



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE ET DE MICROBIOLOGIE

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention de diplôme de master

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème :

***Etude bibliographique portant sur la biodégradation de deux
pesticides (Cyperméthrine et Lambda-cyhalothrine)***

Réalisé par :

M^{elle} OUZZIR Radia

M^{elle} BOURAIOU Maroua

Soutenu le : 21 Décembre 2020

Devant le jury composé de :

Mr LEFSIH K.	Maitre de Conférence classe A	UMMTO	Président
Mr TAZDAIT D.	Maitre de Conférence classe A	UMMTO	Encadreur
Mr OUELHADJ A.	Professeur	UMMTO	Examineur

Année universitaire : 2019-2020

Remerciement

On tient tout d'abord, à remercier Dieu le tout puissant pour nous avoir donné santé, force, courage et volonté de continuer nos études et de mener à bien ce modeste travail.

Nos vifs et sincères remerciements vont à monsieur TAZDAIT D. maître de conférences classe A à l'UMMTO, pour avoir accepté d'encadrer ce travail, malgré ses multiples occupations, pour ses grandes qualités humaines et professionnelles, qui lui valent le respect et auxquels nous sommes très sensibles. Merci monsieur pour votre grande gentillesse et votre disponibilité.

On adresse notre profonde gratitude à monsieur LEFSIH K. maître de conférences classe A à l'UMMTO, pour avoir très gentiment accepté d'examiner notre travail et de présider le jury.

On remercie également monsieur OUELHADJ A. professeur à l'UMMTO, pour avoir accepté d'évaluer ce travail en dépit de ses nombreuses obligations.

On remercie l'ensemble de nos enseignants au sein du département de Biochimie et de Microbiologie, ainsi que toute l'équipe de laboratoire et de la bibliothèque pour leurs disponibilités à notre égard.

Finalement nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie cette évènement marquant de ma vie ;

À la mémoire de ma mère qui nous a quittée très tôt. J'espère qu'elle apprécie ce geste humble comme preuve d'amour et de reconnaissance.

À mon père Rabah et mon frère Yugurthen, qui sont souvent présent pour moi afin de me soutenir et m'accompagnés toute au long de mon cursus d'étude.

À la personne formidable avec laquelle j'ai rédigé ce modeste travail, ma binôme "Maroua Bouraiou" avec la présence de tous les moments tragiques, de folie et de tendresse qu'on a passées ensemble au cours de cette année.

À mes meilleurs amies Lamia et Lila qui m'ont énormément encouragées et soutenues au cour des meilleures et mauvaises périodes de mes études. Ainsi que ma camarade Nassima qui nous a encouragée, en nous faisant un compte rendu général de son expérience.

Enfin à toute personnes intervenant de près ou de loin pour le meilleur déroulement de cette période importante de ma vie.

Ouzzir Radia

Dédicace

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

À celle qui m'a arrosée de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour à ma mère, qui m'a encouragée à aller de l'avant et continuer mes études.

À ma famille, elle qui m'a dotée d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Particulièrement :

À toi ma meilleure amie Nassima Sennani qui m'a toujours soutenue et encouragée durant cette période, mes profondes gratitude.

À toi ma chère binôme et sœur Radia Ouzzir, toute ma gratitude et amour pour ta patience et bienveillance sans toi ce travail ne serait jamais complet.

À tous ceux que j'aime

Bouraiou Marcua

Sommaire

Résumé.....	i
Listes des tableaux.....	ii
Listes des figures.....	iii
Listes des abréviations.....	v
Introduction.....	1
Historique.....	4
Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides	
I. Définition.....	5
1. Composition d'un pesticide.....	5
2. Propriétés d'un pesticide idéal.....	6
II. Classification.....	7
1. Composition chimique.....	7
1.1. Pesticides organiques.....	7
1.2. Pesticides inorganiques.....	7
2. Cible.....	8
2.1 Les insecticides.....	8
2.2. Les fongicides.....	9
2.3. Les herbicides.....	11
3. Structure Chimique.....	12
3.1. Les organochlorés.....	12
3.2. Les organophosphorés.....	12
3.3. Les carbamates.....	13
3.4. Les pyréthrinoïdes.....	14
4. Modes de pénétrations.....	14
5. Mode d'action.....	15
5.1. Modes d'action des insecticides.....	15
5.1.1. Action sur le système nerveux.....	15

5.1.2.	Action sur le système respiratoire.....	16
5.1.3.	Action sur la régulation de la croissance des insectes.....	16
5.2.	Modes d'action des herbicides.....	16
5.2.1.	Perturbation de la photosynthèse.....	16
5.2.2.	Perméabilité de la membrane.....	17
5.2.3.	Inhibition de la synthèse des lipides et des acides aminés.....	17
5.3.	Modes d'action des fongicides.....	18
5.3.1.	Action sur le processus respiratoire.....	18
5.3.2.	Action sur la biosynthèse.....	18
5.3.3.	Action sur les microtubules.....	19
III.	Utilisation des pesticides.....	19
1.	Dans le monde.....	19
2.	En Algérie.....	19
IV.	Toxicité des pesticides.....	20
1.	Définition de la toxicité.....	20
1.1.	Toxicité aiguë.....	21
1.2.	Génotoxicité.....	21
2.	Voies de pénétration des pesticides.....	21
2.1.	Dans l'environnement.....	21
2.2.	Chez les humains.....	23
2.2.1.	Exposition cutanée.....	23
2.2.2.	Exposition pulmonaire.....	23
2.2.3.	Exposition digestive.....	23
3.	Impacts des pesticides sur l'environnement.....	24
4.	Impacts des pesticides sur la santé humaine.....	26
4.1.	Conséquences de la toxicité aiguë.....	26
4.2.	Conséquences de la génotoxicité.....	28
Chapitre 2 : L'élimination des pesticides		
I.	Introduction.....	31
II.	Méthodes de traitement de pesticides.....	31
1.	Traitement physico-chimique (dégradation abiotique).....	31
2.1.	La photo-décomposition.....	31
2.2.	La dégradation chimique.....	32

2.	Traitement biologique (dégradation biotique).....	32
III.	Les critères de la biodégradation.....	32
IV.	Méthodes de traitement biologiques des pesticides.....	32
V.	Exemples de biodégradation de pesticides.....	33
1.	La cyperméthrine.....	33
1.1.	Généralité.....	33
1.2.	Utilisation.....	34
1.3.	Elimination de la cyperméthrine.....	34
1.3.1.	Exemple 1 : Biodégradation par la souche <i>Bacillus subtilis</i> (SG2).....	35
1.3.2.	Exemple 2 : Biodégradation par la souche <i>Serratia mercenscens</i> ID.....	36
1.3.3.	Exemple 3 : Biodégradation par la souche <i>Micrococcus sp.</i> CPNI.....	37
1.3.4.	Exemple 4 : Biodégradation par la souche <i>Rhodobacter sphaeroides</i> S10-1.....	37
1.3.5.	Exemple 5 : Biodégradation par la souche <i>Eurotium cristatum</i> ETI.....	38
2.	La lambda-cyhalothrine.....	38
2.1.	Généralités.....	38
2.2.	Utilisation.....	39
2.3.	Traitement de lambda-cyhalothrine.....	39
2.3.1.	Exemple 1 : Biodégradation par la souche <i>Bacillus thurengiensis</i> ZS- 19.....	39
2.3.2.	Exemple 2 : Biodégradation par le champignon <i>Aspergillus sp.</i> CBMAI 1829.....	41
2.3.3.	Exemple 3 : Dégradation par la souche <i>Raoultella ornithinolytica</i> ZK4.....	42
2.3.4.	Exemple 4 : Dégradation par la souche <i>Pseudomonas fluorescens</i> GMMCI.....	42
2.3.5.	Exemple 5 : Dégradation par la souche <i>Bartonella elizabethae</i> S2B.....	42

Conclusion.....	44
Références bibliographiques.....	46
Annexes.....	62

Résumé :

Les pesticides sont des substances chimiques utilisées pour lutter contre les bio-agresseurs des cultures. Cependant, l'emploi des pesticides est très dangereux à cause des différents effets de toxicité environnementales et sanitaires qu'ils induisent.

La bio-remédiation pourrait constituer un moyen efficace afin d'éliminer ces polluants. Cette alternative biologique se base sur les capacités dégradatives de certains microorganismes y compris ceux des communautés microbiennes indigènes aux sols pollués. L'objectif principal du présent travail est la description de la diversité et des fonctionnalités des communautés bactériennes compétentes du sol pouvant dégrader efficacement les résidus des pesticides toxiques.

Mots clés : Biodégradation, microorganismes, pesticides, toxicité.

Abstract :

Pesticides are chemical substances used to fight against crop pests. However, the use of pesticides is very dangerous because of the various effects of environmental and health toxicity that they induce.

Bio-remediation could be an effective way to eliminate these pollutants. This biological alternative is based on the degradation capacities of certain microorganisms including those of microbial communities indigenous to polluted soils. The main objective of this work is the description of the diversity and functionalities of competent bacterial communities in the soil that can effectively degrade toxic pesticide residues.

Key words: Biodegradation, microorganisms, pesticides, toxicity.

Listes des tableaux :

Tableau I : Exemples des impacts de la toxicité aiguë de certains pesticides sur les plantes.

Tableau II : Certains effets des pesticides sur les micro-organismes du sol.

Tableau III : Intoxications aiguës provoqué par les pesticides sur les humains.

Tableau IV : Exemples des cancers diagnostiqués en association avec l'usage des pesticides.

Listes des figures :

Figure 1 : Acariens des agrumes traités par le chlorpyrifos-éthyl.

Figure 2 : Puceron cendré du pommier traité par la cyperméthrine, l'acétamiprid.

Figure 3 : Mineuse de tomate traitée par lambda-cyhalothrine, l'abamectin.

Figure 4 : Cochenille du murier traitée par la bifenthrin, la deltaméthrin.

Figure 5 : a : Mildiou, b : Anthracnose, c : Oïdium traités par le soufre et ses dérivés (la bouillie bordelaise).

Figure 6 : Tavelure du pommier traitée par le triazole.

Figure 7 : Pourriture grise traitée par le benzène.

Figure 8 : Taches noires du rosier traitées par le triazole.

Figure 9 : Chiendent traité par le Glyphosate, cyhalofop-butyl.

Figure 10 : Adventices traités par le diclofop-méthyl, l'acide sulfurique.

Figure 11 : Structure de noyau de base des organochlorés.

Figure 12 : Structure chimique de base des organophosphorés.

Figure 13 : Noyau de base des carbamates.

Figure 14 : Structure de base des pyréthrinoïdes de synthèse.

Figure 15 : Schéma explicite de l'action de certains insecticides au sein de système nerveux des insectes.

Figure 16 : Sites d'action de certains insecticides au sein de la chaîne respiratoire mitochondriale.

Figure 17 : Différents modes d'action du glyphosate (herbicides) sur les plantes.

Figure 18 : Mécanisme d'action des fongicides sur la germination et la croissance des champignons.

Figure 19 : Utilisation annuelle des pesticides en Algérie entre 1998 et 2017.

Figure 20 : Mécanismes de dispersion des pesticides dans l'atmosphère, le sol et l'eau.

Figure 21 : Processus de bioamplification des pesticides liposolubles.

Figure 22 : Différentes modalités de contamination par les pesticides.

Figure 23 : Proportions des intoxications aiguës chez la population humaine provoqué par les pesticides.

