tout ou en partie.
- Diluant, qui est un matériau solide ou liquide (solvant) incorporé dans la formulation pour réduire la concentration sur les matières actives. C'est un groupe d'agents d'expression qui diluent les principes actifs, facilitant l'application des pesticides. Dans le cas des liquides, ce sont généralement des huiles végétales, dans le cas des solides, ce sont généralement de l'argile ou du talc.
- Les adjuvants sont des substances qui n'ont pas d'activité biologique, mais qui peuvent modifier la qualité des pesticides et favoriser leur utilisation.

4. Classification des pesticides

Les pesticides sont des substances toxiques ou un mélange de substances synthétisées naturellement ou chimiquement. Selon les besoins des demandeurs / utilisateurs, les pesticides peuvent être divisés en différentes catégories.

4.1. Classification selon le ravageur qu'ils tuent :

Cette catégorie de classification est basée sur les espèces nuisibles cibles, on distingue :

4.1.1. Les insecticides :

Les insecticides sont conçus pour éliminer les insectes nuisibles, on trouve des insecticides agissant sur le système nerveux (action sur les synapses et les neuromédiateurs, la transmission axonale). D'autres agissent sur la respiration (inhibition du transport des électrons dans la mitochondrie comme la roténone) (Calvet et col. 2005). En fonction de leurs propriétés chimiques, ils se répartissent en trois grandes catégories: les substances minérales, les molécules organiques d'origine naturelle ou les produits organiques de synthèse. Ils sont de loin les plus utilisés. Les insecticides appartiennent à trois grandes familles chimiques : les organophosphorés (diméthoate, malathion, ...), les carbamates (aldicarbe, carbofuran, ...) et les pyréthrinoides de synthèse (bifenthrine, perméthrine, ...).

4.1.2. Les herbicides :

Les herbicides sont des produits chimiques qui tuent ou inhibent la croissance de végétaux indésirable dans les cultures ou les espaces verts (Calvet et col., 2005). Les herbicides possèdent différents modes d'action sur les plantes comme perturbateurs de la photosynthèse, inhibiteurs de la division cellulaire, inhibiteurs de la synthèse de cellulose, inhibiteurs de la synthèse des acides aminés, perturbateurs de la régulation d'une hormone l'auxine.

4.1.3. Les fongicides :

Les fongicides sont utilisés pour lutter contre les champignons pathogènes pouvant infecter les plantes cultivées. Ils affectent les processus respiratoires (quinones et quinoléines), pourront agir sur les microtubules (carbamate). (Calvet et col., 2005)

On distingue également:

- Nématicides (contrôle les nématodes parasites de plante).
- Rondenticides (contre les rongeurs, rats et souris).
- Les molluxicides (contre les mollusques).
- Les acaricides (contre les acariens).

4.2. Classification selon leur particularité chimique

Les styles les plus courants et les plus utiles sont classés en fonction de leur structure chimique et de la nature des ingrédients actifs. La classification est basée sur les propriétés physiques et chimiques des pesticides. Il existe de nombreuses sous-catégories dans chaque catégorie, et ces sous-catégories sont divisées en fonction de leurs caractéristiques toxicologiques et de leur composition chimique.

4.2.1. Les organochlorés (DDT, lindane) :

Cette famille comprend un grand nombre de composés chimiques contenant du chlore et quelquefois d'autres éléments.

Ces insecticides qui contiennent du chlore ont un large spectre d'action. Ils sont, pour la plupart, interdits du fait de leur forte persistance et des risques d'accumulation dans les sols, les tissus végétaux et les graisses animales (Calvet et col., 2005).

4.2.2. Les organophosphorés :

Ils ont été largement utilisés dès la Seconde Guerre mondiale. Ils sont moins persistants que les organochlorés et ils ont remplacés pour des usages agricoles (Calvet et col., 2005). Les pesticides organophosphorés sont divisés en différentes catégories selon leur degré d'oxydation du phosphore et la nature des substituant, notamment la présence d'atomes d'oxygène ou autres éléments chalcogènes. Les composés organophosphorés rapidement bien qu'en petite quantité, ils se dégradent en raison du rayonnement solaire, dans l'air et dans le sol, peuvent survivre et éventuellement entrer dans la nourriture et l'eau. Le fait qu'ils se dégradent facile à faire de cette famille une alternative intéressante aux pesticides organochlorés persistant. Cependant, bien que les organophosphorés se dégradent plus rapidement, ils sont plus toxiques, posant un risque pour les utilisateurs de ces composés.

4.2.3. Les carbamates :

Ils sont utilisés dans le monde d'entier afin d'attaquer les insectes, les champignons, et les mauvaises herbes. Ces composés constituent une série de pesticides, et leur rôle Acétylcholinestérase (la famille des carbamates agit également sur cette enzyme). Ils ont un large spectre d'action mais sont moins toxique que les organophosphorés. Ils agissent en bloquant de manière irréversible l'acétylcholinestérase, essentielle aux transferts nerveux pour les insectes, les humains et la plupart des animaux.(Anne-Antonella, 2015)

4.2.4. Les pyréthrinoides :

Les pyréthrynoïdes de synthèse (deltaméthrine, perméthrine, esfenvalérate) (Calvet et col., 2005). Ils sont largement utilisés dans le traitement des fruits, très peu volatiles et très lipophile. Ont une toxicité moindre que les familles précédentes (Calvet et col., 2005).

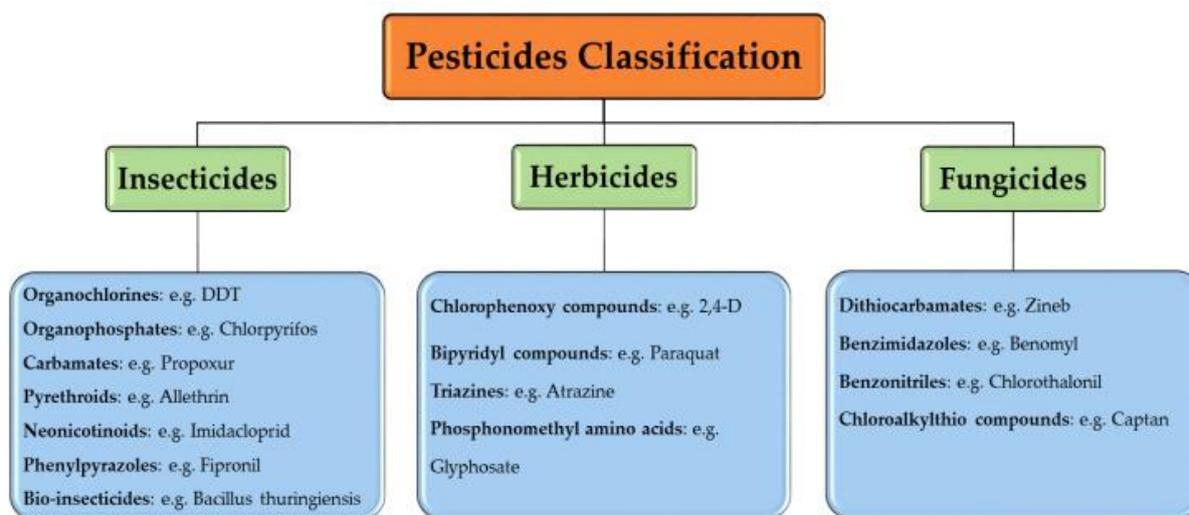


Figure1 : Classification des pesticides par ravageur qu'ils tuent et composition chimique (Modifié d'après (Yadav et Devi,2017, Fischelet Ferrel,2010).

5. Mode d'action des pesticides

Les produits phytopharmaceutiques constituent des types de substances très différents regroupant un grand nombre de molécules pouvant être classées en familles chimiques et aussi ils sont classés selon des critères très stricts pour identifier le plus de molécules ou isomère actif. Sur la base de ces normes, nous différencions les produits par exemple minéraux dans les produits biologiques, y compris le chlore organique, organophosphates et

carbamates, eux-mêmes subdivisés en carbamates de méthyle ou de phényle et ainsi de suite jusqu'à la molécule et ses isomères. Cette hétérogénéité chimique est causée par des ravageurs cibles (insectes, acariens et espèces apparentées, herbes ou plantes ligneuses, champignons, parasites, bactéries virus et autres microorganismes, vers, rongeurs et autres prédateurs) et par reproduction des cible biologiques possibles d'être atteints (système nerveux, voies métaboliques, synthèse des protéines et des acides nucléiques, etc.).

Ils arrivent souvent dans la même famille chimique par exemple carbamate, certains représentants sont actifs sur le système nerveux et attaque les insectes et les espèces apparentées sont considérées comme des pesticides, tandis que d'autres espèces peuvent inhiber certaines voies métaboliques existent chez les insectes, les plantes et les champignons sont considérés comme des herbicides spécialement utilisés pour les plantes vertes.

Le mode d'action fait généralement référence au mécanisme par lequel la substance exerce son effet, son impact sur la cible biologique du ravageur cible mais cette dernière peut également exister autres personnes non ciblées. Si nous prenons les pesticides carbamates comme exemple, inhiber l'acétylcholinestérase, qui est une enzyme impliquée dans les processus suivants neurotransmission, cette cible existe également chez les mammifères dont l'homme organisme non cible, mais sa fonction du système nerveux peut être exposés à ces produits non spécifiques, ils seront perturbés. Ils convient également de noter les organismes cibles et non cibles, ces produits peuvent causer d'autres mécanismes d'action principale, mais dans ce cas, ces effets sont considérés comme secondaire, et ce terme n'affectera jamais son importance biologique (Calvet et col., 2005).

6. Application des pesticides

Afin de mieux gérer les pesticides, les agriculteurs doivent savoir comment affectent les ravageurs. Une connaissance approfondie des principes actifs toxiques des substances antiparasitaires peuvent favoriser l'invasion des organismes nuisibles cibles, inhibant ainsi leurs croissances. Cette méthode de gestion chimique peut également contribuer à réduire la reproduction de certaines plantes. L'application de molécules antiparasitaires n'est efficace que lorsque la composition physique et chimique des ingrédients actifs est bien connues, les molécules tueront ou détruiront les organismes nuisibles qui causent la dégradation des cultures. La dose applicable est basée sur le nombre de ravageurs, les dommages potentiels à la culture, la perte de rendement estimée, sans parler du coût économique de l'application de pesticides par rapport aux bénéfices rapportés de la protection des cultures (E-TIC, 2014).

Selon une citation de Paracelse (1493-1541), médecin suisse : "Rien n'est poison, tout est poison, seule la dose fait le poison. »

7. Usage des pesticides

Les pesticides sont utilisés dans nombreux domaines d'activité pour lutter contre les organismes nuisibles afin de protéger les produits industriels dans le processus de fabrication textile, du papier qui est utilisé dans le circuit de refroidissement pour éviter la moisissure, en médecine pour empêcher les maladies infectieuses humaines, de se propager par des vecteurs tels que le paludisme transmis par les moustiques, et même pour prévenir la trypanosomiase ou la maladie du sommeil (mouche tsi-tsi). Les pesticides sont également utilisés comme moyen de protection pour les matériaux et le bois (IUF, 2004).

L'absence d'approches respectueuses de l'environnement pour la gestion des ravageurs et des maladies de la pomme de terre n'a laissé aux agriculteurs aucune autre option que l'utilisation régulière des pesticides chimiques. Le code de conduite de l'organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) pour l'utilisation des pesticides n'est la plupart du temps pas respectée dans de nombreux pays en développement.

Une mauvaise utilisation des pesticides peut entraîner des maladies qui réduisent la disponibilité de la main-d'œuvre agricole familiale et augmentent la résistance des ravageurs aux pesticides en raison des faibles taux de pesticides et de l'utilisation fréquente des mêmes ingrédients actifs.

8. Transfert des pesticides

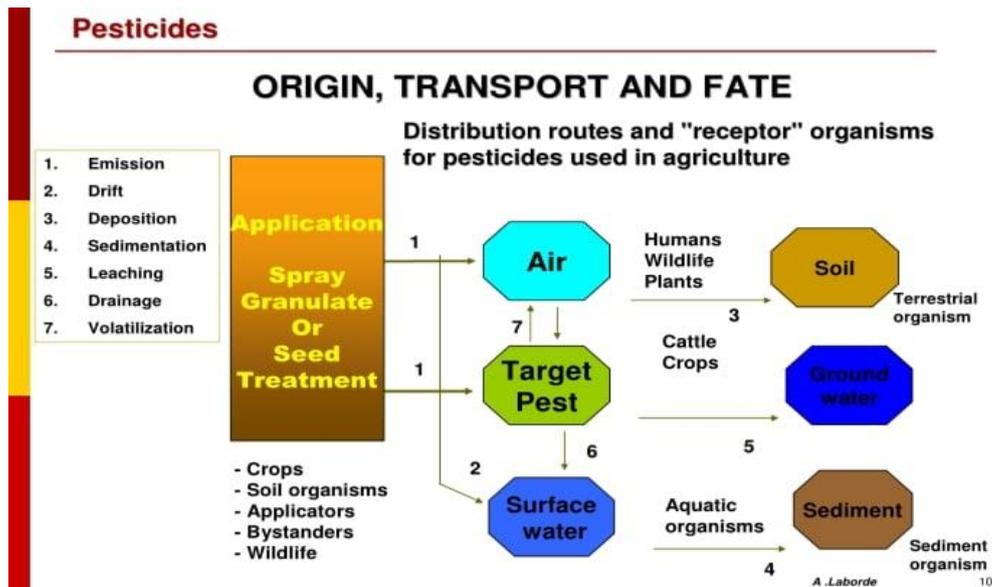


Figure 2: TRAINING FOR THE HEALTH SECTOR, 2008

Les pesticides ont des modes de distribution et de persistance différents dans l'environnement, même s'ils sont tous distribués d'une manière ou d'une autre dans l'air, le sol et l'eau. Cet aspect doit être abordé afin de comprendre comment l'exposition aiguë et chronique peut se produire, car l'air, l'eau et le sol sont les milieux d'exposition.

Ce schéma illustre les voies suivies par un produit chimique agricole (pulvérisation, granulés ou traitement des semences), qui est appliqué sur un site donné représentant un risque pour les applicateurs, les personnes présentes et la faune sauvage. Lorsqu'un pesticide est appliqué directement sur un organisme nuisible cible (plante ou animal), l'ensemble du site est affecté y compris les plantes cultivées, les organismes du sol et potentiellement les animaux sauvages, les humains et la faune dans la zone immédiate. En outre, une partie du produit se retrouve dans l'air ou dans les eaux de surface, en raison de l'émission (1) ou de la dérive (2). Une fois sur le site cible, le pesticide peut "s'écouler" dans les eaux de surface ou se volatiliser (6) dans les eaux de surface ou se volatiliser (7) dans l'air. Dans l'air, il peut se déposer (3) sur les humains, les animaux sauvages ou les plantes ou sur le sol. Depuis les animaux ou les plantes où il a été appliqué, le pesticide peut s'infiltrer (5) dans les eaux souterraines. Les pesticides présents dans les eaux de surface peuvent pénétrer dans les organismes aquatiques et par sédimentation (4) dans d'autres organismes qui restent dans les sédiments. La persistance du pesticide dépend de ses propriétés physiques et chimiques (coefficients de partage, taux de dégradation, taux de dépôt) et des caractéristiques de l'environnement (TRAINING FOR THE HEALTH SECTOR, 2008).