Figure 24 : Structure chimique de la cyperméthrine.

Figure 25 : Voie de biodégradation de la cyperméthrine.

Figure 26 : Voie de dégradation de la cyperméthrine utilisée par la souche *Serratia marcescens* 1D.

Figure 27 : Structure chimique de lambda-cyhalothrine.

Figure 28 : Voie de la biodégradation de lambda-cyhalothrine.

Figure 29 : Voie de biodégradation du Lambda-cyhalothrine par *Aspergillus* sp CBMAI 1829.

Figure 30 : Schéma récapitulatif de la classification des pesticides et certains exemples de chaque classe chimique.

Figure 31 : Les pays les plus utilisateurs des pesticides et leurs consommations respectives en 2016 (Kg/ha).

Listes des abréviations :

- **2,4-D** : 2,4-Dichlorophenoxyacetic acide.
- **2,4,5-T** : Acide 2,4,5-trichlorophénoxyacétique.
- **3-PBA** : Acide 3 phénoxybenzoïque.
- **3-PBAc** : Acide 3 phénoxybenzoïque.
- **3-PBAlc** : Alcool 3 phénoxybenzyl.
- **3-PBAld** : 3 phénoxybenzaldéhyde.
- **Ach** : Acétylcholine.
- **AchE** : Acétylcholinestérase.
- **ACTA** : Association de coordination technique agricole.
- **Cl⁻** : ion de chlore.
- **DDD** : Dichloro-diphényl-dichloroéthane.
- **DDT** : Dichloro-diphényl-trichloroéthane.
- **DO** : Densité optique.
- **FAO** : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- **HydroxyPBAc** : Acide hydroxyphénoxybenzoïque.
- **INERIS** : Institut national de l'environnement industriel et des risques.
- **INRA** : Institut national de la recherche agronomique.
- **INRS** : Institut national de recherche et de sécurité.
- **K⁺** : ion de potassium.
- **LMNH** : Lymphomes malins non hodgkiniens.
- **MH** : Maladie hodgkin.
- **Na⁺** : ion de sodium.
- **nAchR** : Récepteur nicotinique de l'acétylcholine.
- **NAD⁺** : Nicotinamide adénine dinucléotide.
- **OP** : Organophosphorés.
- **OPE** : Esters de phosphate.
- **pH** : Potentiel d'hydrogène.
- **PSII** : Photosystème II (2).
- **U.V** : Rayon ultra-violet.

INTRODUCTION

Introduction

Il y'a environ 10 000 à 15 000 ans l'augmentation continue de la population mondiale a fait que les sociétés préagricoles (chasseurs-cueilleurs) n'assurent pas l'apport quotidiens en nourriture. Suite à cette diminution alimentaire, les humains ont commencé à modeler la nature pour leurs besoins et l'agriculture a émergé dans plusieurs endroits de la planète qui sont la Mésopotamie (Iraq, Turquie, Jordanie, Syrie), la Chine, l'Amérique de sud et l'Afrique subsaharienne (Khan, 2016 ; Unsworth, 2010).

La densification des populations humaines, des plantes cultivées et le stockage des récoltes a rendu la cohabitation entre la société humaine et les populations de ravageurs, moisissures et insectes pas tolérée (Bajard, 2016), à ce propos les agriculteurs ont employé les pesticides comme remède à ces fléaux (Kaur, 2019). Les premières traces d'utilisation de ces composés phytopharmaceutique sont des cocktails minéraux et organique toxiques qui remonte à l'antiquité (4500 ans), qui sont retrouvé en Grèce antique adoptés pour les cultures végétales (Bajard, 2016 ; Unsworth, 2010 ; Riera et al., 2016).

Par ailleurs, l'agriculture qui a subi une crise profonde (manque de la matière première des produits phytosanitaire) entre 1930 et le milieu de 1940, a pu la surmonter grâce à l'évolution importante des pesticides au cour des deux conflits mondiaux par l'apparition des composés agrochimiques de synthèse, ainsi qu'une forte progression de leur consommation pendant la seconde guerre mondiale (Assouline, 1989 ; Bajard, 2016).

Ce développement remarquable des pesticides a permis une élévation de rendement agricoles par la favorisation des récoltes régulières (protéger les cueillettes des maladies) et de stock nutritionnel par le maintien de la qualité des aliments et la quantité suffisante (Koenig et al., 2014). Toutes ces atouts limitent la famine humaine propagée dans la plupart des pays en guerre (Riera et al., 2016). Le revers de la médaille n'a pas tardé à apparaitre car les limites et les dangers de ces substances sont montré de façon spectaculaire par le phénomène de la pollution de l'environnement et des écosystèmes (pollution de l'air, des sédiments, de l'eau et de sol) et l'empoisonnement des êtres humains (Riera et al., 2016 ; Serra, 2015).

La surutilisation des pesticides et la difficulté de s'en débarrasser à cause de leurs persistances dans l'environnement et dans les organismes vivants supérieurs a incité la communauté scientifique à élaborer des techniques physicochimiques et biologiques permettant l'élimination totales ou partielles des pesticides contaminant l'environnement.

Introduction

Notre travail se focalise principalement sur deux Chapitres essentiels :

Dans cette étude, on va s'intéresser au traitement biologique de deux insecticides de la famille des pyréthrinoïdes de synthèse qui sont la cyperméthrine et la lambda-cyhalothrine en faisant appel aux microorganismes indigènes de sol, qui ont la capacité d'utiliser ces insecticides comme nutriment (source de carbone, d'azote, etc.) afin de les éliminer de l'environnement.

Le premier chapitre consiste à la discussion des généralités sur les pesticides portant sur leur classification, utilisation et toxicité. Tandis que dans le deuxième chapitre on va développer les différentes méthodes d'élimination des pesticides par des techniques abiotiques et biotiques.

Historique

Les pesticides ne sont pas une récentes inventions, plusieurs civilisations anciennes ont eu recours à l'usage des pesticides pour protéger leurs cultures (Byju, 2018) :

- A l'antiquité ou 1000 ans avant Jésus-Christ (notre ère) : L'usage de soufre comme agent de fumigation pour les cultures en Grèce ; et l'enregistrement de la première utilisation des insecticides par les sumériens antique (population de la Mésopotamie a l'antiquité) qui emploient du soufre élémentaire pour lutter contre les insectes et les acariens. L'utilisation de mercure et des composés arsenicaux par les chinois afin de lutter contre les poux de corps (Bajard, 2016 ; Unsworth, 2010).
- Au premier siècle : L'utilisation de l'arsenic autant qu'insecticide qui est recommandé par Pline l'ancien (écrivain et naturaliste romain), et l'application des huiles minérales contre les ravageurs et les problèmes de phyto-toxicité par les Grecs et les Romains (Duval, 1994).
- Au moyen âge (fin de V^e siècle jusqu'à la fin de XV^e siècle) : Les agriculteurs médiévaux ont expérimenté des produits chimiques constitués de l'arsenic de plomb sur les cultures communes. La découverte et utilisation de nombreuses plantes qui présente des propriétés toxiques comme pesticides tel que les aconits contre les rongeurs (Byju, 2018).
- Au XVI^e siècle : Des produits arsenicaux ou à base de plomb sont utilisés en Chine et en Europe. Extraction et l'utilisation de la roténone des racines des fabacées (*Dorris* et *Lanchocarpus*) comme insecticide à la fin de XVI^e siècle en Inde ; également les propriétés insecticides du tabac sont connues en 1690 (Riera et al., 2016).
- Au XIX^e siècle : Le développement de la microbiologie au milieu de cette époque est une avancée déterminante dans la transmission des maladies, donc la recherche des traitements possibles. A ce propos un rapport de Gustave Heuzé sur l'oïdium de la vigne rend compte des incertitudes de l'époque. A la fin de cette époque, l'utilisation plus généralisée des pesticides a eu lieu avec le développement de la chimie minérale qui fournit les traitements fongicides à base de sulfate de cuivre (bouillie bordelaise) pour lutter contre les invasions fongiques de la vigne et de la pomme de terre. Enfin en 1874 la synthèse de DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) par Zeidler (Bajard, 2016 ; Riera et al., 2016).
- Au XX^e siècle : A son début provient le traitement des semences avec des sels de mercure, suivi par l'apparition des insecticides tels l'arsénite de cuivre, l'acetoarsénite de cuivre et l'arséniate de plomb. Au milieu de cette arsenal minéral, le pyrèthre une poudre provenant de fleurs séchées de *Chrysanthemum cinerariae folium* est introduit comme insecticide (Unsworth, 2010)

Historique

- En 1939, les propriétés insecticides de DDT sont découvertes, ce qui annonce par la suite son début d'utilisation en médecine préventive avec le DDD (détruire le moustique responsable de la malaria) et en agriculture (élimination du doryphore) (Bajard, 2016 ; Riera et al., 2016).
- En 1944, Production de premier herbicide de synthèse à partir d'une phytohormone, le 2,4-D (2,4-Dichlorophenoxyacetic acide), qui est sélectif des graminées (In Bajard, 2016).
- En 1945, la famille des organophosphorés a vu le jour grâce aux recherches de gaz de combat, effectuée au sein de deuxième conflit mondial (In Riera et al., 2016).
- De 1950 à 1955, La mise en valeur aux Etats-Unis, des herbicides de la famille des urées substituées (linuron, diuron), ainsi que ceux du groupe ammonium quaternaire et triazines (In Riera et al., 2016).
- En 1966, le marché mondial a vu l'arrivée des fongicides du type benzimidazole et pyrimides, accompagné un peu plu-tard par les inhibiteurs de la synthèse des stérols (imidazoliques et triazoliques) (Bajard, 2016).
- En 1970-1980, l'apparition d'une nouvelle classe d'insecticides, les pyréthrinoïdes qui dominent par la suite le marché des insecticides (Riera et al., 2016).
- En 1962 et 1967, publication des premiers manuscrits et livres qui évoquent les risques irréversibles que les pollutions chimiques dus aux pesticides font courir à l'environnement et la santé humaine par Rachel Carson et Ratcliffe (Bernardes et al., 2015 ; Bajard, 2016).
- En 1970, l'apparition de résistances des ravageurs aux pesticides et l'accumulation des preuves sur les impacts des pesticides (Bernardes et al., 2015).
- En 1972, interdiction d'usage de DDT aux États-Unis, et par la suite près de 86 autres pays l'ont interdit de leur marché (Byju, 2018).

CHAPITRE 1 :
GÉNÉRALITÉS SUR
LES PESTICIDES

I. Définition

Le terme pesticide dérive du préfixe "*Pest*", mot anglais désignant tout organisme vivant (virus, bactéries, champignons, herbes, vers, mollusques, insectes, rongeurs) susceptible d'être nuisible à l'homme et/ou à son environnement, et de suffixe "*cide*" qui est aussi un terme anglais qui signifie tuer. Les pesticides dans la traduction étymologique se définie autant que des "tueurs de fléaux", sont des molécules dont les propriétés toxiques permettent de lutter contre les organismes nuisibles (Khan, 2016).