Les caractéristiques climatiques jouent également un rôle dans la persistance, des études menées dans l'Arctique ont montré que les insecticides et les herbicides persistent 3 à 8 fois plus longtemps dans les climats froids que dans les climats tempérés. Les pesticides les plus persistants sont appelés "polluants organiques persistants" (POP) et font l'objet d'un module distinct.

9. Les effets des pesticides

Malgré les résultats bénéfiques de l'utilisation des pesticides dans l'agriculture et la santé publique, leur utilisation a également des effets délétères sur l'environnement et la santé publique. Les pesticides occupent une position unique parmi les contaminants environnementaux en raison de leur forte activité biologique et de leur toxicité. La plupart des pesticides ne font pas de distinction entre les nuisibles et les autres formes de vie accidentelles similaires. Ils sont potentiellement dangereux pour l'homme, les animaux, les autres organismes vivants et l'environnement parce qu'ils sont mal utilisés, on estime qu'environ 5000 à 20 000 personnes sont mortes.

9.1. Effets sur la santé humaine :

Les effets des pesticides sur la santé dépendent toujours du type de pesticide. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) déclare que la toxicité d'un pesticide dépend de sa fonction et d'autres facteurs, par exemple les insecticides ont tendance à être plus toxiques pour l'homme que les herbicides (Sacramento, 2008). Les pesticides peuvent pénétrer dans le corps humain par l'inhalation d'air pollué, de poussières et de vapeurs comme par exposition orale en consommant des aliments et de l'eau contaminés notamment par exposition cutanée par contact direct avec les pesticides. La toxicité des produits chimiques dépend de la nature de la toxine, des voies d'exposition (orale, cutanée et inhalation), de la dose et de l'organisme.

9.1.1 La toxicité aiguë et la toxicité chronique :

La toxicité peut être aiguë ou chronique tout dépend de l'intensité des pesticides.

- **Toxicité aiguë :**

L'emploi inadéquat de ces produits peut entraîner à très court terme (heures, jours) des troubles de la santé, le plus souvent reliés au même mécanisme mis en jeu par le pesticide dans son action contre le nuisible. Dans certains cas, ces troubles peuvent se manifester à

moyen terme, en particulier en cas d'expositions répétées. Le profil toxicologique aigu de la plupart des pesticides sont assez bien connu.

Des intoxications systémiques, pouvant conduire généralement à plusieurs symptômes tels que (des maux de tête, douleurs corporelles, éruptions cutanées, troubles de concentration, nausées, vertiges, troubles de la vision, les crampes, les attaques de panique, et la mort). Environ 3 millions de cas d'empoisonnement aigus dus aux pesticides sont signalés chaque année dans le monde, sur ces 3 millions de cas d'empoisonnement aux pesticides, 2 millions sont des tentatives de suicide et les autres sont des cas professionnels ou accidentels (Singh et Mandal, 2013).

- **Toxicité chronique :**

Tous les effets nocifs qui se produisent à partir de petites doses répétées pendant une certaine période de temps sont appelés « effets chroniques ». Les effets chroniques suspectent de l'exposition à certains pesticides qui comprennent les malformations congénitales, la toxicité pour le fœtus et la production de tumeurs bénignes ou malignes, des changements génétiques, des troubles sanguins, des troubles nerveux, des perturbations endocriniennes et des effets sur la reproduction. La toxicité chronique d'un pesticide est plus difficile à déterminer que la toxicité aiguë par des analyses de laboratoire. L'exposition continue et répétée à des quantités subtotaux de pesticides pendant une longue période (pouvant aller de plusieurs années) provoque des maladies chroniques chez l'homme (Eldridge, 2008). Les symptômes ne sont pas directement remarqués mais apparaissent plus tard.

9.2. Les principaux mécanismes de toxicité des pesticides

Plusieurs études expérimentales *in vitro* ont permis de montrer que certains pesticides (l'endosulfan, la roténone, et des organophosphorés/chlorpyrifos), peuvent induire un stress oxydant entraînant des perturbations de processus de régulation de la survie et de la prolifération cellulaire comme par exemple certaines voies de signalisation cellulaire, et certaines caspases (Ledirac et col., 2005; Lee et al., 2008a; Saulsbury et col., 2008). Il a été montré que des effets neurotoxiques (Drechsel et Patel, 2008; Rio et Velez-Pardo, 2008), immunotoxiques (Liand Kawada, 2006) ainsi que des effets cancérogènes et génotoxiques étaient liés à une augmentation de la libération d'espèces réactives de l'oxygène en présence

des pesticides. Une augmentation des aberrations chromosomiques *in vitro* chez des lymphocytes humains a été observée en présence de certains pesticides tels que le Carbofuran, seul (Naravaneni et Jamil, 2007) ou en mélange avec l'Endosulfan et le Monochrotophos (Das et col., 2007). De plus, sur des cellules mammifères, l'Alachlore, le Chlorpyrifos, le Mancozèbe et le Monochrotophos ont montré une augmentation des aberrations chromosomiques (Bagchi et col., 1995; Calviello et col., 2006) et des bases oxydées de type 8-OH-Dg (Calviello et col., 2006) ainsi qu'une présence de micronoyaux. Par ailleurs, certains pesticides comme les carbamates et les organophosphorés provoquent une inhibition de l'activité de l'acétylcholinestérase au niveau du système nerveux périphérique ou central entraînant une hyperexcitabilité des cellules neuronales et des effets potentiellement neurotoxiques (Moser, 2007).

Une inhibition de la neurotransmission provoquée par la diminution de l'activité de l'acétylcholinestérase cérébrale qui a également été liée à une suppression de la sécrétion d'hormones stimulant les gonades (hormone de stimulation folliculaire FSH) et (hormone lutéinisante LH), pouvant entraîner des effets sur la fertilité (Lyons, 2000). De plus, certains pesticides comme le Lindane, l'Endosulfan, la Dieldrine et l'Eldrine peuvent entraîner une inhibition des récepteurs GABAergiques et une activation des récepteurs glutaminergiques dans les cellules neuronales de mammifères, induisant un syndrome d'hyperexcitabilité qui peut évoluer jusqu'à l'apparition de convulsions (Sunol et col., 2008). D'autre part, les pesticides peuvent entraîner des effets immunotoxiques en agissant par plusieurs mécanismes ainsi que des effets d'inhibition de production d'anticorps, d'interleukines (IL-2), de cellules T et CD5 et des effets d'induction de la fabrication d'auto-anticorps, certains pesticides, en particulier des organophosphorés, ont montré des effets inhibiteurs de l'activité des cellules NK (Natural killer), LAK (Lymphokine Activated Killer) et CTL (Cytotoxic T Lymphocytes). Ces cellules sont responsables de la mort des cellules tumorales ou des cellules infectées et peuvent être inhibées par les organophosphorés selon 3 mécanismes : - l'induction de l'apoptose cellulaire, - l'inhibition de leur capacité de sécrétion de substance cytotoxique ou - l'inhibition directe de la voie Fas/Fas, l'essentielle pour leur activité (Li et Kawada, 2006). Cependant, la plupart de ces études utilisent des doses relativement fortes et les effets à faibles doses sont moins bien décrits. Par exemple, les pesticides organophosphorés inhibent l'activité acétylcholinestérase uniquement à des doses relativement fortes et observées suite à des expositions aiguës ou accidentelles. Une étude très récente a pu montrer qu'à faible dose, certains pesticides organophosphorés sont capables de

se lier d'une façon spécifique à des protéines au niveau du cerveau et du thymus, ces propriétés pourraient être à l'origine de leurs effets neurotoxiques et immunotoxiques à long terme (Carter et col., 2007).

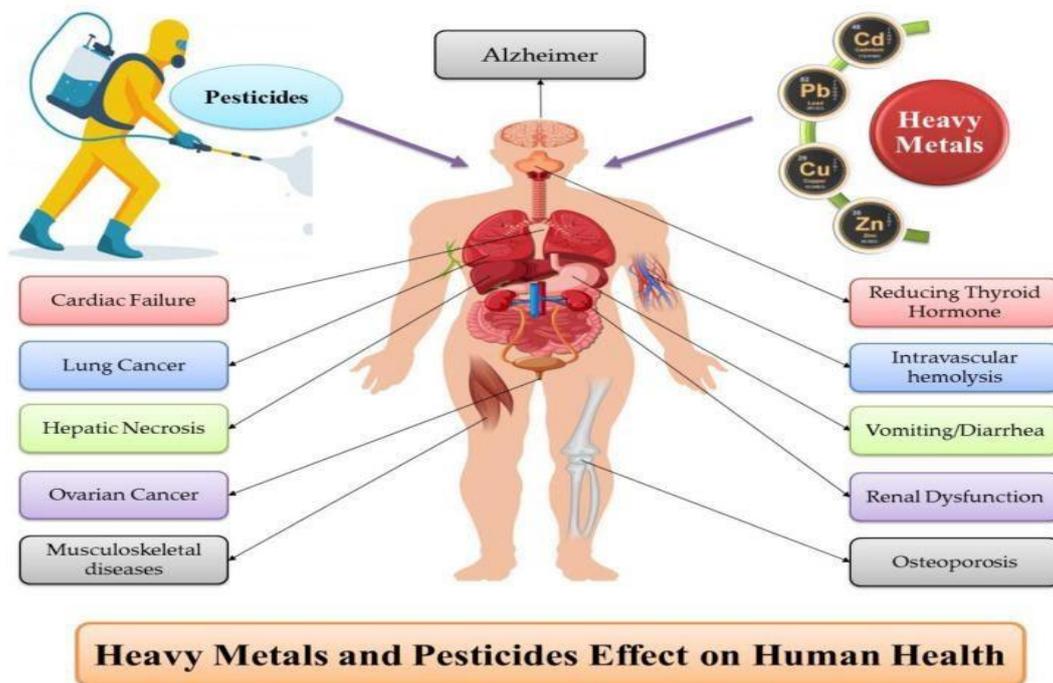


Figure 3 : Effets négatifs de la toxicité des métaux lourds et des pesticides sur la santé humaine.

9.3. Impacts sur l'écosystème de l'eau et de l'air

Les résidus des pesticides dans l'eau présentent une importance majeure car ils constituent une grave menace pour les communautés biologiques, y compris les humains. Il existe des pesticides qui peuvent pénétrer dans l'eau de différentes manières : déversement accidentel, les effluents industriels, le ruissellement de surface, le lavage du matériel de pulvérisation, la dérive dans les étangs, les lacs, les cours d'eau et les rivières, les pulvérisations aériennes pour lutter contre les parasites inhibiteurs de l'eau (Singh et Mandal, 2013). Les pesticides passent généralement des champs aux divers réservoirs d'eau par ruissellement ou dans le drainage induit par la pluie ou l'irrigation (Larson et col., 2010). De même, la présence de pesticides dans l'air peut être causée par un certain nombre de facteurs dont la dérive de pulvérisation, la volatilisation à partir des surfaces traitées, et l'application aérienne des pesticides. L'ampleur de la dérive dépend de la taille des gouttelettes et de la vitesse du vent, le taux de volatilisation dépend du temps écoulé après le traitement du pesticide, de la surface sur laquelle le pesticide se dépose et de la vitesse de l'air, de la température ambiante, de l'humidité, de la vitesse du vent et de la pression de vapeur des pesticides ainsi des

ingrédients. La volatilité ou la semi volatilité des composés de ces derniers qui constituent de même un risque important de pollution atmosphérique des grandes villes.

9.4. Effet de la toxicité des pesticides sur les plantes

La pulvérisation d'herbicides autour des parties végétatives des plantes affecte négativement la floraison et la production de graines des plantes (Boutin et col., 2014). De tels changements provoquent une décoloration des pigments et affectent les enzymes antioxydantes impliquées dans le système de défense, la peroxydation des lipides et les niveaux d'hormones endogènes des plantes non ciblées (Kaya et col., 2014). L'usage excessif de fongicides exerce des influences risquées sur les plantes à différents stades de croissance qui ne peuvent être éliminées directement (Chen et col., 2011) (Jeziarska-Tys et col., 2013). La transpiration des plantes facilite l'absorption des pesticides, qui sont solubles dans le sol, dans toutes les parties de la plante (Sharma et col., 2019). La translocation des pesticides se fait par le système racinaire, puis par le système vasculaire. La présence de leurs métabolites dans le système vasculaire de la plante est déterminée par des facteurs tels que leurs réactions avec le sol et la plante, aussi les doses de pesticides appliquées, les propriétés biochimiques et physicochimiques des pesticides, et le mécanisme d'entrée de ces derniers (Lushchak et col., 2018). Les effets nuisibles des pesticides sur les plantes peuvent être détectés sous forme de chlorose, de brûlures, de torsion des feuilles, de rabougrissement et de nécrose.

9.5. Effet des pesticides sur la microflore du sol

Il a été reconnu que diverses substances y compris les pesticides polluent le sol c'est l'une des principales menaces pour cette couche, les pesticides qui sont présents dans le sol peuvent provenir d'activités agricoles ou des activités d'entretien des espaces verts (jardins) ou de désherbage des réseaux routiers et ferrés. Le taux de pénétration des pesticides dans le sol dépend de l'humidité du sol, matière organique, pH et pesticides. De plus, l'utilisation indiscriminée et répétée des pesticides aggrave cette accumulation dans le sol, les propriétés et la microflore de cette couche sont affectées par les pesticides qui peuvent subir une variété de dégradation, de transport et d'adsorption/désorption processus (Hussain et col., 2009). Les pesticides dégradés interagissent avec le sol et ses microorganismes indigènes, ses réactions biochimiques aussi l'activité enzymatique. Toute altération de la diversité microbienne et de la biomasse du sol conduit finalement à une perturbation de l'écosystème de cette dernière et à une perte de fertilité. L'application des pesticides peut également inhiber ou

tuer certains groupe de micro-organismes et surpasser d'autres groupes en les libérant de la compétition (Hussain et col., 2009). Ils peuvent également avoir un effet négatif sur les réactions biochimiques vitales des sols, notamment la fixation de l'azote, la nitrification et l'ammonification, en activant/désactivant les enzymes (MunozLeoz et col., 2011). On a également signalé que les pesticides influent sur minéralisation de la matière organique du sol, qui est une propriété clé de ce dernier qui détermine la qualité et la productivité du sol.

9.6. Effets sur les aliments

L'utilisation excessive ou inexpérimentée de pesticides laisse des résidus de la substance active ou de ces métabolites dans les fruits et légumes frais ou transformés. L'utilisation des pesticides a réduit les attaques de ravageurs et augmentée les rendements des cultures, dans le même temps, l'utilisation croissante de pesticides chimiques a pollué l'environnement et a également causé de nombreux impacts à long terme sur la société. La concentration de divers pesticides est bien inférieure à la tolérance spécifiée, mais la consommation continue de ces aliments, même avec un niveau de contamination modéré, peut s'accumuler dans l'organisme à l'avenir et être mortelle pour l'homme à long terme (Bhanti, 2007).

En Algérie dans l'année 2008, les données sanitaires des analyses réalisées par le Centre Algérien du contrôle de la qualité et l'emballage (CACQE) ont touché 7.675 échantillons alimentaires, 2.419 échantillons sont déclarés non conformes, soit 32 % du total. Plus encore, Chelabi en 2009, ingénieur agronome, spécialiste en cultures maraichères, indique que la moitié des fruits et légumes dont notamment les poivrons, piments, tomates, poireaux, laitues et épinards, vendus sur les étals, contiendraient ces substances chimiques très dangereuses (Amine, 2009).

9.7. Effets sur l'environnement

Les résidus de pesticides sont présents sous forme de mélanges dans l'environnement, ils peuvent subir des effets synergiques ou antagonistes additifs qui peuvent altérer l'équilibre des écosystèmes (Yasser El-Nahhal, 2015). L'infiltration des pesticides, peut contaminer les cours d'eau et toute source d'eau douce ou potable atteinte, et aussi contaminer les personnes habitant dans les zones contaminées (CRAAQ, 2016). La répartition des pesticides dans les zones voisines non traitées peut avoir des effets néfastes sur la végétation non ciblée surtout quand on parle des herbicides, qui peuvent inhiber la croissance et le développement

desherbés non ciblés (CRAAQ, 2016). Les mollusques, les algues, les insectes, les petits crustacés, les plantes aquatiques...etc. ainsi que tout organisme vivant dans une eau douce au voisinage des champs traités peut aussi être endommagé, alors qu'ils n'étaient pas ciblés (Giroux, 2004).

10. Le marché des pesticides

- **Le marché mondial**

Représente environ 40 milliards de dollars et à peu stable depuis les années 2000. À l'échelle mondiale, les principaux pays consommateurs de pesticides sont la Chine, suivie des États-Unis, de l'Argentine, de la Thaïlande, du Brésil, de l'Italie, de la France, du Canada, du Japon et de l'Inde. De plus, il a également estimé la moyenne totale de l'utilisation annuelle de pesticides (kg / ha) dans le monde entre 2010 et 2014, (**voire figure 4**). Le Japon était le plus élevé avec (18,94), tandis que la Chine (10,45), suivie du Mexique (7,87), du Brésil (6,166), de l'Allemagne (5,123), de la France (4,859), du Royaume-Uni (4,034), des États-Unis (3,886), et enfin, Inde avec la plus petite valeur (0,26) (Zhang ,2018).

Les pesticides sont nécessaires à la production végétale, en particulier les espèces cultivées économiquement importantes. Selon les études prédictives, les pesticides protègent environ un tiers du total des produits agricoles dans le monde. Récemment, environ 2 millions de tonnes de pesticides sont utilisées dans le monde dont 47,5% pour les herbicides, 29,5% pour les insecticides, 17,5% pour les fongicides et 5,5% pour les autres pesticides (De et col., 2014 , Sharma et col., 2019).(**voire figure 5**).

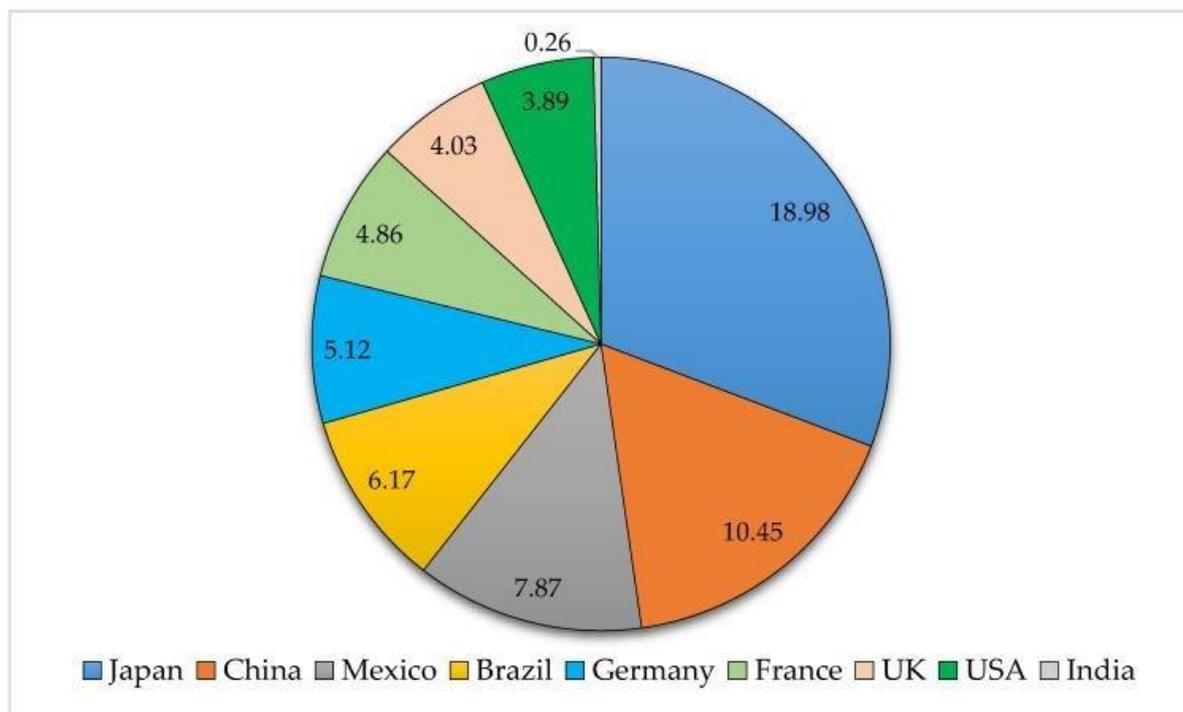


Figure 4 : moyenne totale de pesticides par an (kg / ha) entre 2010 et 2014 (Zhang W, 2018)

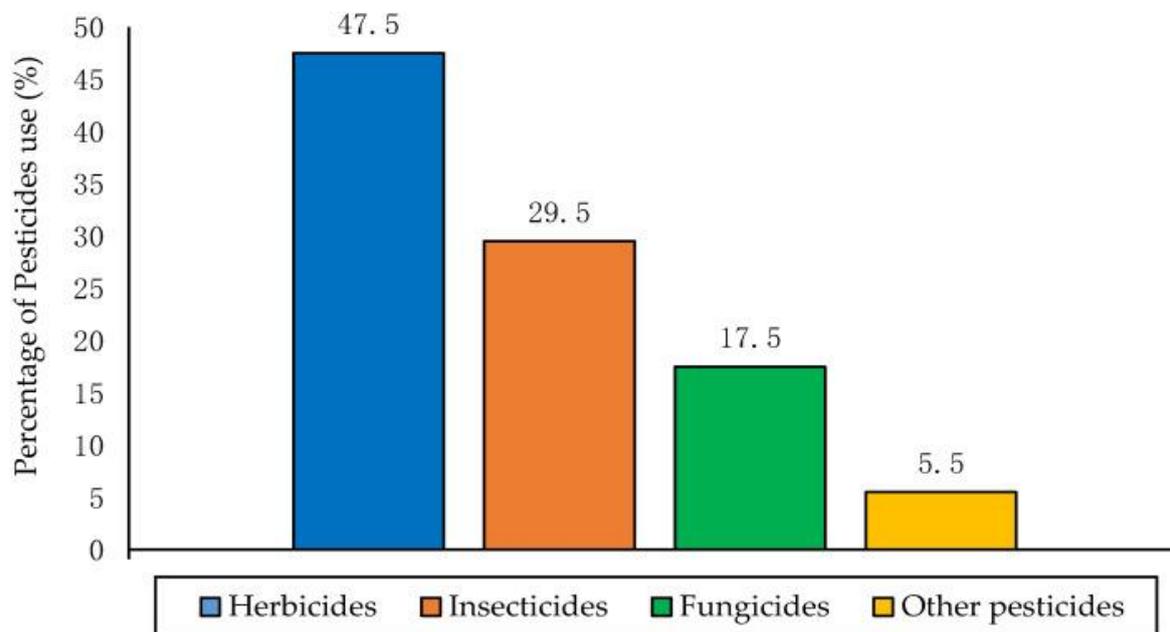


Figure 5 : Pourcentages d'utilisation mondiale de pesticides (De et col., 2014 , Sharma et col., 2019)

- **Le marché en Algérie**

En Algérie, la production de pesticides est assurée par des entités indépendantes de gestion des pesticides. Cependant, dans les conditions actuelles d'économie de marché, plusieurs entreprises se spécialisent dans l'importation de pesticides et de divers produits connexes par conséquent, l'Algérie a approuvé une centaine de produits phytosanitaires, dont une quarantaine de variétés sont largement utilisées par les agriculteurs. La loi n ° 87-17 du 1^{er} août 1987 relative à la protection phytosanitaire a initialement établi un mécanisme d'utilisation efficace des pesticides. (Bouziani, 2007).

L'agriculture algérienne, considérée dans son ensemble n'est pas une grande utilisatrice de pesticides, comparativement, à celles d'autres pays (Etats-Unis, France et Japon,..). En effet, selon les données de l'Union des Industries de la Protection des Plantes, les effets néfastes des pesticides et le comportement dans l'environnement (UIPP, 2009) et du marché algérien, des pesticides représentent 6,09 % du marché africain qui à son tour représente 4,14% du marché mondial. Cependant, certains secteurs à l'exemple des cultures maraîchères sous serres sont fortement utilisateurs de pesticides (FOASTAT ,2014).

11. Législation

Les pesticides sont des produits chimiques toxiques et dangereux. Une conséquence importante des effets nocifs de ces derniers sur l'environnement est la formulation d'un certain nombre de réglementations visant à réduire ces produits toxiques. Ils concernent le transport, le stockage et l'utilisation des produits (Clavet etcol., 2005). 3 millions de personnes sont intoxiqués aux pesticides chaque année. Selon l'OMS entre 20.000 et 200.000 décès sont dus aux pesticides chaque année, surtout dans les pays en voie de développement où environ entiers des pesticides utilisés ne sont pas aux normes de qualité internationales.

La législation doit pleinement tenir compte des besoins locaux, des conditions sociales et économiques, des niveaux d'alphabétisation des conditions climatiques et de la disponibilité de l'équipement d'application des pesticides et de celui de la protection individuelle appropriés. En Algérie, la promulgation de la loi n ° 87-17 du 8 janvier 1889, relative à la protection phytosanitaire, a permis de formuler des mesures pour la fabrication, l'étiquetage, le stockage, la distribution, la vente et l'utilisation des produits phytosanitaires pour l'agriculture. Le décret exécutif suivant a approuvé les produits phytosanitaires en Algérie:

- Décret administratif n ° 10-69 du 31 janvier 2010: établissant les mesures applicables lors de l'importation et de l'exportation de ces produits (Journal officiel, 2010).
- Décret exécutif n ° 14-366 du 15 décembre 2014: fixant les conditions et procédures applicables aux contaminants admissibles dans les aliments (Journal officiel, 2014).
- Décret présidentiel n ° 06-206 du 7 juin 2006: Approbation de la «Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants», adoptée à Stockholm le 22 mai 2001 (Journal officiel, 2006).

12. Le problème de persistance des pesticides

Certains pesticides ont la particularité d'être très persistants dans l'environnement. Ils peuvent représenter des dangers à long terme car ils se bio amplifient dans la chaîne alimentaire et la plupart des POP sont des pesticides organochlorés à savoir l'aldrine, l'endrine, le clordane, le DDT, heptachlore, mirex, toxaphène et hexachlorobenzène. Ils ont été interdits pour des usages agricoles ou domestiques en Europe, en Amérique du Nord et dans de nombreux pays d'Amérique du Sud, conformément à la convention de Stockholm (ratifiée en 2004). Cependant, certains pesticides organochlorés sont encore utilisés par exemple, le DDT est utilisé pour lutter contre la malaria dans certains pays en développement. Les autres POP et STP comprennent les produits chimiques industriels (PCB, HCB) et les sous-produits involontaires (di benzène, dioxyde de carbone), ainsi que d'autres produits chimiques. Ces produits chimiques persistants sont contrôlés par la Convention de Stockholm. (Kutz et col, 1991).

Chapitre II : Les champignons du sol et leurs rôles dans la biodégradation des pesticides

1. Le sol

1. 1-Définition

Le sol est composé de fragments de roche, de particules de sable, d'argile, de fragments d'animaux et de plantes morts. Entre ces éléments, il y a plus ou moins de circulation d'air et d'eau et un grand nombre d'espaces de vie, il met beaucoup de temps à s'établir (des milliers d'années).

Le sol est une ressource extrêmement difficile à régénérer, sa dégradation peut être très rapide tandis que sa formation et sa régénération prennent des milliers d'années. Le 20^{ème} siècle a été particulièrement destructeur pour le sol, diverses activités humaines de l'agriculture à l'industrie ont épuisé la matière organique, les minéraux, la transformation des sols et la pollution des sols.

1. 2-Principales fonctions du sol

- Support: Le sol a des propriétés mécaniques et physiques des milieux poreux.
- Filtre: Le sol est généralement le premier filtre à l'entrée de l'aquifère.
- Réacteur: Les substances qui traversent le sol réagissent souvent entre elles par des réactions chimiques ou biologiques, réagissant avec les composants du sol.

1. 3- la pollution du sol

Le sol est l'écosystème le plus précieux au monde (Pepper et col., 2009). Leur rôle est dans la production et la qualité des aliments, la régulation du climat, la fourniture de matières premières, de services tels que les fibres et les antibiotiques naturels qui ont été largement reconnus.

Malgré les énormes progrès scientifiques réalisés jusqu'à présent, la protection et la surveillance des conditions des sols à l'échelle nationale et mondiale sont encore confrontées à des défis complexes qui entravent la prise de décisions et l'élaboration de politiques efficaces sur le terrain. (FAO et ITPS, 2015) a souligné que la pollution des sols est l'une des principales menaces qui pèsent sur les services des sols et des écosystèmes dans le monde, la pollution du sol pose un risque grave pour la santé humaine par contact direct par exposition cutanée ou inhalation de particules polluées provenant du sol ou indirectement, par la

consommation de plantes ou d'animaux qui ont accumulé de grandes quantités de polluants du sol.

Les activités humaines des derniers millénaires ont laissé un legs de sols pollués un peu partout dans le monde (Swartjes, 2011). Malgré les efforts d'identification menés dans de nombreuses régions du monde pour estimer l'ampleur de la pollution des sols, l'absence d'une évaluation globale constitue un obstacle à la mobilisation des ressources économiques pour minimiser la pollution des sols et pour inciter l'engagement public et privé à lutter contre la pollution des sols.

Des preuves scientifiques plus solides sont nécessaires pour appuyer les mesures de prévention, de contrôle et d'assainissement de la pollution des sols, au cours de la troisième session de l'Assemblée des Nations Unies pour l'Environnement (UNEA3), qui s'est tenue en décembre 2017, les pays ont adopté une résolution appelant à l'accélération des actions et de la collaboration pour traiter et gérer la pollution des sols. La principale exigence concernant la résolution est de prendre les mesures nécessaires aux niveaux national et régional afin de bien comprendre l'étendue de la pollution des sols dans les pays et de renforcer les politiques de prévention, de réduction et de gestion de la pollution des sols. L'assainissement des sols pollués est essentiel, le monde de la recherche continue de mettre au point de nouvelles méthodes d'assainissement qui s'appuient sur la science, des méthodes d'assainissement physique de plus en plus coûteuses comme l'inactivation chimique ou la séquestration dans les décharges, sont remplacées par des méthodes biologiques fondées sur la recherche scientifique telle que la dégradation microbienne ou la phytoremédiation (Rodríguez-Eugenio, McLaughlin et Pennock, 2018).

Le maintien de la santé des sols, la prévention et la réduction de la pollution des sols sont possibles grâce à la promotion de pratiques de GDS, des procédés industriels respectueux de l'environnement, la réduction de la production de déchets, le recyclage et la réutilisation des marchandises et le stockage durable des déchets.