Selon la FAO, 1996 (Food and Agriculture Organisation : Organisation des nations unis pour l'alimentation et l'agriculture) les pesticides sont toute substance ou association de substances qui est destinée à repousser, détruire ou combattre les ravageurs, y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales, les espèces indésirables de plantes ou d'animaux causant des dommages ou se montrant autrement nuisibles durant la production, la transformation, le stockage, le transport ou la commercialisation des denrées alimentaires, des produits agricoles, du bois et des produits ligneux, des aliments pour animaux, ou qui peut être administrée aux animaux pour combattre les insectes, les arachnides et autres endo ou ectoparasites. Le terme comprend les substances destinées à être utilisées comme régulateurs de croissance des plantes, comme défoliants, comme agent de dessiccation, comme agent d'éclaircissage des fruits ou pour empêcher la chute prématurée des fruits, ainsi que les substances appliquées sur les cultures, soit avant, soit après la récolte, pour protéger les produits contre la détérioration durant l'entreposage et le transport.

1. Composition des pesticides :

Un pesticide comprend une ou des substances actives (matières actives) et des matières additives. Les substances actives ne sont pas utilisées telles qu'elles mais elles sont formulées. Selon (Fournier et al., 2002), la formulation des pesticides vise à assurer une efficacité optimale à la substance active et à en faciliter l'application pour l'agriculture. Le produit commercial est donc un mélange de plusieurs composants il contient la substance active associée à divers formulant :

- Les diluants (solvants, charges).
- Les additifs (matière colorante ou odorante).

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

- Les adjuvants (produits destinés à améliorer la performance de la substance active) qui peuvent eux-mêmes présenter une certaine toxicité pour la plante traitée et l'utilisateur (Fournier et al., 2002).

2. Les propriétés d'un pesticide idéal :

- ❖ Il devrait être disponible sur le marché sous une formulation différente.
- ❖ Il doit être toxique et tuer le ravageur qui doit être contrôlé.
- ❖ Il ne doit pas être phyto-toxique pour les cultures sur lesquelles il est utilisé.
- ❖ Il ne doit pas être toxique pour les espèces non ciblées comme les animaux.
- ❖ Il devrait être moins nocif pour les êtres humains (Hemingway et al., 2009).

II. Classification :

Les pesticides peuvent être classés selon leur composition chimique, leur cible, leur structure ou leur mode d'emploi (Kearney et Kaufman, 1988).

1. La composition chimique :

1.1. Pesticides organiques :

Ce sont des composés qui contiennent de carbone pur, ils sont subdivisés en trois groupes principaux qui sont intitulés, les pesticides naturels (d'origine animale et végétale), de synthèse (développés au laboratoire et produisent en usine) et les micro-organismes (Cottineau, 2010 ; Charrette, 2018).

- Pesticides d'origine animale : Néréistoxines isolés des anneaux marins, savon colophane d'huile de poisson, etc.
- Pesticides d'origine végétale ou pesticides botaniques : Nicotinoïdes, pyréthrinoïdes, rétinoloïdes etc.
- Pesticides organiques synthétiques : organochlorés, organophosphorés, carbamates, etc.
- Huiles d'hydrocarbures etc.

1.2. Pesticides inorganiques :

Ce sont parmi les premiers produits chimiques utilisés pour combattre les fléaux, composés de carbone uniquement sous forme de carbonate ou de cyanure (Cottineau, 2010 ; Charrette, 2018), ils sont dérivés de composés d'origine minérale et du soufre élémentaire, ce qui rend leur dégradation très lente et difficile (Moukhtari, 2012). Ce groupe comprend les composés d'arséniate, fluor et du plomb comme insecticides.

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

2. La cible :

Face à la grande profusion des pesticides et selon les spécialités commerciales, les producteurs et les utilisateurs des pesticides les classent selon leur cible, les principales classes sont :

2.1. Les insecticides :

Ce sont principalement des matières organiques de synthèse. L'utilisation de certaines substances minérales ou molécules organiques d'origine naturelle existe toujours, mais d'une façon très marginale, c'est le cas de la roténone et des dérivés de la nicotine à titre d'exemple (Mazzafera et al., 2011).

Des molécules insecticides très efficaces ont été développées durant la deuxième moitié du XXe siècle. Il s'agit notamment des substances appartenant à la famille des organophosphorés (malathion, diméthoate), des carbamates (aldicarbe, carbofuran) et des pyréthrinoïdes. Voici des exemples d'insectes traités par les insecticides appropriés (Dhawan, 2008) (Figure 1- Figure 4) :



Figure 1 : Acariens des agrumes traités par le chlorpyrifos-éthyl.



Figure 2 : Puceron cendré du pommier traité par la cyperméthrine et l'acetamiprid.



Figure 3 : Mineuse de tomate traitée par lambda-cyhalothrine, l'abamectin.



Figure 4 : Cochenille du murier traitée par la bifenthrin, deltaméthrin.

2.2. Les fongicides :

Ces molécules ciblent les différents types de champignons afin de protéger les cultures, les stocks des récoltes ou même les semences. Le mildiou de la pomme de terre ou de la vigne, la rouille ou le charbon sont des maladies cryptogamiques contrôlées grâce à des fongicides tels que les carbamates (carbendazime, mancozèbe), les triazoles (bromuconazole, triconazole), les dérivés du benzène (chlorothalonil, quintozone) ou les dicarboximides (folpel, iprodione). Il est intéressant de signaler que le soufre et le cuivre demeurent d'excellents fongicides utilisés jusqu'à nos jours (Calvet *et al.*, 2005), voici ci-dessous des exemples de moisissures et leur fongicides appropriés (figure 5-figure 8) :

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides



Figure 5 : a : Mildiou, b : Anthracnose, c : Oïdium traités par le soufre et ses dérivés (la bouillie bordelaise).



Figure 6 : Tavelure du pommier traité par le triazole.



Figure 7 : Pourriture grise traitée par le benzène.



Figure 8 : Taches noires du rosier traitées par le triazole.

2.3. Les herbicides :

Ils sont utilisés pour lutter contre les adventices des cultures ou « mauvaises herbes ». Ces dernières rentrent en compétition avec les plantes sur la lumière, l'eau, l'espace et les ressources nutritives. Lorsqu'elles sont mêlées aux récoltes, les mauvaises herbes peuvent également être toxiques pour le bétail (renoncules, colchiques et ciguë dans les fourrages secs), donner du goût au lait (achillée, millefeuille) voire rendre l'ensilage dangereux (DeSilva, 2009).

Après la deuxième guerre mondiale, les herbicides ont connu un très grand développement. La deuxième moitié du XXe siècle a ainsi connu l'utilisation de nombreuses nouvelles molécules qui étaient trouvées et proposées à l'agriculture. Entre 1950 et 2000 sont apparues les triazines, les urées substituées, les carbamates, les toluidines, les aminophosphonates et les sulfonilurées. Voici quelques exemples de mauvaises herbes traitées par les herbicides appropriés (Siddiqui, 2007) (figure 9 – figure 10) :



Figure 9 : Chiendent traité par le glyphosate, cyhalofop-butyl.



Figure 10 : Adventices traitées par le diclofop-méthyl, l'acide sulfurique.

3. Structure chimique :

Il s'agit d'un classement technique à partir de la molécule principale utilisée. On distingue

3.1. Les organochlorés :

Sont considérés comme tout composé organique auquel on a substitué un ou plusieurs atomes d'hydrogène par des atomes de chlore, dont le fameux DDT déjà évoqué. Ils sont surtout utilisés comme insecticides en agriculture, Ils étaient couramment utilisés auparavant, mais maintenant de nombreux pays l'ont retirés de leur marché en raison de leurs effets sur la santé et l'environnement et de leur persistance (par exemple, le DDT, le chlordane et le toxaphène). Leur structure chimique est représentée dans la figure ci-dessous (Gordon, 2001) (figure 11) :

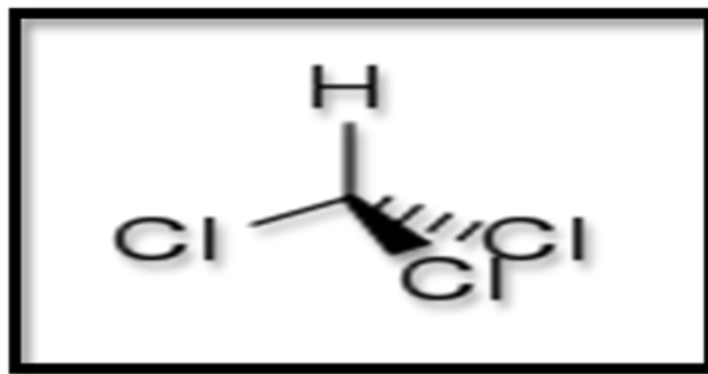


Figure 11 : Structure de noyau de base des organochlorés.

3.2. Les organophosphorés :

Les organophosphorés (également connus sous le nom d'esters de phosphate ou OPE) sont une classe de composés organophosphorés de structure générale $O = P(OR)_3$ (voir figure 12). Ils peuvent être considérés comme des esters d'acide phosphorique. Comme la

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

plupart des groupes fonctionnels, les organophosphorés se présentent sous une large gamme de formes, avec des exemples importants comprenant des biomolécules clés telles que l'ADN, l'ARN et l'ATP (Gribble, 2000).

Les (OP) sont une classe d'insecticides, dont plusieurs sont hautement toxiques. Jusqu'au 21^e siècle, ils figuraient parmi les insecticides disponibles les plus largement utilisés. Les organophosphorés sont utilisés dans l'agriculture, les maisons, les jardins et les pratiques vétérinaires ; cependant, au cours de la dernière décennie, plusieurs OP notables ont été abandonnés, y compris le parathion, et le chlorpyrifos, qui peuvent potentiellement causer une toxicité aiguë et subaiguë (Alzieu, 2002).

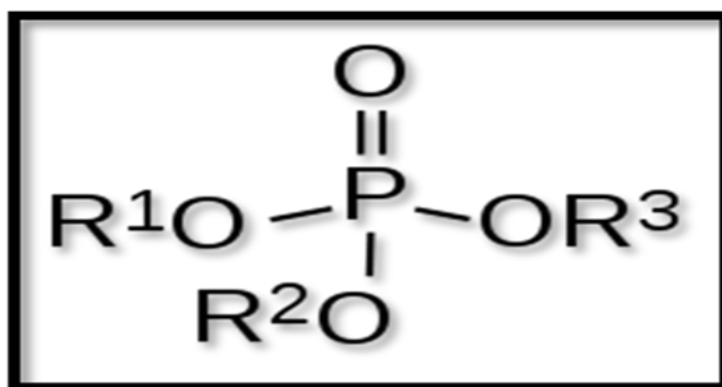


Figure 12 : Structure chimique de base des organophosphorés.

3.3. Les carbamates :

Les **carbamates** ou **uréthanes** sont une famille de composés organiques porteur d'une fonction R-HN-(C=O) O-R' (figure 13). Il s'agit en effet des esters substitués de l'acide carbamique ou d'un amide substitué. Ils sont similaires aux organophosphorés, ils diffèrent cependant par leur origine. Les organophosphorés sont des dérivés de l'acide phosphorique (H₃PO₄), tandis que les carbamates sont dérivés à partir d'acide carbamique (CH₃NO₂). Les Pesticides carbamates sont similaires aux pesticides organophosphorés en affectant la transmission des signaux nerveux entraînant la mort du ravageur par empoisonnement (Raymond, 1999).