1. 4-Devenir des pesticides dans l'environnement

Dans la volonté de protéger les cultures contre des parasites ou le développement d'adventices indésirables, des pesticides ont été appliqués sur les parcelles agricoles, leurs entrées dans l'environnement se font généralement lors de l'application en plein champ. Les modalités de leur utilisation lors de l'application vont conditionner la manière, dont la matière active va se

dissiper dans l'environnement. En effet, si le pesticide est apporté par incorporation dans le sol, pulvérisation ou sous forme d'enrobage de semence, sa propagation sera différente.

Par ailleurs son comportement est également influencé par la formulation utilisée (Dubey et col., 2009, Shirley et col., 2001, Chevillard et col., 2012, Katagi, 2008, Blanco et col., 2009) lors de l'application d'un pesticide, des pertes peuvent se produire au cours d'une pulvérisation, une partie du traitement est détournée de sa cible par le vent ou l'évaporation et constitue les pertes appelées « dérives » (Gil et Sinfort, 2005, Bahrouni, 2010).

Une fois appliqué, le pesticide va être soumis à un ensemble de mécanismes qui vont conditionner sa dissipation dans les différents compartiments de l'environnement de la parcelle jusqu'au cours d'eau. Les phénomènes de rétention et transformation vont fortement affecter le devenir des pesticides dans les sols.

1. 4.1- La rétention des pesticides et de leurs métabolites dans le sol

La sorption des pesticides dans les sols est le principal processus permettant de constituer un stock, elle est complexe et peut être appréhendée de façon très différente dans les modèles. Le terme rétention recouvre l'ensemble des phénomènes qui contribuent au passage des molécules de la phase liquide à la phase solide (Barriuso et col., 2000).

Les mécanismes impliqués dans les processus de rétention sont d'origines multiples, physico-chimiques et biologiques. La rétention est majoritairement caractérisée par la sorption (Boivin., 2003).

L'évolution temporelle des processus de sorption « adsorption/désorption » est un processus dynamique qui évolue dans le temps, le temps nécessaire pour atteindre un équilibre entre la phase liquide et solide peut varier de l'heure à la journée (Von Oepen et col., 1991, Pignatello et Xing, 1996, Mamy et Barriuso, 2007). (Pignatello et Xing, 1996).

Voire au-delà distinguent deux phases dans l'évolution de la cinétique de sorption : une première dite rapide et une deuxième plus lente. La phase rapide correspond à l'adsorption des matières à la surface des agrégats de sol facilement accessibles, la seconde est caractérisée comme une migration des solutés à l'intérieur de l'agrégat par diffusion dans les nano pores. La diffusion lente est attribuée à la tortuosité des nano pores distinguent quant à eux (Wauchope et col.,2002)., trois échelles temporelles dont les deux premières sont proches des

phases définies par la troisième phase concerne des processus plus lents associés à la formation de résidus liés (Pignatello et Xing, 1996).

Ces processus sont généralement considérés comme irréversibles, le pas de temps de ce phénomène peut aller de plusieurs mois à plusieurs années. Les processus de sorption dépendant du temps sont assimilés à des mécanismes en non-équilibre (Xing et Pignatello, 1996, Guo et col., 2000).

1. **4. 2-** Les facteurs influençant l'adsorption

➤ **Les propriétés de la molécule**

La nature et l'intensité de l'adsorption sont la fonction des propriétés intrinsèques de la matière active, des caractéristiques physicochimiques distinctes entre deux molécules peuvent entraîner un comportement significativement différent dans un même milieu (Bailey et White, 1964, Boivin, 2003).

Les propriétés impliquées dans la rétention des molécules dans le sol sont pour l'essentiel associées à la structure chimique, la polarité, la solubilité, le pka et la taille de la molécule (Bailey et White, 1970). La formulation des matières actives peut également jouer un rôle important sur leur mobilité (Chaplain et col., 2001, Bromilow et col., 2003) les surfactants en particulier semblent favoriser la désorption de certaines molécules (Iglesias-Jimenez et col., 1996, Rodriguez-Cruz et col., 2006, Sanchez-Camazano et col., 2003).

La complexité des propriétés de chaque molécule rend difficile leur intégration dans la modélisation, si la solubilité ou le poids moléculaire sont des données facilement obtenues, certains paramètres seront difficiles à renseigner pour toutes les molécules.

➤ **La nature du sol**

Le sol constitue un compartiment clé dans le devenir des pesticides. La composition et la structure du sol vont conditionner le transfert hydrique celui des pesticides, certains paramètres peuvent également influencer directement l'adsorption des pesticides sur les éléments solides : matière organique, argiles, métaux, pH...etc. L'influence de la matière organique sur l'adsorption des pesticides est rapportée par de nombreux auteurs (Wershaw et col., 1969, Payá-Pérez et col., 1992, Benoit et col., 1996, Benoit et col., 2008).

Le potentiel d'adsorption d'un sol est souvent corrélé au contenu en matière organique (Payá-Pérez et col., 1992, Torrents et col., 1997) l'intensité et la nature de l'interaction des

pesticides avec la fraction organique varie selon la composition de la matière organique en effet, (Dousset et col., 1994) ont mis en évidence une affinité de certaines matières actives avec la fraction humifiée de la matière organique.

Par ailleurs, en 2004 Madrigal Monarrez, montre que les matières organiques fraîches présentes dans la litière de surface participent également de manière significative à l'adsorption et peuvent avoir une capacité de rétention supérieure à la fraction humifiée, aussi il montre que la rétention est par conséquent plus importante en surface qu'en profondeur. La matière organique dissoute peut également contribuer à l'adsorption, son influence varie selon les matières actives, elle semble peu influente sur des pesticides comme l'atrazine ou l'isoproturon (Spark et Swift, 2002).

Le pH de la solution peut influencer de manière directe ou indirecte l'adsorption des pesticides, une variation de ce dernier modifie les propriétés des surfaces adsorbants de la fraction minérale et du pool de matière organique (Peng et col., 2009).

➤ **Les facteurs environnementaux**

Au cours des saisons, le sol va subir des variations d'humidité et de température. la teneur en eau sur l'adsorption des molécules est non négligeable et l'impact de la variation de l'humidité sur l'adsorption des molécules soulève encore certaines questions. En effet, (Yaron, 1989) avancent que la diminution de la teneur en eau favoriserait l'adsorption des pesticides sur les argiles alors que (Margoum et col., 2006) mettent en évidence une diminution de l'adsorption lorsque le rapport solide/ liquide diminue. Par ailleurs, ce rapport constitue un élément fondamental lors de la mesure de l'adsorption (Boesten, 1990). L'alternance des cycles d'humectations dessiccations dans le sol semble jouer en faveur de l'augmentation de l'adsorption (García-Valcárcel et Tadeo, 1999). L'influence de la température sur l'adsorption est difficilement généralisable à l'ensemble des pesticides en effet, l'impact de la température varie selon la nature chimique de la matière active. indiquent que l'adsorption de la clomazone est peu influencée par la température ce qui semble l'inverse pour le fipronil (Bobé et col., 1997).

➤ **Les facteurs liés aux pratiques agricoles**

Ils ont un effet sur la rétention des pesticides. La différence de gestion entre le labour et le non labour semble avoir une action non négligeable sur la rétention des pesticides, le semis direct semble favoriser la présence de matière organique et tend à augmenter la rétention des

matières actives (Alletto et col., 2012, Alletto et col., 2013). Il apparaît cependant que l'action est très contrastée selon les matières actives et le contexte pédoclimatique (Alletto et col., 2010). Par ailleurs, la mise en place de bandes enherbées ou de couvert végétal semble favoriser la rétention des pesticides (Madrigal et col., 2007, Pot et al., 2005, Lacas et col., 2005, Dousset et col., 2010), c'est une propriété caractérisée par une forte variabilité spatiale qui serait plutôt associée à la teneur en matière organique pour les horizons de surface et les teneurs en argile dans la zone non saturée (Coquet et col., 2004).

1. 4.3- Mesure du potentiel de l'adsorption d'un sol

Les processus d'adsorption et de désorption sont complexes et contrôlés par de nombreux facteurs associés aux propriétés intrinsèques des molécules ou aux conditions environnementales (Torrents et Jayasundera, 1997, Delle Site, 2001).

Les méthodes de mesure reposent sur la comparaison entre un état initial et un état final, l'adsorption est quantifiée par soustraction en fonction des concentrations retrouvées dans la phase liquide. Ces mesures permettent de définir le coefficient de partition à l'équilibre. Cependant, ces valeurs étant très variables pour un même pesticide en fonction du sol considéré, ils sont généralement pondérés à la fraction de carbone organique du sol, ce qui permet de limiter l'intervalle de valeurs. Cette approximation qui consiste à dire que toute la fraction adsorbée est faite sur le carbone organique n'est cependant pas exacte car d'autres constituants du sol peuvent intervenir dans les interactions de sorption (Coquet et col., 2004).

2. Les champignons du sol

2. 1-définition

Le règne fongique constitue un vaste groupe d'organismes diversifiés allant des organismes microscopiques aux macromycètes, ce sont des organismes eucaryotes hétérotrophes caractérisés par une paroi constituée de chitine. Ils ont un appareil végétatif très simple, le thalle, qui peut être filamenteux ou levuriforme, et se reproduisent par des spores issues de reproduction sexuées et/ou asexuées (Courtecuisse et col., 2007).

Les champignons occupent une place majeure parmi les microorganismes du sol, grâce à leur rôle et abondance. Ils interviennent notamment dans les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote. D'autre part, ils contrôlent la transformation de la matière organique et la

- Les symbiotes : ils se développent en association avec un organisme autotrophe comme une algue (lichen) ou une plante (mycorhize) s'apportant des avantages mutuels : la plante fournit du carbone issu de la photosynthèse, tandis que le champignon lui fournit des nutriments essentiels issus du sol.
- Les saprophytes : ils se développent aux dépens de la matière organique d'origine animale ou végétale en décomposition. On distingue les saprophytes ligninolytiques communément appelés « pourriture blanche » ou « White-rot fungi » en raison de leur capacité à dégrader la lignine, et les saprophytes non-ligninolytiques (ou filamenteux).

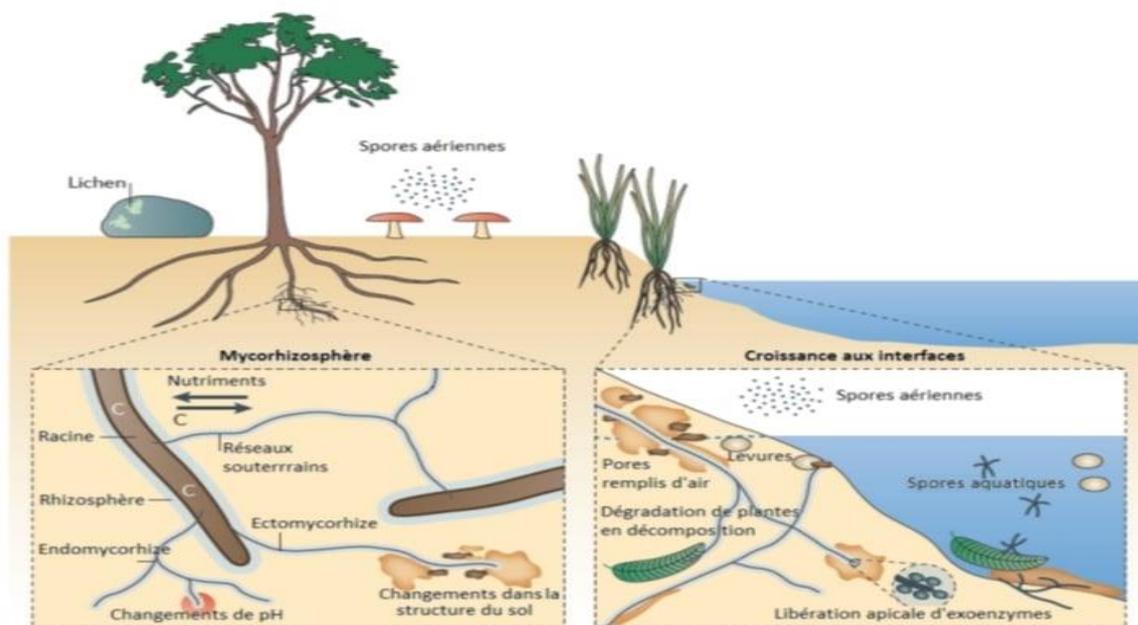


Figure 7 : Ecologie des champignons (Harms et col., 2011)

3. L'application des champignons en biodégradation

L'utilisation des champignons en matière de biotechnologie environnementale n'a pas à ce jour connu l'essor mérité, malgré leurs extraordinaires potentialités métaboliques, néanmoins leurs capacités à dégrader un grand nombre de polluants de structures variées ont été démontrées en conditions de laboratoire.

Ces capacités sont liées à leurs équipements enzymatiques riches et variés, notamment les enzymes extracellulaires ligninolytiques. Ils sont capables de métaboliser une large gamme de polluants organiques. De plus, le mycélium fongique constitue un piège dans lequel les

xénobiotiques s'accumulent et devenir les substrats potentiels des systèmes enzymatiques intracellulaires (Pointing et col.,2001).

La mycoremédiation des pesticides concerne principalement des espèces saprophytiques ligninolytiques et filamenteuses appartenant aux phyla des Basidiomycètes et Ascomycètes. Ainsi, il ya des cas de biodégradation des pesticides par des champignons ectomycorhiziens et des levures ont été également rapportés.

3. 1- La biodégradation

Le phénomène de biotransformation est très courant parfois très essentiel pour la survie des microorganismes, et responsable de la biodégradation des pesticides appliqués. Il existe un équilibre naturel entre l'évolutionmicrobienne et la biorestauration (Hodgson et col., 1993).

La biodégradation implique des réactions biologiques qui modifient la structure chimique des composés réduisant ainsi la toxicité. La biodégradation complète implique l'oxydation des composés d'origine pour produire du dioxyde de carbone et de l'eau, qui fournissent de l'énergie aux micro-organismes (Javaid et col., 2016).

3. 2-La dégradation des pesticides

La dégradation des pesticides est le processus clé du devenir des pesticides dans le sol qui jouent un rôle important dans la dissipation et l'élimination des pesticides du milieu naturel. En raison de nombreuses transformations chimiques, ces derniers ils modifient la composition et la structure des molécules introduites dans le sol, ces modifications peuvent se limiter à l'élimination de groupes fonctionnels, conduisant à divers produits de transformation, voireune dégradation complète (minéralisation) avec production de molécules minérales. Toute une série de molécules intermédiaires entre la molécule initiale et les molécules finales peuvent ainsi être produites (Calvet et col., 2005).

Les transformations chimiques responsables de la dégradation sont de nature abiotique et biotique. Généralement, la quantité de biodégradation dans le sol est supérieure à celle de la transformation abiotique, mais cette transformation est la plus importante pour certains polluants qui sont particulièrement résistants à la biodégradation ou l'activité des communautés microbiennes du sol. L'efficacité du processus de dégradation dépend des conditions atmosphériques optimales, y compris la température, le pH du sol et la teneur en humidité.

- **La dégradation abiotique :**

Ce type de dégradation d'origine chimique et /ou photochimique est généralement considéré comme secondaire. Elle est principalement liée à la réaction d'hydrolyse qui peut être causée par le rayonnement solaire (photo-échelle de gris), mais en termes de biodégradation, le processus peut encore être ignoré dans le sol à l'exclusion. Il a été démontré que le processus de réaction est généralement catalysé à la surface des composants du sol: argile, matière organique et oxydes métalliques.

- **La dégradation biologique :**

Malgré l'existence de processus non biologiques, la dégradation reste dominée par l'activité biologique qui joue un rôle important dans le devenir des principes actifs des pesticides. Parmi les nombreux micro-organismes impliqués dans la dégradation des pesticides, les bactéries et les champignons sont les plus importants représentant.

En fonction de leurs substances enzymatiques, les microorganismes peuvent dégrader partiellement ou complètement les pesticides présents dans le sol. Les différents mécanismes de transformation, il existe une différence entre la dégradation métabolique et la dégradation Co-métabolique.

La dégradation métabolique implique des organismes qui possèdent les matériaux enzymatiques nécessaires pour utiliser des ingrédients actifs comme sources de carbone et / ou d'azote, entraînant une dégradation complète des pesticides. Dans le cas d'une dégradation co-métabolique, les microorganismes utilisent un autre substrat dans le milieu de culture pour dégrader les molécules. Ce processus dégrade partiellement le pesticide et conduit à la formation de métabolites, quels que soient les processus impliqués dans la transformation des pesticides, ils seront affectés par divers facteurs liés aux caractéristiques moléculaires, aux populations microbiennes et aux conditions environnementales.

3. 3-Les facteurs influençant la dégradation

➤ La nature du sol

Le type et le contenu du sol vont influencer de manière notable la transformation des pesticides (Hussain et col., 2013). La présence de matière organique permet de servir de support aux microorganismes qui vont dégrader les pesticides (Kah et col., 2007, Rodríguez Cruz et col., 2008, Horemans et col., 2013).

En dépit de ce constat, les apports en amendements organiques semblent avoir une action contrastée sur la dissipation (Rodríguez Cruz et col., 2008, Sopena et Bending, 2013, Larsbo et col., 2013), la teneur en argile va diminuer la disponibilité des pesticides (Jacobsen et col., 2008). (Besse-Hoggan et col., 2009) montrent également que la biodégradation de l'atrazine varie selon le type d'argile présent dans le sol, le pH peut jouer sur la répartition de la biomasse microbienne et donc sur la dégradation (El Sebai et col., 2007). Il peut également modifier la spéciation de la molécule, ses propriétés d'adsorption en relation avec la dégradation (El Sebai et al., 2007).

➤ Les facteurs environnementaux

L'activité des microorganismes est également conditionnée par les facteurs tels que la température et l'humidité du sol. Selon (Alletto et col., 2006, Bouseba et col., 2009), la dégradation semble plus sensible au contenu en eau qu'à la température. Par ailleurs, (Dechesne et col., 2010) indiquent que la dégradation est corrélée de manière positive avec la teneur en eau du sol, la température conditionne l'activité enzymatique, ainsi (El Sebai et col., 2010) ont estimé que l'optimum de dégradation de l'isoproturon en milieu méditerranéen se situe entre 21,9 et 27,9 °C, l'effet de la température peut cependant prévaloir sur l'humidité du sol, selon la matière active considérée et des travaux du sol effectués sur la parcelle agricole (Alletto et col., 2008).

➤ Les facteurs biologiques

La biodégradation est également conditionnée par la diversité microbienne (Soulas, 1993). En effet, la dégradation d'une molécule peut résulter de l'action successive de différentes communautés de microorganismes (Lerch et col., 2009b).

Synthèse bibliographique Chapitre II : Les champignons du sol et leurs rôles dans la biodégradation des pesticides

Par ailleurs, la répartition très hétérogène des populations microbiennes associées à la diversité des potentiels de dégradation entraîne la présence de « hot spots » qui constituent des zones de transformation préférentielles (Grundmann et col., 2007).

La présence de pesticides dans le sol entraîne des changements dans la structure des populations et une dominance des microorganismes spécialisés dans la dégradation de la matière active (Shi et Bending, 2007, Jason Krutz et col., 2010, Krutz et col., 2008). L'adaptation des populations à la présence d'un pesticide peut se traduire par une dégradation plus rapide liée à l'historique d'application (Barriuso et Houot, 1996), d'autres processus peuvent également intervenir comme la dose appliquée (Crouzet et col., 2010) ou la compétition entre population de microorganismes (Qiu et col., 2009).

La dégradation est caractérisée par une très forte variabilité spatiale à la surface du sol et plus en profondeur (Sørensen et col., 2003, Bending et Rodriguez-Cruz, 2007, Rodríguez Cruz et col., 2008).

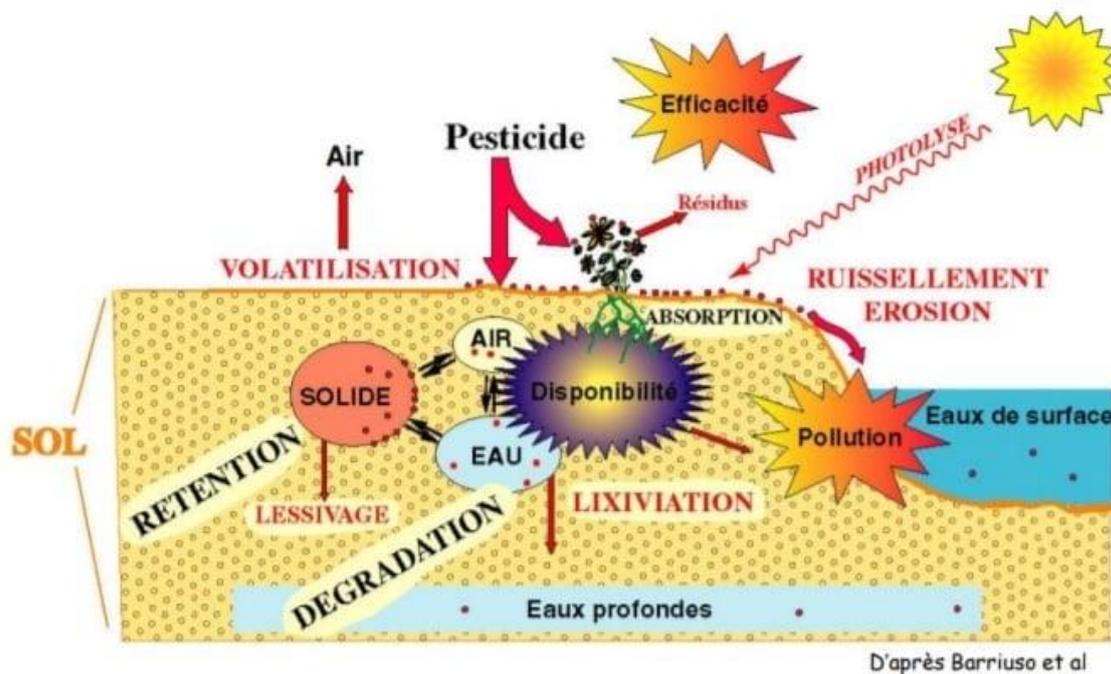


Figure : 8 Comportement des pesticides dans l'environnement (Universite_Limoges , 2018)

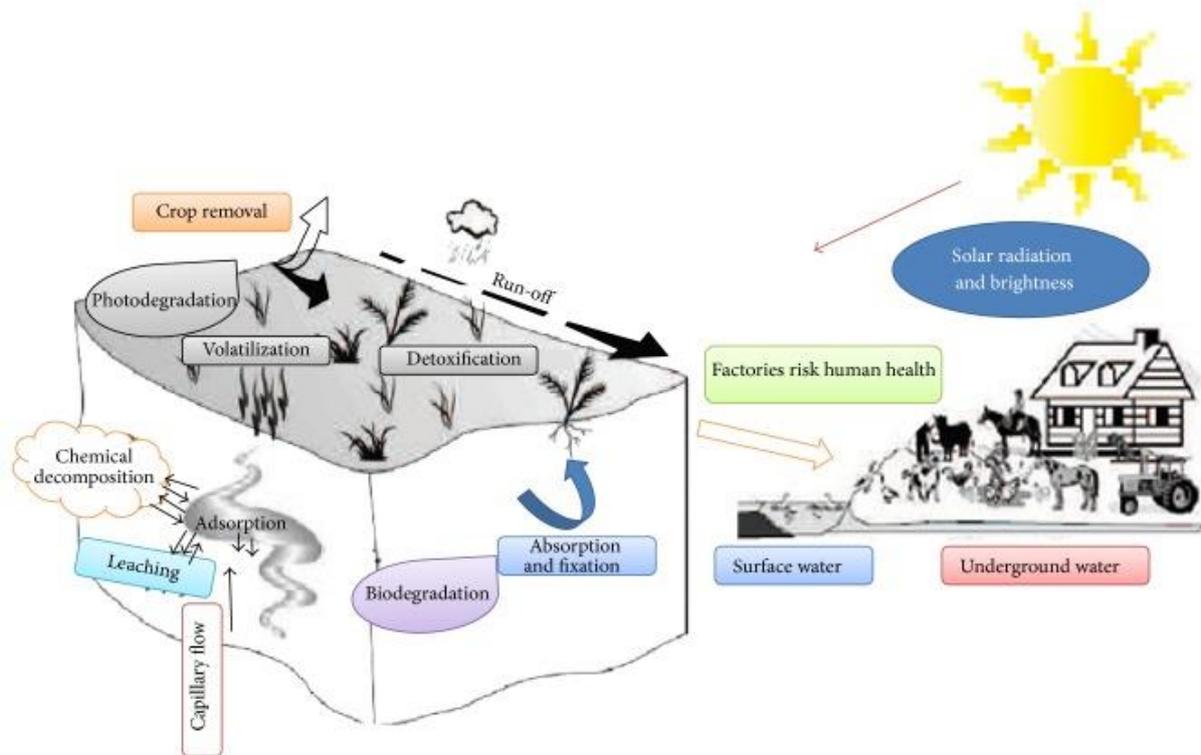


Figure 9 : Contaminant des pesticides et biodégradation dans l'environnement (Ashiq M et col.,2012, etBashir MW et col., 2015).

3. 4-Les cinétiques de biodégradation

Le taux de dégradation change généralement avec le temps, la dégradation est généralement très lente après l'application du pesticide, puis à mesure que le nombre de micro-organismes capables de dégrader le pesticide augmente, le taux de dégradation augmente.

Avant que la dégradation ne soit observée, si une substance est utilisée régulièrement, le temps sera raccourci. En fait dans ce cas, la population microbienne s'est adaptée (Amalric et col.,2003).

La biodégradation des phytosanitaires suit généralement une cinétique d'ordre 1 qui peut exprimer de la manière suivante :

$$C_t = C_0 e^{-Kt} \quad (1)$$

Avec C_t = concentration du pesticides a un moment

C_0 = Concentration des pesticides au temps

T = temps en jours

Le temps de demi-vie $T_{1/2}$ encore appelé DT50 (Disppearance time for 50% loss) correspond a la durée nécessaire pour que 50% de la quantité appliquée soit dégradé, ce paramètre est relié a la constante de dégradation par relation :

$$T_{1/2} = \ln 2 / K \quad (2)$$

4. Rôle des communautés microbiennes dans la biodégradation

Les communautés microbiennes isolées de l'environnement contaminés sont susceptibles de prospérer et de résister à des doses plus ou moins tolérables de pollution organique. Leur croissance peut entraîner une détérioration significative de cette pollution (Pesce, 2010).

Certaines études ont prouvé le rôle de certains microorganismes dans la dégradation des pesticides (Fuagier, 2010), mais on sait encore peu sur le rôle des microorganismes dans les fonctions biologiques du sol.

Les changements dans les conditions du sol peuvent stimuler la croissance de certains microorganismes, mais les bactéries les plus abondantes et les plus actives seront affectées par ces changements, certaines bactéries peuvent ne pas être capables de résister à certains polluants, tandis que d'autres peuvent surexprimer des gènes liés à la résistance ont de fortes concentrations de polluants et peuvent remplir des fonctions écologiques majeures, y compris la restauration naturelle des sols.

5. Les champignons de dégradation des pesticides

Les champignons provenant de sources naturelles peuvent être éliminés comme un outil efficace pour la biodégradation des produits chimiques organiques toxiques. Une souche fongique *Fusarium verticillioides* est capable d'utiliser le lindane comme source de carbone et d'énergie dans des conditions aérobies, cette souche peut être isolée des feuilles d'*Agave*

tequilana par des techniques d'enrichissement en présence d'une atmosphère limitée d'azote et de phosphore, l'efficacité en termes de dégradation plus élevée est obtenue, les facteurs environnementaux et la concentration de lindane et d'extrait de levure ont amélioré l'efficacité du processus de biodégradation (Guillénet col., 2012).

Il existe un grand potentiel de souches fongiques, *Fusarium oxysporum*, *Lentinula edodes*, *Penicillium brevicompactum* et *Lecanicillium saksenae*, pour la biodégradation des pesticides comme la terbuthylazine, le difénoconazole et la pendiméthaline dans des cultures liquides en lots. Ces souches fongiques sont étudiées pour être précieuses en tant que micro-organismes actifs pour la dégradation des pesticides (Hai et col., 2012) .

La culture mixte non acclimatée de bactéries et de champignons de la pourriture blanche a des applications pour la biodégradation de l'aldicarbe, de l'atrazine et de l'alachlore à partir de la phase liquide, respectivement avec une période d'incubation de 14 jours, la culture mixte a atteint 47, 98 et 62% d'élimination. L'élimination de ces pesticides s'accompagne de phénomènes de l'absorption et de biodégradation (Nyakundi et col., 2011).

Le méthomyl et le diazinon sont biodégradables à l'aide d'isolats de champignons de pourriture provenant d'un sol contaminé. La température optimale pour une efficacité maximale est de 28 ° C. Le taux de dégradation est plus élevé en utilisant un mélange de souches fongiques (Sagar et col., 2011). Différentes souches fongiques sont observées pour leur capacité de dégradation du pesticide DDD.

Les souches fongiques aérobies dégradant l'endosulfan sont efficaces pour les sols contaminés par des pesticides organochlorés. Ces souches (*Mortierella* sp. Les souches W8 et Cm1-45) ont entraîné une dégradation de 50 à 70% en 28 jours à 25 ° C. La formation de diol de l'endosulfan d'abord, puis la conversion de l'endosulfan lactone a lieu pendant la dégradation. Cela améliore la fertilité des terres agricoles (Kataoka et col., 2010).

Sur une base similaire, il est possible de dégrader les insecticides mixtes (DDT et chlorpyrifos) en utilisant des souches fongiques mixtes. Lorsqu'une faible concentration d'insecticides mélangés a été utilisée, l'efficacité de la dégradation est observée comme étant élevée. L'efficacité est observée dans 26,94% et 24,94% de dégradation du DDT et du chlorpyrifos, respectivement (Kulshrestha et col., 2010). Dans des conditions difficiles, la souche *Sphingomonas yanoikuyae* peut dégrader le carbamate et la pyréthrine avec une

efficacité élevée dans la méthode de culture d'enrichissement, analysée par chromatographie en phase gazeuse (Ouyang et col., 2008).

L'actinomycète résistant au sel est capable de dégrader le carbofuran. L'un des sept actinomycètes, *S. alanosinicus*, est le plus efficace, donne jusqu'à 95% de dégradation. Il utilise le carbofuran comme source de carbone et elle est applicable aux sols salins pour son efficacité (Chougale et col., 2007).