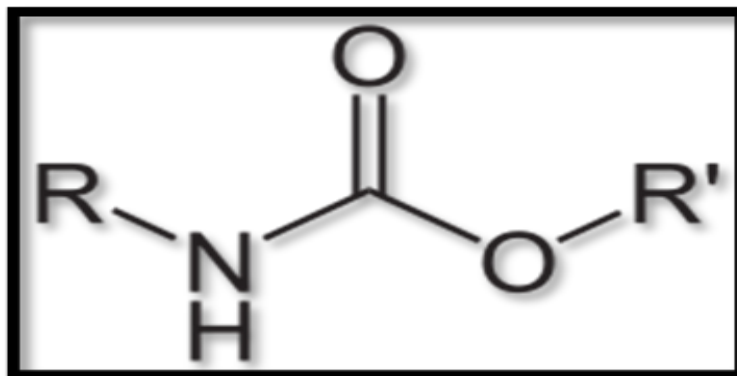


Figure 13 : Noyau de base des carbamates.

3.4. Les pyréthrinoïdes :

Ce sont des composés organochlorés, organofluorés ou organobromés, dont la structure générale est similaire aux pyréthrines, les radicaux carbonés étant remplacés par des composés halogénés (figure 14). Les pesticides pyréthrinoïdes synthétiques ont un pouvoir insecticide agissant par contact et ingestion sur une gamme très étendue d'insectes, sur toutes les cultures, traitées à des doses très faibles. Les pyréthrinoïdes ont représenté dans les années 1970 une alternative aux molécules plus anciennes (organochlorés, organophosphorés, carbamates, etc.), dont l'écotoxicité commençait à être dénoncée. Les pesticides pyréthrinoïdes comme les composés organochlorés sont aujourd'hui parmi les insecticides les plus utilisés (Jimenez, 2019). Les pesticides pyréthrinoïdes sont utilisés contre une grande variété d'insectes en agriculture (Cappello et al., 2016).

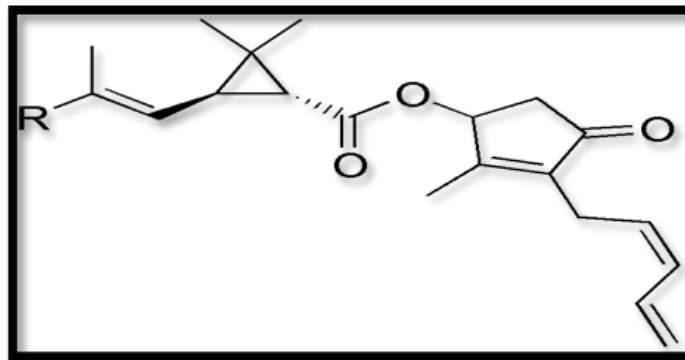


Figure 14 : Structure de base des pyréthrinoïdes de synthèse.

4. Mode de pénétration :

Systémique : Ce type de pesticides est introduit dans le sol pour qu'il soit absorbé par les racines des plantes. Une fois que l'insecticide pénètre dans les racines, il se déplace vers des zones externes telles que les feuilles, les fruits, les brindilles et les branches. Il forme une couche sur la surface de la plante et agit comme un poison pour tout insecte qui vient mâcher la plante (Goldowitz, 2013). Exemples de pesticides systémiques : Acétamypride, méthyl déméton, phosphamidon, acéphate.

Ingéré : Les pesticides appliqués sur les feuilles et autres parties des plantes, lorsqu'ils sont ingérés agissent sur le système digestif de l'insecte, par exemple : arséniate de calcium, arséniate de plomb (Agris, 2011).

Contact : Ces pesticides sont capables d'entrer dans le corps de l'insecte soit par les stigmates et la trachée, soit par la cuticule elle-même. Par conséquent, ces poisons peuvent tuer les insectes en entrant simplement en contact avec le corps des insectes. Exemple : DDT (Lefigaro, 2014).

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

Les fumigeant : La fumigation est une méthode de lutte antiparasitaire dans laquelle un gaz ou une vapeur de pesticide est libéré dans l'air ou injecté dans le sol pour tuer ou éliminer les ravageurs. Cette méthode de lutte antiparasitaire remplit l'espace aérien d'une structure avec un gaz toxique. Une bâche ou une tente est utilisée pour piéger le gaz à l'intérieur de la zone à traiter. Les fumigeant agricoles sont injectés dans le sol et se déplacent dans l'air du sol et se dissolvent dans l'eau du sol où ils tuent les ravageurs. Les pesticides fumigeant sont également utilisés sur les céréales et les cultures après la récolte pour réduire les insectes, les tiques, les acariens, les nématodes, les limaces, les escargots et les maladies fongiques (Sorensen, 2019).

5. Mode d'action :

5.1. Modes d'action des insecticides :

Ces pesticides agissent sur les fonctions vitales de l'insecte, tels que la transmission de l'influx nerveux et la respiration (Mokhtari, 2012).

5.1.1. Action sur le système nerveux :

La neurotoxicité de ces insecticides se manifeste par le blocage de la propagation de l'influx nerveux (sa transmission est maintenue par des différences de concentrations en ions Na^+ , K^+ et Cl^- , intra et extracellulaires) au niveau des neurones et des synapses (accumulation de l'acétylcholine dans l'espace inter-synaptique et provoque une hyperexcitation menant à la mort), tant qu'au niveau du système nerveux central que périphérique (figure 15) (Gherrabi et Merah, 2016). Parmi les pesticides responsables on a les pyréthrinoïdes de synthèse, dicofol, DDT, les organophosphorés et les carbamates (Siegwart, 2017).

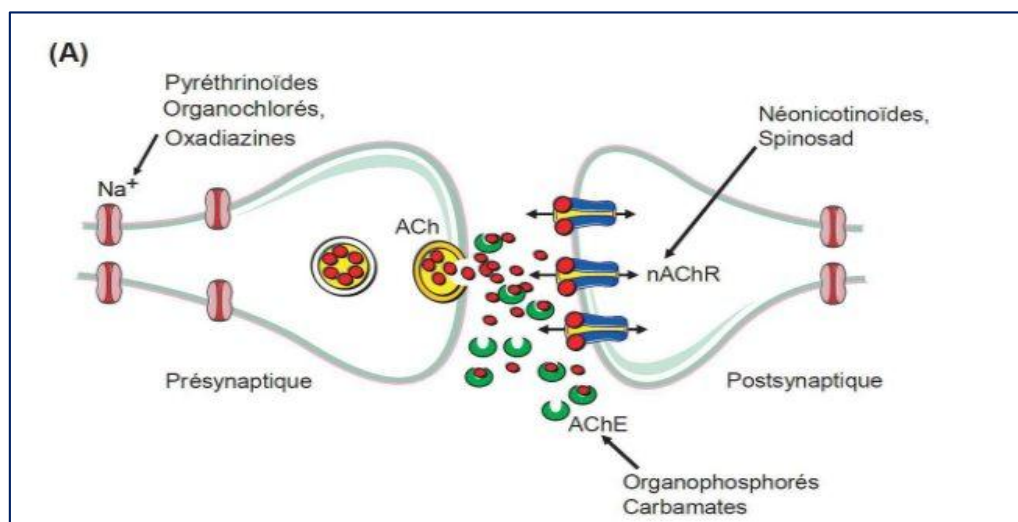


Figure 15 : Schéma explicite de l'action de certains insecticides au sein de système nerveux des insectes (Emaze, 2016).

5.1.2. Action sur le système respiratoire :

Ils agissent par inhibition du site I de la chaîne mitochondriale (familles quinazolines, pyridazinones, pyrazolcarboxamides, phénoxy-pyrazoles) ou le complexe cytochrome bc₁ (hydraméthylon), ainsi que l'inhibition de la phosphorylation oxydative (dérivés stanniques) cité au sein de la figure suivante (figure 16) (Siegwart, 2017).

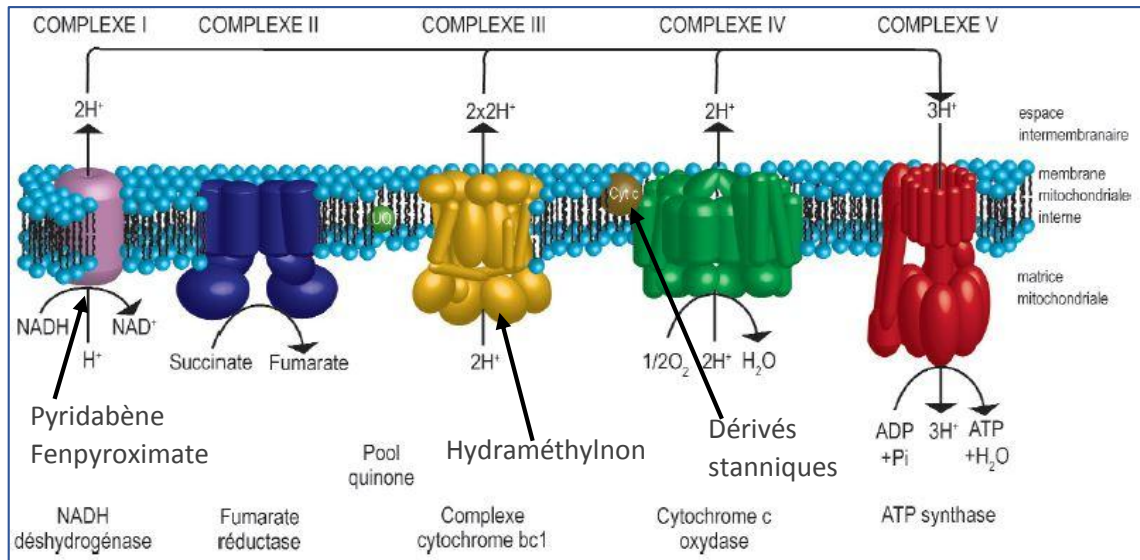


Figure 16 : Sites d'action de certains insecticides au sein de la chaîne respiratoire mitochondriale (Le Ruyet, 2017).

5.1.3. Action sur les régulateurs de la croissance des insectes :

On distingue des perturbateurs de la mue qui possède une structure analogue à celle des hormones juvéniles (fénoxycarbe et pyriproxifène) et agissent en perturbant la physiologie de reproduction de l'insecte, le développement embryonnaire et sa méta-morphose. Ainsi que des inhibiteurs de la chitine qui bloquent la production de chitine, qui est un élément constitutif majeur de l'exosquelette des insectes (benzoyl-urées) (Siegwart, 2017).

5.2. Modes d'action des herbicides :

Ils agissent sur les adventices en concurrence avec une culture donnée en inhibant les mécanismes ou les métabolites de survie des mauvaises herbes (Mokhtari, 2012).

5.2.1. Perturbation de la photosynthèse :

Blocage de transfert d'électrons au niveau du PSII, dont la conséquence est l'arrêt de synthèse de composés sucrés, ainsi que des réactions de photo-oxydation et de la production de formes réactives de l'oxygène, amenant à la mort des cellules (phénylcarbammates, phényl-pyridazines, triazines, uraciles, urées substituées) (Hugh, 2000).

5.2.2. Perméabilisation de la membrane :

Les membranes végétales, cellulaires et aussi mitochondriales sont perforées et perdent leurs ions H^+ par l'action des phénols nitrés ou desoxynils. La synthèse d'ATP n'est donc plus possible, le pH de la cellule ne pouvant plus être régulé, la cellule meurt rapidement (Hugh, 2000).

5.2.3. Inhibition de la synthèse des lipides et des acides aminés :

Ils agissent par inhibition de l'acétylcoenzyme A carboxylase (aryloxyphénoxypropionates, cyclohexane-diones) qui intervient dans les étapes initiales de la synthèse des acides gras.