-Les plans d'eau et le sol affectés par l'endosulfan peuvent facilement être biorémediés par une souche fongique *Aspergillus niger*. Le pesticide chloré endosulfan est métabolisé par divers intermédiaires par ce champignon (Bhalerao, 2007). Plus de 30 micro-organismes sont capables de dégrader les pesticides, parmi lesquels le genre *Gliocladium* a une activité maximale pour dégrader sélectivement le carbofurane (Slaoui et col., 2007). Le champignon utilise le chlorpyrifos comme source de carbone et d'énergie provoque une dégradation rapide. Un autre champignon, les basidiomycètes, dégrade très efficacement le chlorpyrifos (Yu et col., 2006). Un champignon *C. elegans*, dégrade le DEET, un insecticide, en différents métabolites moins toxiques analysés par HPLC-MS (Seo et col., 2005).

Les champignons phytopathogènes dégradent facilement les herbicides. Ce champignon se développe facilement sur les herbicides organophosphonates et les dégrade (Lipok et col., 2003). *Trichoderma viride* et *T. harzianum* ont un fort potentiel de dégradation du pirimicarbe. La capacité de dégradation augmente lorsque du charbon actif est ajouté (Romeh, 2001).

Les champignons filamenteux présentent un potentiel intéressant de décontamination des sols contaminés par des polluants organiques. Dans la technologie d'assainissement des sols, Les champignons filamenteux comprennent les champignons incomplets, les ascomycètes et les basidiomycètes, y compris la pourriture molle, la pourriture brune ou la pourriture blanche. Parmi les 40 espèces de pourriture blanche qui sont des objets de recherche importants, deux sont les plus couramment utilisées *Phanerochaete chrysosporium* et *Trametes versicolor*, car ils produisent de grandes quantités d'enzymes de décomposition de la lignine.

Les champignons de la pourriture blanche ont une abondance enzymatique élevée car ils produisent un grand nombre de systèmes exocrine et intracellulaire. Le premier n'est pas très spécifique et possède un fort pouvoir oxydant, notamment en incluant la peroxydase (lignine et manganèse) du système de décomposition de la lignine, ces dernières du phénol

oxydasesont généralement impliquées dans la biotransformation d'organismes hétérogènes chez les eucaryotes. L'abondance de cette enzyme permet à ces champignons d'effectuer un grand nombre de réactions chimiques (oxydation, réduction, hydrolyse, liaison et oligomérisation) à des organismes hétérologues pollués par diverses structures chimiques, et ils ont des propriétés physiques et chimiques variables (polarité, lipophilie).

Ces enzymes agissent principalement sur les polluants dissous dans l'eau du sol, mais le système extracellulaire peut également dégrader les polluants adsorbés sur la partie solide du sol. Le mycélium fongique constitue également un piège où s'accumulent des contaminants (principalement des composés lipophiles). Cette caractéristique permet de convertir les polluants volatils présents dans la phase gazeuse du sol. Ils deviennent alors des substrats potentiels pour les enzymes intracellulaires.

Partie II

Méthodologie

1. Article 1 : « Dégradation de l'herbicide organochloré Diuron par les basidiomycètes de la forêt tropicale.

i. **Introduction**

Il est vrai que ça existe des millions de tonnes de composés synthétiques des écosystèmes mondiaux mais, notre point de focalisation c'est bien « les pesticides. »

Tout d'abord, les pesticides sont généralement connus par leurs toxicité et dangers, ainsi ils contaminent des sols cultivables, les souterrains, les eaux de surfaces ...

Il est indiqué dans l'article, que parmi tous les genres d'herbicides, uniquement ceux qui sont à base de Phénylurée, sont fréquemment utilisables pour contrôler des mauvaises herbes, spécifiquement dans les plantations de canne à sucre, de café, et d'agrumes.

Premièrement, le diuron (N-(3,4-dichlorophényl)-N,N-diméthylurée ; CAS 330 -54-1), est considérée comme l'un de ces herbicides, qui ont une forte toxicité. Les spécialistes du domaine, ont trouvé que la dissipation des herbicides, à base de phénylurée, est un processus totalement biologique. D'ailleurs, la bioremédiation est une discipline prometteuse pour la décontamination des sites impactés. Et certains, basidiomycètes, peuvent être des outils puissants vu qu'ils produisent des enzymes tels que des Laccases, des peroxydases, ces derniers ont un mécanisme catalytique polyvalent brisant les liaisons carbonées, élimant les groupes aryl-alkyles et les chaînes latérales. La minéralisation complète du diuron peut être obtenue par des souches bactériennes.

ii. **Méthodologie**

- Pour les souches fongiques, (Abrahão MC et col., 2008) ont utilisé 13 souches de basidiomycètes isolées en bois. Dans des fragments de forêts semi-décidues de l'Atlantique, dont les cultures fongiques ont été conservées dans l'eau distillée stérile.
- Inoculum : -les fragments cellulaires, ont été grattés de cultures fongiques dans des plaques de gélose.
-biomasse fongique a été broyée avec le tampon dans un mélangeur stérile.
- En ce qui concerne les conditions de culture, l'herbicide a été dilué dans du méthanol, homogénéisé par lyse cellulaire pendant 15 minutes, centrifugation à 10000 g pendant 10 mn à 10°C.
- Des aliquotes, ont été distribuées dans des flacons Erlenmeyer stériles de 125ml chaque flacon contenant 25 ml de milieu culture liquide stérile.

- Ainsi, le résidu a été remis en suspension avec 1ml de la phase mobile HPLC, filtré et analysé dans une membrane de 0,22 μm . Et les mycéliums restants ont été séchés à 70% pour déterminer la biomasse.
- Concernant, l'analyse HPLC et LC-MS, les vitesses de dégradations du diuron ont été estimées à l'aide d'une HPLC flexarperkin-elmer, aussi la détection sélective de masse de 40 à 300 m/z, ont été effectuées en mode d'ionisation positive.
- Pour les dosages enzymatiques, les activités enzymatiques dans l'extrait brut de cultures fongiques ont été déterminées par spectrophotométrie par des réactions réalisées à 40%.
- Il y a aussi d'autres procédures analytiques, et qui sont l'utilisation de D-glucose, les sucres réducteurs ont été déterminés par la méthode DNS.

2. **Article 2 : « Biodégradation de l'atrazine et production d'enzymes ligninoliques par les souches de basidiomycètes » :**

i. **Introduction :**

Cet article scientifique traite un sujet important, qui a une relation étroite avec notre thème de recherche, il parle de la biodégradation de l'atrazine, ce dernier est considéré comme un herbicide chloré, laissant de grandes quantités dans les sols et les eaux souterraines.

Premièrement, la biodégradation de l'atrazine par les champignons, va se faire en étudiant la toxicité et la dégradation de l'atrazine par 13 souches de basidiomycètes du forêt tropical.

D'ailleurs, l'atrazine, c'est le deuxième herbicide le plus utilisé dans le monde, son utilisation est surtout pour lutter contre les mauvaises herbes à feuilles larges dans les plantations de canne à sucre et de maïs.

En plus, ce genre d'herbicide a une persistance considérable, avec une demi-vie d'environ 41 à 231 Jours, et une solubilité et une mobilité élevée dans les sols.

Une voie catabolique complète pour la biodégradation de l'atrazine a été déjà décrite pour les bactéries. On trouve que des gènes plasmidiques atzA, atzB, atzC codent des enzymes hydrolytiques, qui sont responsables de la minéralisation de l'atrazine.

Certes, il y a des limites imposées par la biodégradation incomplète de l'atrazine, mais des études appliquent des enzymes ligninoliques purifiées dans des conditions

contrôlées, et adaptent ainsi des co-cultures impliquant des bactéries du sol et des deutéromycètes.

De plus, s'existent des connaissances récentes sur la biodégradation fongique des xénobiotiques et le rôle des enzymes ligninolytiques, basant essentiellement sur les résultats de quelques souches de basidiomycètes, tels que *Phanerochaete chrysosporium*, *Lentinus spp*, ...

Le choix de forêts tropicales humides d'Amérique du sud, n'est pas au hasard, c'est par la raison qu'elles sont des ponts chauds de la biodiversité, en se basant dans ce travail sur des souches fongiques isolées de fragments de forêt tropicale humide, pour leur capacité à croître en présence d'atrazine et à métaboliser .

ii. **Méthodologie :**

- **Santos et col., 2004 et Abrahão et col., 2008** ont utilisé des souches de basidiomycètes isolées à partir de bois en décomposition provenant de fragments de forêt semi-décidue de l'Atlantique à la station écologique de **Noroeste Paulista** exactement en Brésil .Et les champignons ont été conservés dans de l'eau distillée stérile dans la collection de culture du laboratoire de biochimie et de microbiologie appliquée de l'université de **Estadual Paulista -UNESP** .
- Puis, L'herbicide a été ajouté à un milieu liquide et chaud de gélose dextrose de pomme de terre, afin d'atteindre les concentrations moyennes et supérieures recommandées par le fabricant pour le produit lorsqu'il est prêt à être appliqué dans le sol.
- Pour standardiser la taille de l'inoculum des expériences de culture liquide, des fragments de mycélium ont été grattés de cultures en croissance en milieu PDA, transférés dans des Erlenmeyer de 250 ml.
- Des échantillons de la solution mère d'atrazine congelés de cultures ont été fondus, centrifugés à 10000 g pendant 10 min et filtrés dans un filtre à pores .Aussi, les extraits ont été combinés et séchés à l'air .Le résidu a été remis en suspension dans 1 ml de phase mobile, filtré à travers un filtre à pores de 0,22 µm et analysé en chromatographie.
- En ce qui concerne l'analyse de la teneur en atrazine, les échantillons fondus ont été filtrés sur membrane de 0,22 µm et évalués par HPLC .Et les réactions utilisent un pH de 7 ou en mettant l'ABTS, l'enzyme ou l'atrazine comme témoins.

Résultats et discussions

Les résultats de l'article 1 montrent que :

- -L'existence d'une source auxiliaire de carbone et d'azote, qui permet de dégrader les composés xénobiotiques.
- -Les 13 souches de basidiomycètes, ne pourraient pas agir sur le diuron, car aucune d'elles ne pourraient croître avec l'herbicide comme seule source de carbone et d'énergie.
- -Les taux de dégradation sont rares pour les souches de basidiomycètes isolées, et peu de travaux ont rapporté des performances similaires.
- -Des métabolites résiduels ont été trouvés dans l'extrait brut de cinq des six souches qui ont dégradé le diuron, identifiées dans l'analyse HPLC comme DCPMU, et DCPU.
- -Différents mécanismes peuvent être impliqués dans le métabolisme fongique intra-ou extracellulaire des composés aromatiques.
- -les souches fongiques, incapables de minéraliser la molécule entière, peut le métaboliser en composés mono et di-déméthylés.
- - la laccase a conservé 80% de l'activité initiale, après 3heures d'incubation
- -aucun changement sur la concentration initiale de diuron n'a été observé après 24heures.
- -aucun nouveau produit n'a été détecté sur l'analyse HPLC des mélanges réactionnels
- -les voies de biodégradation du diuron, impliquent des N-déméthylations successives, donnant lieu à DCPMU et DCPU, suivies d'une hydrolyse de la liaison amide.
- -la biodégradation bactérienne du diuron, se réalise par des hydrolases, codifiées par des plasmides.
- -l'herbicide dégradé par unité d'activité laccase était assez similaire.
- -les polluants organiques subissent parfois des oxydations, des réductions et des conjugaisons initiales à l'intérieur des cellules.
- -le rôle sur la disponibilité de l'azote déterminant les voies métaboliques doit être exploré plus avant, ce qui a été réalisé récemment grâce aux approches génomiques et protéomiques.

D'après les expériences faites, nous pouvons conclure les éléments suivants :

- ✓ la laccase ne semble pas être impliquée dans la dégradation du diuron par co-métabolisme.

- ✓ la disponibilité de l'azote dans le milieu de culture s'est avérée être un facteur clé pour la dégradation du diuron.
- ✓ les souches de basidiomycètes étudiées ont montré un potentiel élevé d'utilisation en bioremédiation, spécialement *P. cubensis* SXS 320 qui a dégradé 96 % du diuron.

Et pour l'article 2 nous pouvons citer ces éléments :

- les taux d'inhibition de la croissance de souches fongiques étaient très similaires pour les deux concentrations d'atrazine.
- l'effet inhibiteur pour *Polyporus tenuiculus* MCA est de (42 %).
- le mycélium fongique de certaines souches était beaucoup plus dense dans le milieu contaminé, et de nombreuses souches différaient également par leur pigmentation.
- L'article traite, ainsi la relation entre la disponibilité de l'azote, la dégradation de l'atrazine et la biosynthèse de la laccase. Ils ont trouvé que la laccase de *P. tenuiculus* MCA11, était l'enzyme la plus fortement induite au cours de cette étude, aussi il y'a des tests, pour la dégradation de l'atrazine, qui ont été réalisés pendant 24h. Aussi, la laccase a conservé 88% de son activité initiale, aucune disparition de l'atrazine n'est survenue.
- Pour commencer le dépistage des espèces microbiennes, dans le but de faire la bioremédiation la première étape de cette opération, c'est les essais de tolérance.
- Quand le micro-organisme, surmonte le stress physiologique causé par le xénobiotique, capable de coloniser le sol ou le substrat contaminé. Des travaux antérieurs, ont rapporté des taux d'inhibition élevés lors du criblage de souches fongiques en fonction de leur capacité à se développer dans des plaques de gélose contenant des pesticides organochlorés.
- Seuls *Pleurotus sp* et *Cymatoderma elegans*, à partir de huit basidiomycètes évalués par **Capul et col., 2014** ont présenté des taux d'inhibition inférieurs à 75%, dans des plaques contenant 3,75 g/l d'atrazine.
- En outre, les changements dans les taux de croissance, la pigmentation et la production de spores ont été beaucoup observés chez les champignons poussant dans des environnements toxiques. Après avoir cultivé *Mucor plumbeus* sur un milieu contaminé au pentachlorophénol, **Carvalho et col., 2015** ont compris, que la dégradation de l'atrazine par *Phanerochaete chrysosporium* et *pleurotus ostreatus* dépendait proportionnellement de la biomasse et des enzymes associées, et un milieu de culture

riche en nutriments, qui permet un développement substantiel de la biomasse, offre les meilleurs résultats en termes de biodégradation.

- D'ailleurs, les changements des métabolites apparaissent dans un milieu de culture pauvre ou riche en azote soutiennent l'hypothèse d'enzymes différentes agissant dans chaque condition. Et une fois sous privation d'azote, différentes enzymes, faisant éventuellement partie du système ligninolytique, sont exprimées, modifiant le profil des métabolites.

Discussion :

- Les deux articles scientifiques ont traité des sujets en relation avec notre thème de recherche présent qui est « la biodégradation des pesticides par les champignons du sol ». Ces deux documents sont complémentaires puisque leurs travaux ont porté sur des herbicides.
- La différence se manifeste dans plusieurs points, alors le premier qui s'intitule : « Dégradation de l'herbicide organochloré Diuron par les basidiomycètes de la forêt tropicale » prends comme herbicide le Diuron, qui est un pesticide ayant une perméabilité élevée dans les sols, une faible sensibilité à l'atténuation naturelle et une forte toxicité.
- Et l'autre est basé sur un type d'herbicide complètement différent c'est bien l'atrazine, qui est considéré comme le deuxième herbicide le plus utilisé dans le monde, utilisé pour lutter contre les mauvaises herbes à feuilles larges dans les plantations de canne à sucre et de maïs.
- En effet, le premier article, on a évalué la capacité de 13 souches de basidiomycètes de forêt tropicale. Pour le deuxième, on a étudié la toxicité et la dégradation de l'atrazine par 13 souches de basidiomycètes.
- En comparant les deux travaux, la souche *P.cubensis* SXS 320 a dégradé 96 % du diuron, en ne laissant aucun résidu aromatique, et la laccase n'a pas été impliquée dans la dégradation du diuron par Co métabolisme. Ainsi, la disponibilité de l'azote dans le milieu de culture s'est avéré un facteur clé pour la dégradation du diuron.
- Puis, concernant la biodégradation de l'atrazine et production d'enzymes ligninolytiques par les souches de basidiomycètes, nous avons constaté que les taux de biodégradation de l'atrazine, et les rendements en enzymes ligninolytiques dépendent de la disponibilité de l'azote dans le milieu de culture. De

plus, les souches de basidiomycètes étudiées montrent un potentiel élevé de bioremédiation.

Conclusion générale

L'application des produits phytosanitaires sur les cultures est nécessaire pour empêcher les pertes inacceptables des produits agricoles. Les pesticides forment un groupe important de substances chimique qui peuvent polluer l'écosystème. Beaucoup d'études ont pu mettre en évidence la présence permanente et préoccupante de résidus contaminant le sol.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de la biodégradation des pesticides par les champignons. Il a pour objectif d'étudier la possibilité d'utiliser les champignons pour la bioremédiation du sol. Depuis plusieurs années, des travaux ont montré que les champignons montrent une grande capacité à transformer les polluants organiques. Ils doivent cependant faire la preuve de leurs potentialités intéressantes pour la dépollution des sols.

Dans ce mémoire nous avons essayé d'évaluer la capacité des souches fongiques à dégrader les pesticides, pour cela nous avons effectué l'analyse de deux articles. Le premier travail a testé la capacité de biodégradation de 13 souches de basidiomycètes isolées du bois. Les résultats obtenus ont révélé un taux de dégradation élevé de la souche fongique de basidiomycètes *Pluteuscubensis* SXS320 qui a dégradé 96% du diuron et *Polyporustenuiculus* MCA11 42%.

D'après les résultats préliminaires obtenus et ceux de la littérature, on constate que la biodégradation est conditionnée par les facteurs de l'environnement et dépend à la fois de la structure des pesticides et de la nature des biodégradant utilisés.

Au terme de ce travail et à partir des résultats obtenus, il est désormais possible de relever quelques perspectives :

- Les résultats obtenus nous permettent de mieux comprendre la biodiversité fongique impliquée dans la biodégradation des pesticides dans les milieux agricoles.
- Un potentiel élevé de biodégradation de l'atrazine par les souches de basidiomycètes tropicaux.
- Les taux de dégradation sont rares pour les souches de basidiomycètes isolées, et peu de travaux ont rapporté des performances similaires.
- les souches fongiques, incapables de minéraliser la molécule entière, peut le métaboliser en composés mono et di-diméthyles.

Références bibliographiques

- Abrahão MC, Gugliotta AM, Da Silva R., Fujieda RJY, Boscolo M., Gomes E. Activité ligninolytique des souches de basidiomycètes nouvellement isolées et effet de ces enzymes sur la décoloration du colorant azoïque orange II. *Annales de microbiologie* . 2008 ; 58 (3) : 427-432. doi: 10.1007/BF03175538. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
- Alexander, M. (1981). Biodegradation of chemicals of environmental concern. *Science*, 211(4478), 132–138.
- Alletto, L., Benoit, P., Bolognesi, B., Couffignal, M., Bergheaud, V., Dumény, V., Longueval, C., & Barriuso, E. (2013). Sorption and mineralisation of s-metolachlor in soils from fields cultivated with different conservation tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 128, 97–103.
- Amine L., (2009). Danger sur la santé : Des pesticides dans vos assiettes, le Quotidien d'Oran publié le 31/03/2009.
- Anil Kumar, J C Singhal, Kuaanan Techato, Luisa T. Molina, Neetu Singh, Prashant Kumar, Pravinder Kumar, Ram Chandra, Santiago Caprio, Seema Upadhye, Seiichiro Yonemura, Surampalli Y Rao, Tian C Zhang, U C Sharma and Y P Abrol.,(2017) . ENVIRONMENTAL SCIENCE AND ENGINEERING (pp.140-158) Edition: Vol. 6: Toxicology Chapter: 7 Publisher: Studium Press LLC, USA .
- Anne-Antonella Serra 2015. Réponses écophysiological et moléculaires des plantes aux stress xénobiotiques complexes de faible intensité : implications dans les capacités de protection environnementale des bandes enherbées. Thèse de doctorat en Biologie. L'université de Rennes 1. pp. 305.
- Antherieu, S., Ledirac, N., Luzy, A. P., Lenormand, P., Caron, J. C., and Rahmani, R., 2007. Endosulfan decreases cell growth and apoptosis in human HaCaT keratinocytes: partial ROS-dependent ERK1/2 mechanism. *Journal of Cellular Physiology*. 213(1); 177-186.
- Arias-Estevez, M., Lopez-Periago, E., MartinezCarballo, E., Simal-Gandara, J., Mejuto, J.-C., & García-Río, L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123(4), 247–260.
- Ashiq M., Danish M., Mumtaz MW Les particules en tant que polluant extérieur potentiel de l'environnement ambiant. *Journal de surveillance de l'environnement*. 2012 ; 12 (7-8):4-9. [[Google Scholar](#)]

- Aust, S. D. et Benson, J. T. (1998). The Fungus among Us: Use of White Rot Fungi to Biodegrade Environmental Pollutants. In National Institute of Environmental Health Sciences. <http://ehpnet1.niehs.nih.gov/>, [En ligne]. <http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/1993/101-3/innovations.html> (Page consultée le 12 avril 2010).
- Bagchi, D., Bagchi, M., Hassoun, E. A., and Stohs, S. J., 1995. In vitro and in vivo generation of reactive oxygen species, DNA damage and lactate dehydrogenase leakage by selected pesticides. *Toxicology*. 104(1-3); 129-140.
- Bahanti M., Teneja A., (2007). Contamination of vegetables of different seasons with organophosphorus pesticides and related health risk assessment" in northern India, *Chemosphere*, 69: P: 63-68.
- Bailey, G. W. & White, J. L. (1964). Soil-pesticide relationships, adsorption and desorption of organic pesticides by soil colloids, with implications concerning pesticide bioactivity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 12(4), 324–332.
- Barriuso, E. & Houot, S. (1996). Rapid mineralization of the s-triazine ring of atrazine in soils in relation to soil management. *Soil Biology & Biochemistry*, 28(10-11), 1341–1348. WOS :A1996WD81500009.
- Bashir MW, Ashiq M., Saddique MY, Mukhtar MF, Hassan A., Islam SU Les particules d'intérieur et leurs caractéristiques difficiles pour l'assainissement de l'environnement. *Journal international des sciences écologiques et de l'ingénierie environnementale* . 2015 ; 2 (6) : 48-51. [[Google Scholar](#)]
- Besse-Hoggan, P., Alekseeva, T., Sancelme, M., Delort, A.-M., & Forano, C. (2009). Atrazine biodegradation modulated by clays and clay/humic acid complexes. *Environmental Pollution*, 157(10), 2837–2844.
- Bhunia P. Environmental Toxicants and Hazardous Contaminants: Recent Advances in Technologies for Sustainable Development. *J. Hazard. Toxic. Radioact. Waste*. 2017;21:02017001. doi: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000366.
- Boutin C., Strandberg B., Carpenter D., Mathiassen S.K., Thomas P.J. Herbicide impact on non-target plant reproduction: What are the toxicological and ecological implications? *Environ. Pollut.* 2014;185:295–306. doi: 10.1016/j.envpol.2013.10.009

- Bouziani M. (2007). L'usage immodéré des pesticides.de graves conséquences sanitaires. Le guide de médecin et de la santé. Santémarghreb. (Consulte, 07 /06/2018).

- Calvet R., Barriuso E., Benoit B., Bedos C., Charnay K., et Coquet Y., (2005). Les pesticides dans le sol: Conséquences agronomiques et environnementales, Paris: Editions France Agricoles, P: 637, 255, 25,272.
- Calvet, R.,Barriuso, E., Bedos, C., B.enoit, P., Charnay, M.P.,Coquet,Y.2005. Les pesticides dans le sol. Conséquences agronomiques et environnementales. ISBN 2-8557-119-7 Editions France
- Calviello, G., Piccioni, E., Boninsegna, A., Tedesco, B., Maggiano, N., Serini, S., Wolf, F. I., and Palozza, P., 2006. DNA damage and apoptosis induction by the pesticide Mancozeb in rat cells: involvement of the oxidative mechanism. *Toxicol Appl Pharmacol.* 211(2); 87-96.
- Canabal Manuela, « De la découverte scientifique à l'occultation du savoir : Isaac-Bénédict Prévost et la carie du blé (1798-1807) », *Revue d'histoire des sciences* 2/2010 (tome 63), p. 501-527.
- Carter, W. G., Tarhoni, M., Rathbone, A. J., and Ray, D. E., 2007. Differential protein adduction by seven organophosphorus pesticides in both brain and thymus. *Hum Exp Toxicol.* 26(4); 347-353.
- Carvalho MB, Martins I, Medeiros J, Tavares S, Planchon S, Ranaut J, et al. The response of *Mucor plumbeus* to pentachlorophenol: a toxicoproteomics study. *J Proteome.* 2015. 10.1016/j.jprot.2012.11.006. [[PubMed](#)]
- Castellani A. Entretien et culture des champignons pathogènes communs de l'homme dans de l'eau distillée stérile. Recherches ultérieures. *Journal de médecine tropicale et d'hygiène* . 1967; 70 (8) : 181-184. [[Google Scholar](#)]
- Center for Public Environmental Oversight (2002d). White rot fungus. In Dreamhost. <http://www.cpeo.org/>, [En ligne].Office québécois de la langue française (2010).
- Chaplain, V., Barriuso, E., Dur, J. C., & Vergnet, C. (2001). Influence of the formulation on the sorption and the mobility of diuron in soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 66(5), 0664–0670.

- Children: a CICH profile, 3rd ed. Canadian Institute of Child Health, 2000. •Health Canada. Health and the environment: handbook for health professionals. Ottawa, Ministry of Public Work and Government Services,1998.
- Chin N.P. Environmental toxins: Physical, social, and emotional. Breastfeed. Med. 2010;5:223–224. doi: 10.1089/bfm.2010.0050.
- Cho-Ruk K., Kurukote J., Supprung P., Vetayasuporn S. Perennial plants in the phytoremediation of lead-contaminated soils. Biotechnology. 2006;5:1–4. doi: 10.3923/biotech.2006.1.4.
- Cho-Ruk K., Kurukote J., Supprung P., Vetayasuporn S. Perennial plants in the phytoremediation of lead-contaminated soils. Biotechnology. 2006;5:1–4. doi: 10.3923/biotech.2006.1.4.
- cide mixtures: invitro studies on human peripheral blood lymphocytes. Toxicol Ind Health. 23(8); 449- 458.
- Courtecuisse R, Duhem B. Guide des champignons de France et d'Europe. Paris: Delachaux et Niestlé; 2007. p. 7 – 12.
- CRAAQ (2016). Utilisation rationnelle et sécuritaire des pesticides. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ).
- Craven C., Hoy S., (2005).Pesticides persistence and bound residues in soil-regulatory sificance, Environmental pollution vol 133: P: 5-9.
- Cupul WC, Abarca GH, Vázquez RR, Salmones D, Hernández RG, Gutiérrez EA. Response of ligninolytic macrofungi to the herbicide atrazine: dose-response bioassays. Rev Argent Microbiol. 2014. 10.1016/S0325-7541(14)70094-X. [[PubMed](#)]

- Das, P. P., Shaik, A. P., and Jamil, K., 2007. Genotoxicity induced by pesti- Chen S., Yang L., Hu M., Liu J. Biodegradation of fenvalerate and 3-phenoxybenzoic acid by a novel Stenotrophomonas sp. strain ZS-S-01 and its use in bioremediation of contaminated soils. Appl. Microbiol. Biotechnol. 2011;90:755–767. doi: 10.1007/s00253-010-3035-z.
- De A., Bose R., Kumar A., Mozumdar S. In: *Targeted Delivery of Pesticides Using Biodegradable Polymeric Nanoparticles*. De A., Bose R., Kumar A., Mozumdar S., éditeurs. Springer ; New Delhi, Inde : 2014. [[Google Scholar](#)]

- Drechsel, D. A., and Patel, M., 2008. Role of reactive oxygen species in the neurotoxicity of environmental agents implicated in Parkinson's disease. *Free Radical Biology and Medicine*. 44(11); 1873-1886.
- Drechsel, D. A., and Patel, M., 2008. Role of reactive oxygen species in the neurotoxicity of environmental agents implicated in Parkinson's disease. *Free Radical Biology and Medicine*. 44(11); 1873-1886.
- El Sebai, T., Devers, M., Lagacherie, B., Rouard, N., Soulas, G., & Martin-Laurent, F. (2010). Diuron mineralisation in a mediterranean vineyard soil : impact of moisture content and temperature. *Pest Management Science*, 66(9), 988–995. WOS :000281368100009.
- El Sebai, T., Lagacherie, B., Soulas, G., & Martin-Laurent, F. (2007). Spatial variability of isoproturon mineralizing activity within an agricultural field : Geostatistical analysis of simple physicochemical and microbiological soil parameters. *Environmental Pollution*, 145(3), 680–690.
- Eldridge, B.F. (2008). Pesticide application and safety training for applicators of public health pesticides. California Department of Public Health, Vector-Borne Disease Section, 1616 Capitol Avenue, MS7307, P.O. Box 997377, Sacramento, CA.
- E-TIC (2014). Gestion des nuisibles et des maladies.

- FAO & ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. (also available at <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>).
- Faostat, (2014). Algérie. URL: <http://faostat.fao.org>.
- Finlay RD. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *J Exp Bot*. 2008; 59(5):1115–26.
- Fuagier, A. (2010). Diversité bactérienne des sols : accès aux populations à effectifs monitaires « the rare biosphere ». L'ÉCOLE DOCTORALE ÉLECTRONIQUE, ÉLECTROTECHNIQUE, AUTOMATIQUE DE LYON.
- Grundmann, S., Fuß, R., Schmid, M., Laschinger, M., Ruth, B., Schulin, R., Munch, J. C., & Schroll, R. (2007). Application of microbial hot spots enhances pesticide degradation in soils. *Chemosphere*, 68(3), 511–517.

- Harms H, Schlosser D, Wick LY. Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals. *Nat Rev Microbiol.* 2011; 9(3):177–92.
- Hawksworth DL. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycol Res.* 2001; 105(12):1422–32.
- Hibbett DS, Binder M, Bischoff JF, Blackwell M, Cannon PF, Eriksson OE, et coll. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycol Res.* 2007; 111(Pt 5):509–47.
- Hodgson Ernest, Rose Randy L., Goh Doreen KS, Rock George C., Roe R. Michael. Cytochrome P-450 d'insecte: métabolisme et résistance aux insecticides. *Transactions de la société biochimique.* 1993; 21 (4): 1060-1065. doi: 10.1042 / bst0211060. [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
- Hussain, S., Devers-Lamrani, M., Spor, A., Rouard, N., Porcherot, M., Beguet, J., & Martin-Laurent, F. (2013). Mapping field spatial distribution patterns of isoproturon-mineralizing activity over a three-year winter wheat/rape seed/barley rotation. *Chemosphere*, 90(10), 2499–2511.
- Iglesias, A., López, R., Gondar, D., Antelo, J., Fiol, S., & Arce, F. (2009). Effect of pH and ionic strength on the binding of paraquat and MCPA by soil fulvic and humic acids. *Chemosphere*, 76(1), 107–113.
- Institut national de la recherche et de la santé (INRS). (2006). Traitement des gaz dangereux captés sur les lieux de travail, Adsoption. Edition : 4263.
- Institut national de la recherche et de la santé (INRS). (2007).