Il existe plusieurs mécanismes pour empêcher la synthèse des acides aminés des plantes on distingue parmi eux les inhibiteurs de la glutamine synthétase (famille des acides phosphoniques), inhibiteurs de la synthèse des acides aminés aromatiques (glyphosate) et les inhibiteurs de l'acétolactate synthase (sulfonylurées, triazolopyrimidines), (figure 17) (Hugh, 2000).

On distingue d'autres modes d'action des herbicides tel que :

- ✓ L'inhibition de la synthèse de cellulose.
- ✓ Inhibition de la synthèse des pigments.
- ✓ Perturbation de la division cellulaire.
- ✓ Perturbation de la régulation de l'auxine et l'inhibition de son transport.
- ✓ Inhibition de la 7,8-dihydroproterocate synthase (Hugh, 2000).

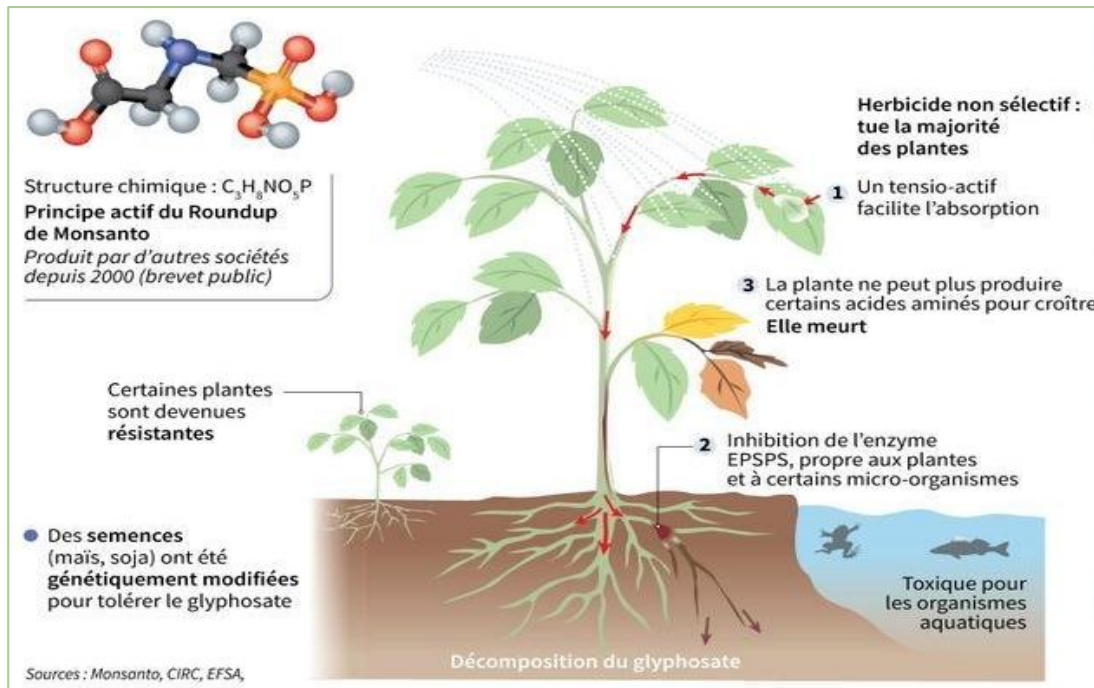


Figure 17 : Différents modes d'action de glyphosate (herbicide) sur les plantes. (Martinez et al., 2019)

5.3. Mode d'action des fongicides :

Contrôle les champignons en affectant leur respiration et/ou leur division cellulaire, ainsi que la biosynthèse des entités nécessaires à leur continuités (Mokhtari, 2012).

5.3.1. Action sur le processus respiratoire :

Ils agissent sur différentes étapes du catabolisme oxydatif des molécules organiques (glucides, lipides) et ils affectent en particulier la chaîne respiratoire mitochondriale. Ces molécules sont aussi capables d'inhiber la germination des spores des champignons, de bloquer l'élongation du filament mycélien, et aussi d'immobiliser les zoospores des oomycètes (Bonnemain, 2002).

Cependant ils existent au sein de cette catégorie des fongicides qui peuvent être minéraux ou de synthèse, et d'autres qui sont uni-sites qui agissent que sur une seule cible (inhibiteurs du complexe II mitochondrial, inhibiteurs du complexe III mitochondrial, perturbation de la biodisponibilité de l'ATP) (Bonnemain, 2002).

5.3.2. Action sur la biosynthèse :

Ils bloquent la formation de toutes les molécules du mycélium en commençant par les acides nucléiques jusqu'à la paroi (inhibiteurs de la biosynthèse des glucides, ADN, ARN, acides aminés, membrane et la paroi) (figure 18) (Bonnemain, 2002).

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

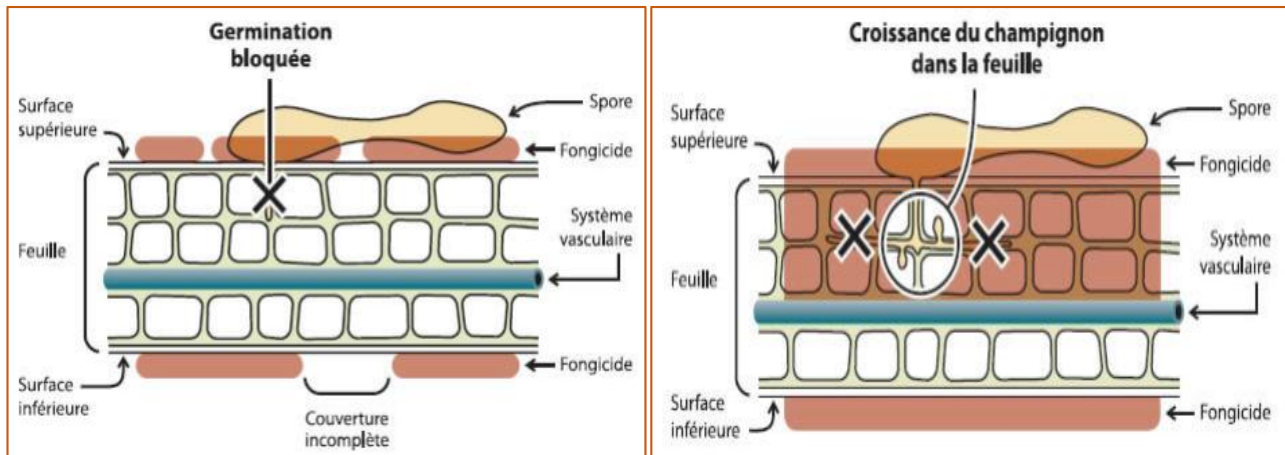


Figure 18 : Mécanisme d'action des fongicides sur la germination et la croissance des champignons (Berrah, 2011).

5.3.3. Action sur les microtubules :

Les substances interférant avec la formation et le fonctionnement des microtubules entraînent un arrêt de l'élongation des hyphes et induisent d'importantes déformations, parmi eux l'empêchement de la polymérisation de l' α avec la β tubuline (familles des benzamides, phénylcarbamates et benzimidazoles) (Bonnemain, 2002).

III. Utilisation des pesticides :

1. Dans le monde :

Le marché mondial des pesticides devrait passer d'environ 75 milliards de dollars en 2017 à 90 milliards de dollars d'ici 2023. La croissance du marché est prévue en raison de la réduction des superficies cultivées, ce qui entraînera une augmentation de la productivité par acre et une demande croissante des produits alimentaires nutritifs, globalement. L'attention croissante portée à l'éradication des pertes de la production agricole et à l'amélioration des qualités nutritionnelles du produit devrait en outre favoriser la croissance du marché dans les années à venir (Bharmal, 2020).

2. En Algérie :

La fabrication des pesticides en Algérie est assurée par des sociétés autonomes de gestion des pesticides (Asmidal, Moubydal, Alphyt). Tandis qu'avec l'économie de marché actuelle, plusieurs entreprises se sont spécialisées dans l'importation des produits phytosanitaires, ce qui a provoqué l'augmentation de la disponibilité des pesticides. En effet, environ 400 produits phytosanitaires sont homologués en Algérie, dont une quarantaine de substances sont utilisées largement par les agriculteurs. Cette élévation énorme des fournisseurs de ces composés à

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

accélérer l'usage des pesticides en se multipliant dans de nombreux domaines et en quantités ascendantes (Bouziani, 2007).

C'est le milieu agricole qui occupe la tête de l'application des pesticides, car l'utilisation se mesure par des centaines de tonnes chaque année, qui sont consacrés en majorité pour le traitement des cultures, la lutte contre les rongeurs et pour augmenter la production agricole (Bouziani, 2007). La figure ci-dessous représente l'utilisation annuelle des pesticides (figure 19) :

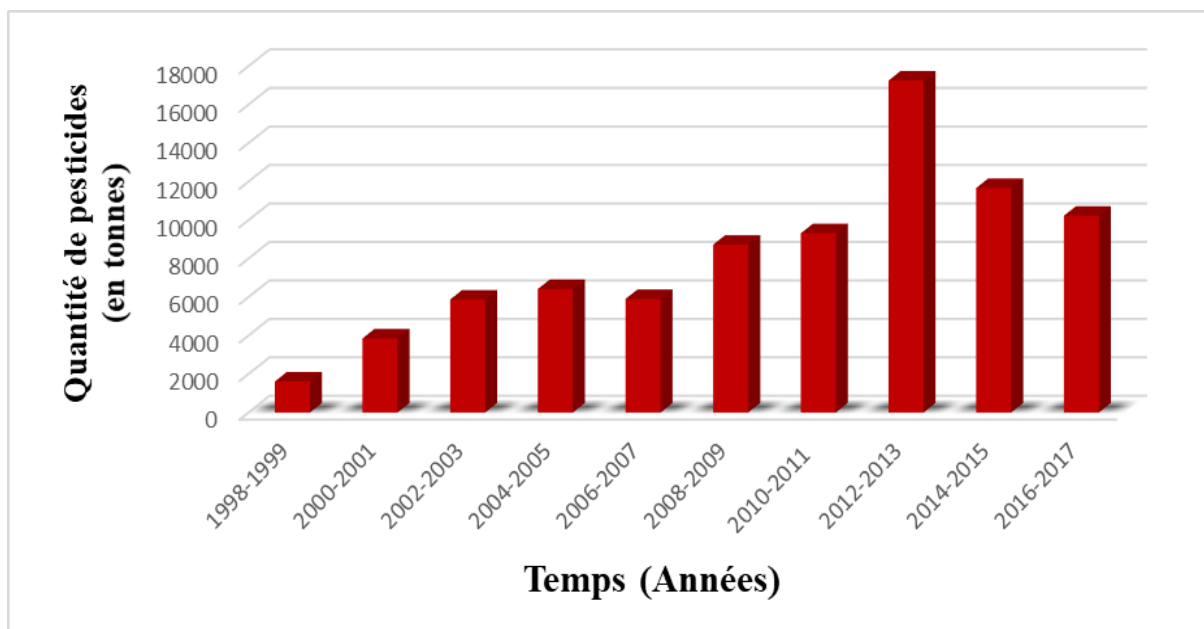


Figure 19 : Utilisation annuelle des pesticides en Algérie entre 1998 et 2017 (FAO, 2020).

IV. La toxicité des pesticides :

L'apparition des pesticides sur le marché dans les années 40 a contribué à la protection des cultures et récoltes des bio-agresseurs (champignons, insectes et mauvaises herbes), ainsi que l'augmentation de rendement agricole (Werf et Hayo, 1997 ; Louchahi, 2015), cependant vingt ans plus tard (en 1962) les premières preuves de la nocivité des pesticides sont publiées par Rachel Carson dans son livre « *Silent Spring* » (Bernardes et al., 2015). Par la suite diverses études sont suivies, confirmant la présence de nombreux risques associés à ces substances phytosanitaires à l'égard de la composition biotique et abiotique des compartiments environnementaux, qui se manifeste par des pollutions et des maladies (Louchahi, 2015).

1. Définition de la toxicité :

C'est la mesure de la capacité d'une substance chimique, organique ou minérale (xénobiotique) à pénétrer dans un compartiment environnemental ou un organisme vivant, ce

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

qui cause l'apparition d'effets nocives sur l'environnement et la diversité biologique, ainsi que des dangers sur la santé humaine (Laurin, 2007).

Elle est subdivisée en deux classes principales :

1.1. Toxicité aiguë :

C'est une toxicité qui se manifeste en générale immédiatement ou peu de temps (quelques minutes, heures, jours) après une exposition unique et massive ou de courte durée a un pesticide (Moukhtari, 2012).

La mesure de sa valeur au laboratoire s'effectue par la détermination sur l'animal de la **DL50** (dose létale 50) ou la **CL50** (concentration létale 50) (c'est l'indicateur quantitatif de la toxicité qui évalue la dose de produit administré en une seule fois entraînant la mort de 50% de la population animale testée) (Batsh, 2011).

1.2. Génotoxicité :

C'est le résultat qui survient suite à l'absorption répétée de faibles doses de pesticides, dont les effets néfastes ou les symptômes ne se manifestent que quelques mois à plusieurs années plus tard (Mokhtari, 2012 ; Belmehel, 2019). Les pathologies peuvent apparaitre durant l'exposition ou après sa cessation, ou être le résultat d'une exposition conjuguée à plusieurs produits toxiques, parfois difficile à déceler, ainsi que la substance toxique peut avoir un mécanisme d'action complexe et indirect (Belmehel, 2019).

2. Voies de pénétration des pesticides :

Le manque de la sélectivité des pesticides envers leurs cibles est à l'origine de l'accumulation de leurs résidus, ces derniers peuvent pénétrer dans l'environnement et les êtres vivants selon différentes manière (Hayo et Werf, 1997 ; Kaur, 2019).

2.1. Dans l'environnement :

Selon la solubilité, les pesticides pénètrent dans les écosystèmes naturels par deux moyens différents (Isra, 2016) :

Les pesticides solubles dans l'eau : se dissolvent et pénètrent dans le sol ou se dispersent (Isra, 2016) par (Figure 20) :

- Volatilisation : C'est la principale cause de transport et de dépôt aérien des pesticides sur terre, les fuites sont maximales après une application sur un sol ou sur les feuillages

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

humides, qui peut atteindre la perte de 80 à 90% du produit en quelques jours d'applications (Isra, 2016 ; Hayo et Werf, 1997).

- Ruissellement : Correspond au mouvement d'eau et des matières dissoutes à la surface de sol, cet écoulement peut entraîner des proportions annuelles de 1 à 5% de pesticides dessous ou en suspension au rivières, ruisseaux et lacs (Hayo et Werf, 1997).
- Lixiviation : c'est le transfert d'eau et des substances dissoutes à des profondeurs plus importantes, ce qui peut causer la pollution des eaux souterraines, où son importance dépend des propriétés de sol ainsi que la vitesse d'infiltration et l'épaisseur de la zone non saturée ; ainsi que celles des pesticides (persistance, 10 ans pour le DDT) (Hayo et Werf, 1997).

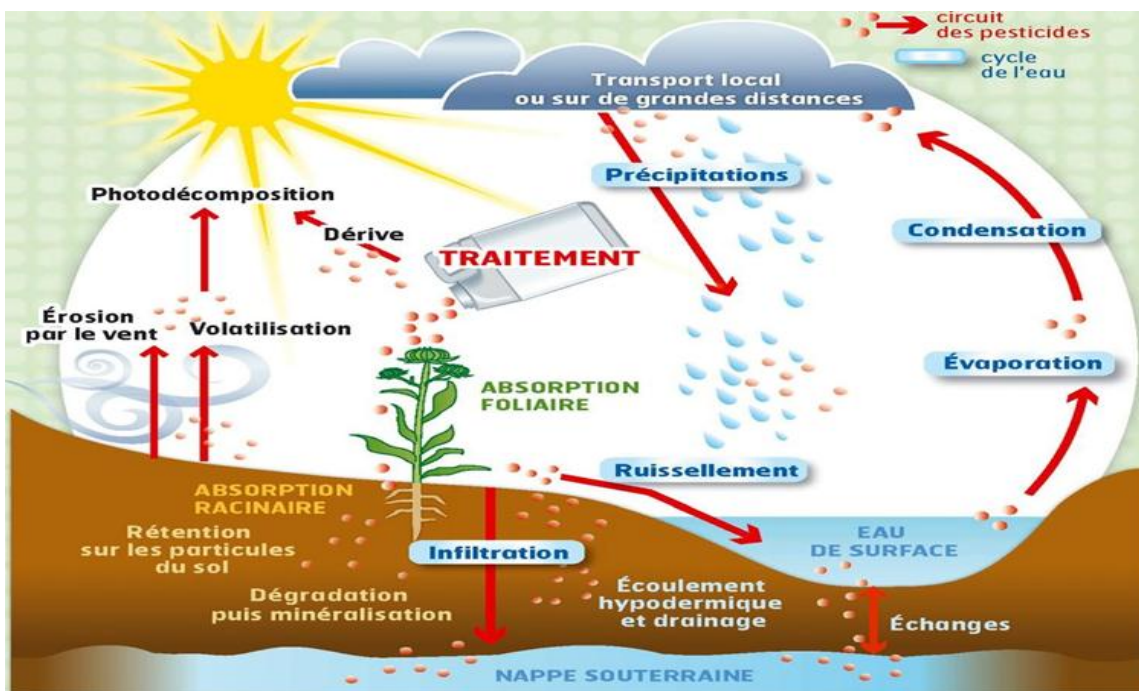


Figure 20 : Mécanismes de dispersion des pesticides dans l'atmosphère, le sol et l'eau (Laoubi, 2012).

Les pesticides liposolubles pénètrent dans les écosystèmes par les trois moyens précédents, et dans les corps des animaux par un processus appelé :

- La bioamplification : Qui est l'absorption des pesticides dans les tissus adipeux des animaux d'où la persistance de ces matières actives dans les chaînes alimentaires pendant de longues périodes (figure 21), ce qui affectent directement les prédateurs (Isra, 2016).

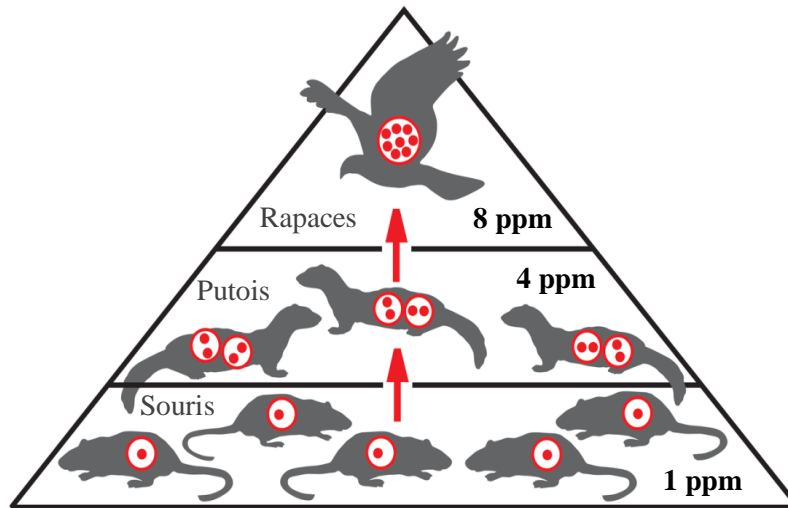


Figure 21 : Processus de bioamplification des pesticides liposolubles (Ursula Bauer, 2020).

2.2. Chez les humains :

L'empoisonnement ou l'intoxication de l'organisme humain par les pesticides peut s'effectuer par exposition cutanée (contact), par inhalation (pulmonaire) ou par ingestion (digestive) (Bourgogne, 2009) (figure 22).

2.2.1. Exposition cutanée :

C'est la pénétration des substances à travers la peau, accélérée par des formulations huileuses ou additionnées de solvants (Berrah, 2011). Cette modalité d'exposition est démontrée comme étant la voie majeure de passage des pesticides à l'organisme humain dans le milieu professionnel agricole (Baldi et al., 2013).

2.2.2. Exposition pulmonaire :

C'est l'absorption des composés toxiques par les poumons en passant par les muqueuses nasales et/ou buccales lors d'inhalation des poussières, substances en forme d'aérosol ou de gaz (Berrah, 2011 ; Charrette, 2018), cette voie est plus intense dans certaines conditions particulières telles que la fumigation (cigarettes), la préparation ou l'application dans des milieux fermés (serres, silos, bâtiments d'élevage) (Baldi et al., 2013). Ce mode de contamination est le plus redoutable parce qu'il cause des intoxications directes et plus rapides, puisque les substances sont acheminées rapidement au sang par l'intermédiaire de l'air pulmonaire (Charrette, 2018 ; Berrah, 2011).

2.2.3. Exposition digestive :

C'est l'absorption par la bouche de produits phytosanitaires, qui est liée au contact des mains, gants ou matériels souillés à la bouche après avoir manipulé des pesticides (sources direct), ou bien à l'ingestion des produits alimentaires (fruits, légumes, eau) contenant des résidus de pesticides (sources indirect), (Charrette, 2018). Dans la

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

population générale, cette voie est souvent considérée comme étant la plus dangereuse, à cause de l'omniprésence et l'invisibilité des substances auquel la population est soumise (Baldi et al., 2013).

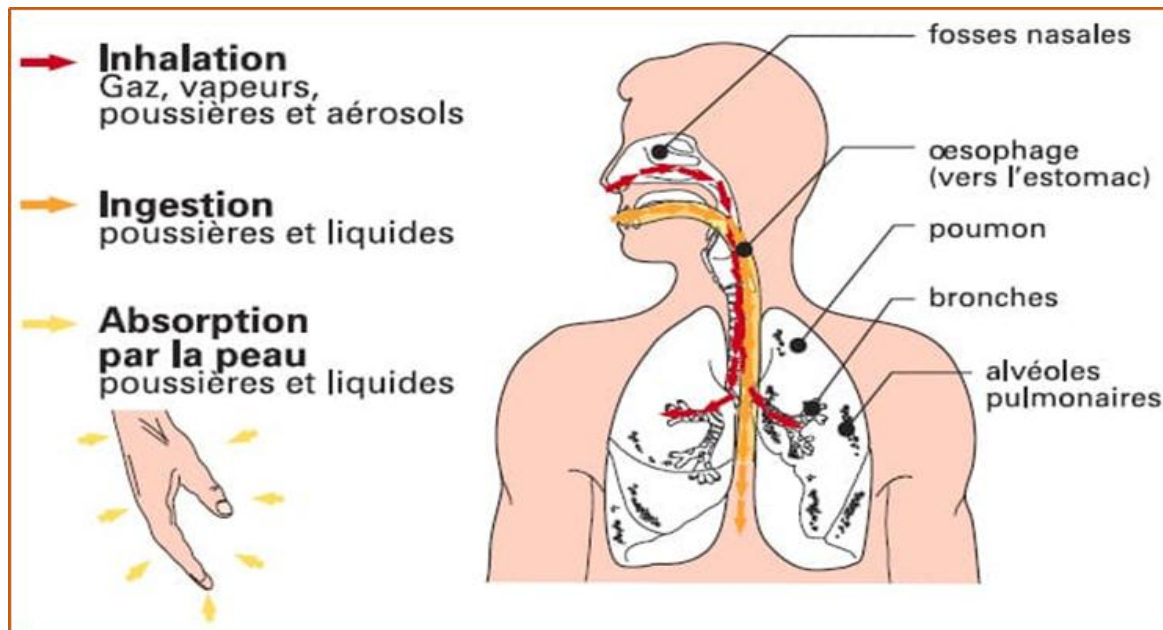


Figure 22 : Différentes modalités de contamination par les pesticides (Smira, 2015).