- Javaid MK, Ashiq M, Tahir M (2016) Potentiel des agents biologiques dans la décontamination des sols agricoles. *Scientifica* 2016, 1598325 9 pages [[article gratuit de PMC](#)] [[PubMed](#)]
- Jezierska-Tys S., Rutkowska A. Soil response to chemicals used in a field experiment. *Int. Agrophys.* 2013;27:151–158. doi: 10.2478/v10247-012-0080-0.
- Kah, M., Beulke, S., & Brown, C. D. (2007). Factors influencing degradation of pesticides in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(11), 4487–4492.

- Kaya A., Yigit E. The physiological and biochemical effects of salicylic acid on sunflowers (*Helianthus annuus*) exposed to flurochloridone. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2014;106:232–238. doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.04.041.
- Kendrick B. The Fifth Kingdom. Newburyport MA Kirk JL, Beaudette LA, Hart M, Moutoglis P, Klironomos JN, Lee H, et coll. *Methods of studying soil microbial diversity. J Microbiol Methods.* 2004; 58(2):169–88.
- Kutz FW et al. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in human adipose tissue. *Rev Environ Contam Toxicol* , 1991, 120:1.: Focus Pub.; 2000. 386 pages.
- Larson, S.J., Capel, P.D. and Majewski, M. (2010). *Pesticides in surface waters: Distribution, trends, and governing factors (No. 3).* CRC Press.
- Ledirac, N., Antherieu, S., d'Uby, A. D., Caron, J. C., and Rahmani, R., 2005. Effects of organochlorine insecticides on MAP kinase pathways in human HaCaT keratinocytes: key role of reactive oxygen species. *Toxicological Sciences.* 86(2); 444-452.
- Lerch, T. Z., Dignac, M.-F., Nunan, N., Bardoux, G., Barriuso, E., & Mariotti, A. (2009b). Dynamics of soil microbial populations involved in 2,4-d biodegradation revealed by FAME-based stable isotope probing. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(1), 77–85.
- Les éditions Inserm, *Pesticides - Effets sur la santé* ,2013.
- Li Z., Ma Z., van der Kuijp T.J., Yuan Z., Huang L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. *Sci. Total Environ.* 2014;468–469:843–853. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.08.090.
- Li, Q., and Kawada, T., 2006. The mechanism of organophosphorus pesticide-induced inhibition of cytolytic activity of killer cells. *Cellular and Molecular Immunology.* 3(3); 171-178.
- Loqman S., (2009). *La lutte biologique contre la pourriture grise de la vigne: Isolement, caractérisation de souches de bactéries Actinomycétales antagonistes à partir des sols rhizosphériques de vignes saines sauvages d'origine marocaine.* Thèse doc: Université De Reims Champagne-Ardenne Ecole Doctorale Sciences Exactes et Biologie. P: 2, 253.
- Lushchak V.I., Matviishyn T.M., Husak V.V., Storey J.M., Storey K.B. Pesticide toxicity: A mechanistic approach. *EXCLI J.* 2018;17:1101–1136. doi: 10.17179/excli2018-1710.

- Lyons, G., 2000. Mixed messages : pesticides that confuse hormones. Pesticides Action Network UK.
- Moser, V. C., 2007. Animal models of chronic pesticide neurotoxicity. *Hum Exp Toxicol.* 26(4); 321-331.
- Naravaneni, R., and Jamil, K., 2007. Determination of AChE levels and genotoxic effects in farmers occupationally exposed to pesticides. *Human and Experimental Toxicology.* 26(9); 723-731.
- Peitl, P. J., Sakamoto-Hojo, E. T., and de Syllos Colus, I. M., 1996. Genotoxic activity of the insecticide Nuvacron (Monocrotophos) detected by the micronucleus test in bone marrow erythrocytes of mice and in CHO cells. *Brazilian journal of Genetics.* 19(4); 571-576.
- Pepper, I.L., Gerba, C.P., Newby, D.T. & Rice, C.W. 2009. Soil: A Public Health Threat or Savior? *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(5): 416–432.
- Pesce, S. (2010). Evidence for adaptation of riverine sediment microbial communities to diuron mineralization: incidence of runoff and soil erosion. *J Soils Sediments* 10, 698–707.
- Pointing SB. Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2001; 57(1-2):20–33.
- Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M. & Pennock, D. 2018. Soil Pollution: a hidden reality. Food and Agriculture Organization of the United Nations edition. FAO. Rome, Italy. (also available at <http://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf>).
- Rodriguez-Rodriguez, C. E., Castro-Gutierrez, V., Chin-Pampillo, J. S., & Ruiz-Hidalgo, K. (2013). On-farm biopurification systems : role of white rot fungi in depuration of pesticide-containing wastewaters. *FEMS Microbiology Letters*, 345(1), 1–12.
- Sacramento, C.A. (2008). Department of pesticide regulation “What are the Potential Health Effects of Pesticides?” *Community Guide to Recognizing and Reporting Pesticide Problems*, pp. 27–29.
- Santos SX, Carvalho CC, Bonfá MRL, Da Silva R, Gomes E. Dépistage de l'activité pectinolytique des basidiomycètes pourritures du bois et caractérisation des enzymes. *Folia Microbiol.* 2004. 10.1007/BF02931645. [[PubMed](#)]

- Sharma A., Kumar V., Kohli S.K., Thukral A.K., Bhardwaj R. Phytochemicals in Brassica juncea L. seedlings under imidacloprid-epibrassinolide treatment using GC-MS. *J. Chem. Pharm. Res.* 2015;7:708–711.
- -Sharma A., Kumar V., Kumar R., Shahzad B., Thukral A.K., Bhardwaj R., Tejada Moral M. Brassinosteroid-mediated pesticide detoxification in plants: A mini-review. *Cogent Food Agric.* 2018;4:1436212. doi: 10.1080/23311932.2018.1436212.
- Sharma A., Kumar V., Shahzad B., Tanveer M., Sidhu G.P.S., Handa N., Kohli S.K., Yadav P., Bali A.S., Parihar R.D. Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Appl. Sci.* 2019;1:1446. doi: 10.1007/s42452-019-1485-1.
- Shi, S. & Bending, G. D. (2007). Changes to the structure of *Sphingomonas* spp. communities associated with biodegradation of the herbicide isoproturon in soil. *FEMS Microbiology Letters*, 269(1), 110–116.
- Singh, B. and Mandal, K. (2013). Environmental impact of pesticides belonging to newer chemistry. In: Dhawan, A.K., Singh, B., BrarBhullar, M. and Arora, R. (Eds.). *Integrated pest management*. Scientific Publishers, Jodhpur, India, pp. 152–190.
- Singh, B. K. & Walker, A. (2006). Microbial degradation of organophosphorus compounds. *FEMS Microbiology Reviews*, 30(3), 428–471.
- Soulas, G. (1985). La dégradation dans le sol aspects microbien et cinétiques. *Science du sol*, 2, 43–57.
- Soulas, G. (1993). Evidence for the existence of different physiological groups in the microbial community responsible for 2, 4-d mineralization in soil. *Soil biology and biochemistry*, 25(4), 443–449.
- Soulas, G. (1993). Evidence for the existence of different physiological groups in the microbial community responsible for 2, 4-d mineralization in soil. *Soil biology and biochemistry*, 25(4), 443–449.
- Su C., Jiang L., Zhang W. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques. *Environ. Skept. Critics.* 2014;3:24–38.
- Sunol, C., Babot, Z., Fonfria, E., Galofre, M., Garcia, D., Herrera, N., Iraola, S., and Vendrell, I., 2008. Studies with neuronal cells: From basic studies of mechanisms of neurotoxicity to the prediction of chemical toxicity. *Toxicol In Vitro.* 22(5); 1350-1355.
- Swartjes, F.A., ed. 2011. *Dealing with Contaminated Sites*. Dordrecht, Springer Netherlands. (also available at [http:// link.springer.com/10.1007/978-90-481-9757-6](http://link.springer.com/10.1007/978-90-481-9757-6)).

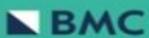
- Tangahu B.V., Sheikh Abdullah S.R., Basri H., Idris M., Anuar N., Mukhlisin M. A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *Int. J. Chem. Eng.* 2011;2011:1–31. doi: 10.1155/2011/939161.
- Tissut M., Delval P. P., Mamarot J., Ravanel P., (2006). Plantes, herbicides et désherbage. *Acta*, P: 635.
- Tóth G., Hermann T., Da Silva M.R., Montanarella L. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environ. Int.* 2016;88:299–309. doi: 10.1016/j.envint.2015.12.017.
- Trajkovska, S., Mbaye, M., Seye, M.G., Aaron, J.J., Chevreuil, M. and Blanchoud, H. (2009). Toxicological study of pesticides in air and precipitations of Paris by means of a bioluminescence method. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 394: 1099– 1106.
- Turgeon, M., Delisle, S., & Drouin, K. (2008b). Champignon de la pourriture blanche. Unpublished manuscript.
- UIPP, (2009). Rapport d'activité <http://www.uipp.org/var/uipp/storage/original/application/c501ecdf65f1-fa5c7669dbf212580.pdf>.
- UITA, (2004). Manuel de formation sur les pesticides, Extrait adapté du document « Health, Safety and Environment: a series of Trade Union Education P : 44,45,100. Manuals for Agricultural Workers » de ILO/UITA.
- United Nations Environment Programme. 2017a. Resolution UNEP/EA.3/Res.6 Managing soil pollution to achieve sustainable development. United Nations Environment Programme. [Cited 28 June 2018]. <https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1800204.english.pdf>.
- Uqab B, Mudasir S, Nazir R. Revue sur la bioremédiation des pesticides. *J Bioremed Biodeg.* 2016; 7 : 343. doi: 10.4172 / 2155-6199.1000343 .. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]

- Wilfried ,Q. Modélisation du devenir des pesticides dans les sols à partir d'un modèle agronomique : évaluation sur le long terme. THÈSE de Doctorat de L'université PIERRE ET MARIE CURIE.
- Xiao R., Wang S., Li R., Wang J.J., Zhang Z. Soil heavy metal contamination and health risks associated with artisanal gold mining in Tongguan, Shaanxi, China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2017;141:17–24. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.03.002.

- Yadav I.C., Devi N.L. Pesticides classification and its impact on human and environment. *Environ. Sci. Eng.* 2017;6:140–158.
- Zhang W. Global pesticide use: Profile, trend, cost/benefit and more. *Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci.* 2018;8:1–27. [[Google Scholar](#)]
- Zhang W. Global pesticide use: Profile, trend, cost/benefit and more. *Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci.* 2018;8:1–27.
- Zhang X., Yan L., Liu J., Zhang Z., Tan C. Removal of different kinds of heavy metals by novel PPG-nZVI beads and their application in simulated stormwater infiltration facility. *Appl. Sci.* 2019;9:4213. doi: 10.3390/app9204213.

- <https://doi.org/10.1080/10643380701664748>
- <http://www.fao.org/3/ca0362fr/CA0362FR.pdf>.
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7996329/>
- <https://www.mdpi.com/2305-6304/9/3/42>

Annexes

The logo for BMC Microbiology, featuring the text "BMC Microbiology" in white on a teal background, with a decorative geometric pattern of overlapping triangles in teal, blue, and orange to the right.The BMC logo, consisting of a white square with a black triangle inside, followed by the letters "BMC" in a bold, sans-serif font.

Biodegradation of atrazine and ligninolytic enzyme production by basidiomycete strains

Caroline Henn, Diego Alves Monteiro, [...],
and Eleni Gomes

[Additional article information](#)

Associated Data

▶ [Data Availability Statement](#)

Abstract





BioMed Research
International

Degradation of the Organochlorinated Herbicide Diuron by Rainforest Basidiomycetes

Caroline Henn, Ricardo M. Arakaki, [...],
and Eleni Gomes

[Additional article information](#)

Associated Data

► [Data Availability Statement](#)

Abstract



Résumé :

Les pesticides sont largement utilisés pour lutter contre les mauvaises herbes, les maladies et les ravageurs des plantes cultivées partout dans le monde. Ces substances sont très toxiques, cancérigènes et sont la cause de pollution de l'environnement. Ils représentent une préoccupation majeure pour les autorités publiques et sanitaires. La restauration des sites contaminés est possible par des techniques de dépollution biologique impliquant les microorganismes (biodégradation microbienne).

Nous avons montré dans ce travail et sur la base des travaux antérieurs la capacité des champignons du sol à dégrader les pesticides telle que la dégradation de l'herbicide organochloré diuron par 13 souches de basidiomycètes de la forêt tropicale, montrant la souche la plus efficace dans la dégradation du diuron. Ainsi nous avons étudié la toxicité et la dégradation de l'atrazine par 13 souches de basidiomycètes tropicaux avec production d'enzymes ligninolytiques montrant le rôle de l'azote dans le processus.

Mots clés : pesticides, biodégradation, champignons du sol, basidiomycètes de la forêt tropical.

ملخص:

تستخدم المبيدات على نطاق واسع لمكافحة الحشائش والأمراض والآفات التي تصيب المحاصيل المزروعة في جميع أنحاء العالم. هذه المواد شديدة السمية ومسببة للسرطان وتسبب تلوث البيئة وتشكل مصدر قلق كبير للسلطات العامة والصحية. يمكن استعادة المواقع الملوثة بتقنيات إزالة التلوث البيولوجي التي تشمل الكائنات الحية الدقيقة (التحلل البيولوجي الجرثومي).

لقد أظهرنا في هذا العمل وعلى أساس الأعمال السابقة قدرة فطريات التربة على تحلل المبيدات الحشرية مثل تحلل المبيدات العضوية الكلورية ديورون بواسطة 13 سلالة من الفطريات القاعدية في الغابات المطيرة ، مما يوضح السلالة الأكثر كفاءة في تحلل الديورون. وهكذا قمنا بدراسة سمية وتحلل الأترازين بواسطة 13 سلالة من الفطريات القاعدية الاستوائية مع إنتاج إنزيمات محللة للجنين تظهر دور النيتروجين في هذه العملية.

الكلمات المفتاحية: مبيدات الآفات ، التحلل البيولوجي ، فطريات التربة ، الفطريات القاعدية للغابات الاستوائية.

Summary:

Pesticides are widely used to control weeds, diseases and pests of crops around the world. These substances are highly toxic, carcinogenic and cause environmental pollution. They are a major concern for public and health authorities. The remediation of contaminated sites is possible by biological remediation techniques involving microorganisms (microbial biodegradation).

In this work and based on previous work, we have shown the ability of soil fungi to degrade pesticides such as the degradation of the organochlorine herbicide diuron by 13 strains of rainforest basidiomycetes, showing the most efficient strain in the degradation of diuron. Thus we studied the toxicity and degradation of atrazine by 13 strains of tropical basidiomycetes with production of ligninolytic enzymes showing the role of nitrogen in the process.

Key words: pesticides, biodegradation, soil fungi, tropical forest basidiomycetes.