3. L'impact des pesticides sur l'environnement :

Les risques associés à l'utilisation incontrôlée des pesticides ne peuvent être négligés, car en plus de lutter contre les espèces cibles, elles visent directement ou indirectement la biodiversité animale et végétale en menaçant la survie de plusieurs espèces, ainsi que leurs capacités d'affecter les réseaux trophiques, les écosystèmes terrestres et aquatiques (Isra, 2016 ; Houyvet, 2019).

➤ Menaces des pesticides sur la biodiversité terrestre :

Malheureusement, tous les pesticides épandus sur les champs ne remplissent pas leurs tâches respectives, une grande partie d'entre eux entraînent des impacts nuisibles sur les plantes terrestres (tableau I) (Isra, 2016), qui se manifestent par :

- La réduction de la croissance des plantes, en perturbant la fixation d'azote (cas de rhizobium des légumineuses soja et luzerne).
- La perturbation de fonctionnement de la photosynthèse des plantes non-visées.

Les effets de ces composés phytopharmaceutiques pourraient en partie expliquer la mort inattendue de certaines cultures ainsi que les baisses de rendements des cultures de soja observées par certains chercheurs américains (Dumas, 2007).

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

Tableau I : Exemples des impacts de la toxicité aiguë de certains pesticides sur les plantes.

(Isra, 2016).

Nom chimique de pesticides	Familles des pesticides	Effets sur les plantes
Phénoxy	Herbicides	Nuire aux arbres et arbustes a proximités.
Glyphosate	Herbicides	Augmenté la sensibilité des plantes aux maladies. Réduire les semences de qualité.
Solfonyl-urées	Herbicides	Impact dévastateur sur la productivité des cultures non cibles. Détruit les communautés végétales naturelles et la faune.
Sulfamides		
Imidazolinones		

Les composés phytosanitaires n'ont même pas épargnés les populations d'insectes bénéfiques pour la pollinisation et ceux qui agissent comme ennemis des ravageurs, tels que les abeilles et les coléoptères. Cependant on constate que les populations d'insectes sont très réduites dans les fermes non biologiques, à cause de l'usage des insecticides à large spectre tels que l'imidaclopride (néonicotinoïdes), qui influence le comportement de recherche de nourriture chez les abeilles et la réduction de la capacité d'apprentissage, ce qui a conduit à la chute des populations d'abeilles de 29 à 36% chaque années depuis 2006 (Isra, 2016).

Les risques des pesticides ne s'arrêtent pas à ce niveau mais atteint aussi les oiseaux et les mammifères indirectement par le processus de bioaccumulation citée au-dessus. Alors parmi les conséquences de ces produits toxiques sur eux on énumère, les troubles de reproduction qui peut entraîner la ponte d'œufs à la coquille très mince (Hayo et Werf, 1997), changements de comportement chez les oiseaux à cause de l'atteinte de leurs système nerveux, ou bien causé leurs mort suite à cette accumulation (diminution des populations d'oiseaux de 20 à 25% depuis l'époque préagricole), ou le déclin de leur source de nourriture (vers de terre) par le traitement avec les fongicides (Isra, 2016).

La mort des mammifères attribuables aux pesticides est couramment la conséquence de l'ingestion d'une nourriture contaminée (bioamplification) (Imadi, 2016), ou d'autre part des études ont montrées que l'exposition péri et néo-natale des mammifères a ces produits chimiques comme l'aldrine, l'atrazine, le chlordane et la dieldrine pouvait perturber de diverses façons leurs différenciation sexuelle (Hayo et Werf, 1997).

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

Le principal problème de l'abus d'usage des pesticides est leurs lessivage (transport de substances phytosanitaires en direction des couches plus profondes de sol « nappes phréatiques ») dans le sol, ce qui affecte les micro-organismes (tableau II) qui résident dedans et qui aident l'absorption des nutriments par les plantes, dégradation de la matière organique et l'augmentation de la fertilité du sol (Isra, 2016).

Tableau II : Certains effets des pesticides sur les micro-organismes du sol (Isra, 2016).

Nom chimique des pesticides	Famille des pesticides	Dangers sur les micro-organismes de sol
Chlorothalonil	Fongicides	Perturbent le processus de nitrification et dénitrification qui est dépendants des bactéries.
Dinitrophényl		
Triclopyr	Herbicides	Inhibe les bactéries de sol impliquées dans la transformation de l'ammoniac en nitrite. Toxique pour certaines espèces de champignons mycorhiziens.
Glyphosate	Herbicides non sélectif	Réduit la croissance et l'activité des bactéries fixant l'azote dans le sol.
2,4-D	Herbicides	Inhibe la transformation de l'ammoniac en nitrate transportés par les bactéries de sol.
Trifluraline	Herbicides	Inhiber la croissance des symbiotiques champignons mycorhiziens qui contribuent à l'absorption de nutriments
Oryzoline		

4. L'impact des pesticides sur la santé humaine :

La dissémination et l'utilisation élargie des pesticides depuis plus d'un demi-siècle et leur persistance dans plusieurs organismes notamment chez les populations humaines, a provoqué des effets graves sur la santé, principalement pour les personnes fragiles tels que les nourrissons et les enfants (Kaur, 2019 ; Isra, 2016). Cependant la quantification avec exactitude de toutes les nuisances des composés phytosanitaires sur la santé est difficile, mais beaucoup de ces dommages sont déjà connus (Houyvet, 2019).

4.1. Conséquences de la toxicité aiguë :

Les effets immédiats de l'exposition aux pesticides parviennent généralement suite à une exposition cutanée et/ou pulmonaire et rarement par ingestion de ces substances (Isra, 2016), le délai d'apparition de ces impacts dépend aussi de la fonction de la toxicité intrinsèque, le produit utilisé et la susceptibilité de l'individu. Ce qui déclenche des symptômes ou des signes chez les personnes atteintes (Leonard, 2018).

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

Parmi ceux qui sont plus souvent diagnostiqués on site (Figure 23) :

- ✓ Irritation oculaire ou cutanée (réponses allergiques quelquefois).
- ✓ Maux de tête (céphalées).
- ✓ Troubles gastriques (nausées, vomissements).
- ✓ Etourdissement.
- ✓ Fatigue.
- ✓ Perte d'appétit (Leonard, 2018 ; Villard, 2017 ; Charrette, 2018).

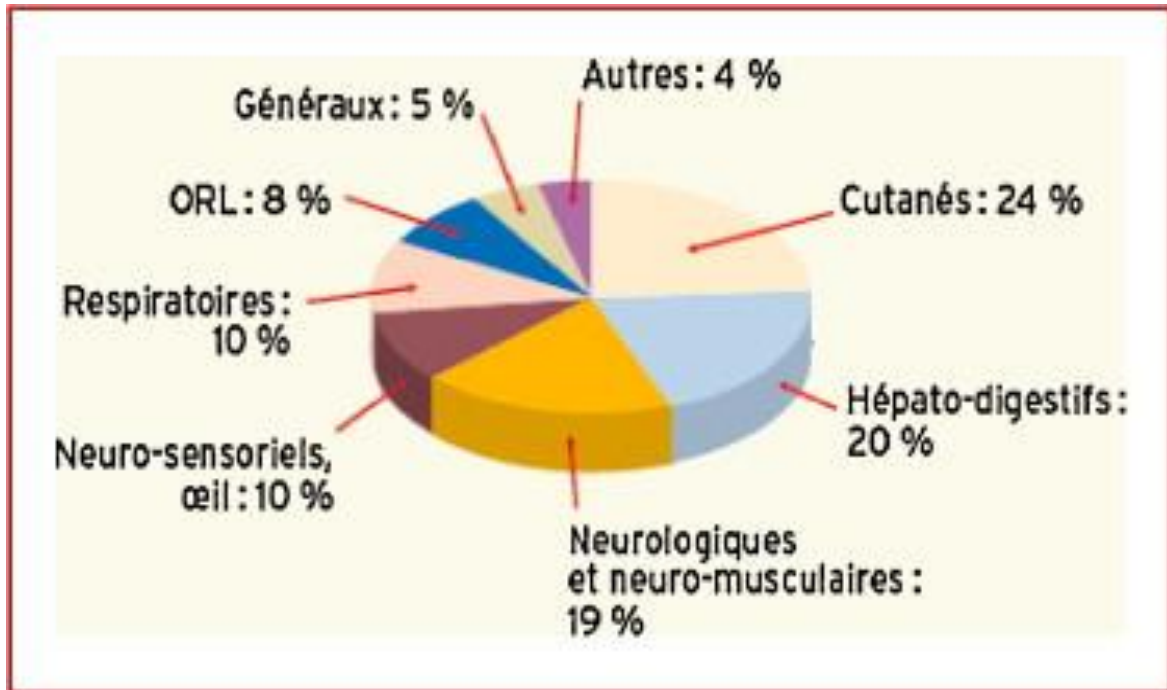


Figure 23 : Proportions des intoxications aiguës chez les populations humaines provoquées par les pesticides (Cherin et al., 2012).

Les principales connaissances sur les effets aigus des pesticides chez l'homme sont issues d'observations rapportées en milieu professionnel, les produits les plus souvent incriminés sont par ordre décroissant : les insecticides, les fongicides puis les herbicides (Pflieger, 2009). Certains pesticides appartenant à ces classes et leurs effets respectives sont cités au sein de tableau ci-dessous (tableau III) :

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

Tableau III : Intoxications aiguës provoquées par les pesticides sur les humains (Leonard, 2018 ; Favaro et al., 2019 ; Bernardes et al., 2015 ; Dufaune, 2012).

Pesticides	Famille de pesticide (cibles)	Exposition	Les intoxication provoqué
Organochlorés	Insecticides et fongicides	Peau, poumons et tractus gastro-intestinale	<ul style="list-style-type: none">• Toxicité cardiaque sévère
Organophosphorés	Insecticides	Peau, poumons conjonctive, tractus gastro-intestinale	<ul style="list-style-type: none">• Inhibition de l'action de l'acétylcholinestérase dans les cellules nerveuses• Toxicité cérébrale avec manifestations cholinergiques (responsable de vomissement, bronchospasme, fasciculation, détresse respiratoire)• Troubles de conduction pancréatique (complications rares)
Pyréthroïdes	Insecticides	Peau, poumons, gastro-intestinaux	<ul style="list-style-type: none">• Troubles digestifs (nausées, vomissements, gastralgies)• Conjonctivité, érythème de contact, gêne respiratoire et toux• Bronchospasme (sujets sensibles)

4.2. Conséquences de la génotoxicité :

La génotoxicité ou les actions chroniques des pesticides sont souvent mortelles et leur délai d'apparition est très long (dizaine d'années). En effet c'est difficile de faire le lien entre une exposition à ces produits toxiques et les symptômes observés, ainsi la mise en évidence des pathologies résultantes de l'usage de ces substances ne peut se faire qu'à posteriori, par le biais d'études épidémiologiques (Imadi, 2016 ; Batsh, 2011).

Les principales pathologies suspectées d'être dues à l'utilisation des pesticides sont :

➤ *Les cancers :*

Les cancers associés à l'emploi des pesticides constituent le risque sanitaire le plus emblématique et médiatisé, parce que des études expérimentales ou épidémiologiques ont montrées la présence des résidus de pesticides dans la circulation sanguine des patients cancéreux par rapport aux individus normaux (tableau IV) (Imadi, 2016). On estime que la proportion de la mortalité par le cancer attribué à des expositions

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

professionnelles aux pesticides représente 2 à 8% de la mortalité totale par le cancer (Batsh, 2011).

Tableau IV : exemples des cancers diagnostiqués en association avec l'usage des pesticides
(Batsh, 2011 ; Bouziani, 2007).

Cancers observées		Organes ou cellules ciblées	Pesticides responsables	
Hémopathie malignes	<i>Lymphomes malins non hodgkiniens (LMNH)</i>	Cellules lymphocytes B ou rarement T	Herbicides	Phénoxy 2,4-D Mécoprop Dicamba
			Insecticides	Carbamates Organophosphorés DDT ; Aldrin Lindane Tetrachlorine
			Fongicides	Fongicides amines Composés soufrés Captan
	<i>Maladie hodgkin (MH)</i>	Prolifération de cellules atypiques (celles de Sternberg)	Chlorophénoxy ; phénoxy 2,4-D ; 2,4,5-T ; dioxines Chlorophénols	
	<i>Leucémies</i>	Cellules de la moelle osseuse	Organophosphorés Crotoxyphos ; dichlorvos Famphur ; pyrethrines Methoxychlor	
	<i>Myélomes multiples (Maladie de Kahler)</i>	Prolifération maligne de plasmocytes	DDT	
Cancer de la peau		La peau	Arséniate de plomb Arséniate de sodium	
Cancer d'estomac		Estomac et colon	Les fumigants Atrazine	
Cancer de prostate		Prostate	Composés chlorés Methylbromide	
Cancer de cerveau (gliome)		Cerveau	Organochlorés	
Cancer de sein		Les seins	DDT et ces Métabolites	

CHAPITRE 2 :

ÉLIMINATION DES PESTICIDES

I. Introduction :

Le marché de la vente et de la consommation mondiale des pesticides ne cesse d'augmenter (Drogué et Lafrance, 2012). En 2011, le marché mondial des importations des pesticides représentait 300 milliards \$ US et celui des exportations 280 milliards \$ US (FAO, 2014).

L'utilisation abusive des pesticides peut être à l'origine du développement de formes de résistance chez les adventices (Délye et al., 2013 ; Devine, 1997 ; Powles et Matthews, 1992) et chez les insectes (Harris et al., 2010 ; Tirello et al., 2012). À la suite de cette utilisation abusive, le lessivage des terres agricoles entraîne les résidus des pesticides et leurs sous-produits de dégradation dans diverses matrices environnementales comme les eaux de surface (Ensminger et al., 2013), les eaux souterraines (Lamers et al., 2011) et les sédiments de rivières (Kuranchie et al., 2012).

Au regard des conséquences environnementales et sanitaires liées à l'utilisation des pesticides, la mise en œuvre de techniques efficaces de dépollution pour le traitement des eaux et autres matrices environnementales contaminées par les pesticides s'avère nécessaire.

II. Méthodes de traitement de pesticides :

1. Traitement physico-chimique (dégradation abiotique) :

La dégradation abiotique des pesticides est un phénomène bien connu. Elle est souvent liée à l'action de la lumière notamment les rayons ultra-violet (U.V) du soleil, à la température, au pH, à l'humidité du sol et de l'air, à la volatilité du pesticide, à certains ions et la structure du sol (Coulibaly et Smith, 1990).

1.1. La photo-décomposition :

Aussi bien dans l'air, à la surface du sol, dans l'eau ou sur la plante, les liaisons chimiques entre les atomes des pesticides peuvent être détruites par photo-dégradation par les rayons ultraviolets et les rayons X (Calvet et al., 2005). Les réactions photochimiques englobent différents types de réactions telles que des oxydations, des hydroxylations, des polymérisations, déchlorinations, etc. Ces réactions se produisent soit directement par l'excitation du pesticide, soit par l'intermédiaire d'un autre composé susceptible lui aussi d'être excité facilement (Schiavon et al., 1995).

1.2. La dégradation chimique :

Dégradation chimique ou abiotique se produit par des réactions incluant l'hydrolyse, l'oxydoréduction et l'ionisation (Beltran et al., 2001). Les réactions d'hydrolyse sont catalysées par la présence d'hydrogène ou d'ion hydroxyde, d'où un taux de réaction fortement dépendant du pH (Gavrilescu, 2005). Il existe plusieurs procédés qui sont généralement utilisés, par exemple : Procédé Fenton et électro-Fenton, Procédé d'électro-oxydation, l'ozonation, etc.

Cependant, ces méthodes physico-chimiques sont coûteuses et non respectueuses de l'environnement en raison de la libération de matières dangereuses en tant que sous-produits (Shaouhua, 2015). Récemment, la biodégradation est apparue comme une approche alternative intéressante pour contrôler les résidus de pesticides en raison de ses propriétés économiques et respectueuses de l'environnement (Jianuan, 2015).

2. Traitement biologique (dégradation biotique) :

La dégradation biotique des pesticides dans le sol et dans les eaux, est réalisée par la microflore présente dans ces milieux et consiste en des transformations chimiques dues à leurs systèmes enzymatiques. Les réactions de dégradation des pesticides peuvent se dérouler à l'intérieur et/ou à l'extérieur des microorganismes (Calvet et al., 2005).

III. Les critères de la biodégradation :

Pour une biodégradation réussie du pesticide dans le sol, les aspects suivants doivent être pris en considération (Guézennec, 2017).

- Les organismes doivent avoir l'activité catabolique nécessaire à la dégradation rapide du contaminant afin de réduire sa concentration.
- Le contaminant cible doit être bio disponible.
- Les conditions du sol doivent être co-géniques pour la croissance microbienne / végétale et l'activité enzymatique.
- Le coût de la biodégradation doit être inférieur à celui des autres technologies d'élimination des contaminants.

IV. Méthodes de traitement biologique des pesticides :

Pour une dégradation réussie d'un contaminant, les stratégies suivantes sont nécessaires :

- **Bioremédiation passive** : c'est la bioremédiation naturelle d'un contaminant par des microorganismes indigènes et la vitesse de dégradation est très lente.

Chapitre 2 : Élimination des pesticides

- **La bio-stimulation** : Pratique de l'ajout d'azote et de phosphore pour stimuler les microorganismes indigènes du sol.
- **Le bioventing** : Processus de biostimulation par lequel des gaz stimulants comme l'oxygène et le méthane sont ajoutés ou forcés dans le sol pour stimuler l'activité microbienne.
- **La Bio-augmentation** : C'est l'inoculation / introduction de microorganismes dans le sol contaminé pour faciliter la biodégradation.
- **La minéralisation** : Conversion complète d'un contaminant organique en ses constituants inorganiques par une espèce ou un groupe de microorganismes (Perèz et al., 2013).

V. Exemples de biodégradation de pesticides :

1. La cyperméthrine :

1.1. Généralités :

La cyperméthrine est une substance de synthèse employée comme produit insecticide : cette substance appartient à la famille des pyréthrinoïdes. De formule $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$ (figure 24), cet insecticide se présente sous la forme d'un liquide visqueux jaune-brun faiblement soluble dans l'eau : 0,009 mg.L-1 à 20°C et soluble dans la plupart des solvants organiques (Chen et al., 2011).

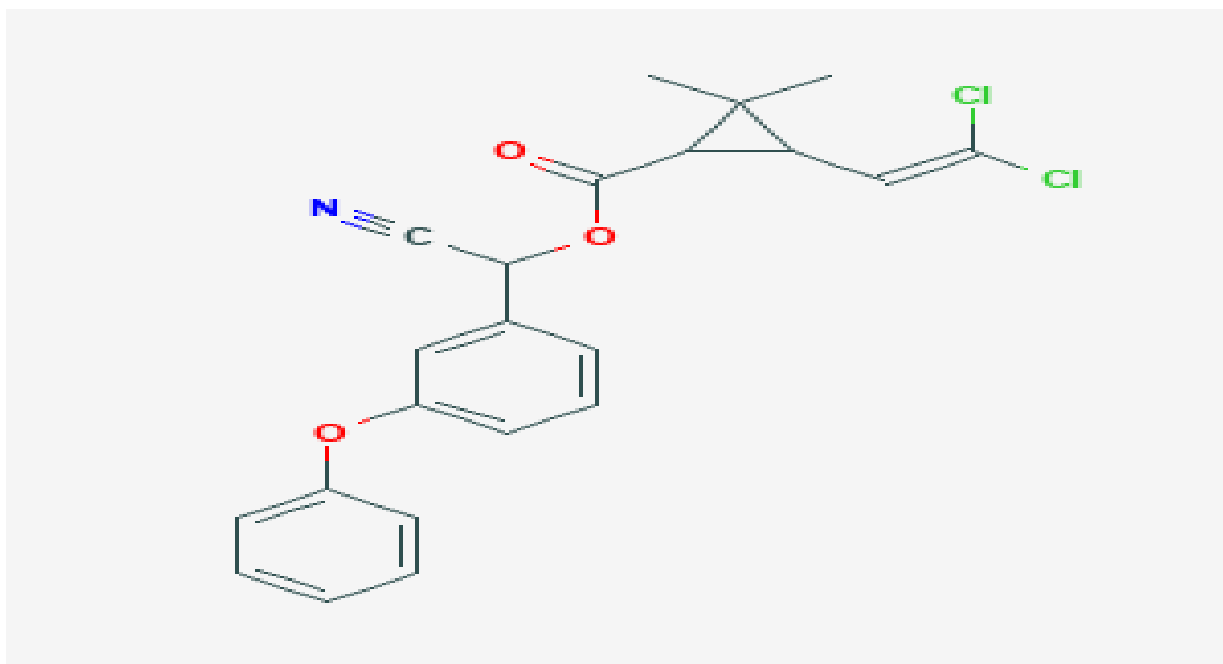


Figure 24 : structure chimique de la cyperméthrine.

Chapitre 2 : Élimination des pesticides

1.2. Utilisations

La Cyperméthrine est utilisée pour de nombreuses applications biocides, aussi bien sur insectes volants que sur insectes rampants, tant en aérosol qu'en solution à pulvériser. Agissant par contact et par ingestion, elle est efficace contre une grande variété d'insectes (mouches et autres diptères, moustiques, guêpes, frelons, blattes, poux, puces, perce-oreilles, fourmis, coléoptères, larves de lépidoptères, aphides, insectes xylophages etc.).

Selon l'index phytosanitaire ACTA 2019, l'utilisation de la cyperméthrine comme insecticide est destinée à une grande variété de cultures comprenant :

- Les grandes cultures : blé, seigle, triticale, céréales à paille, crucifères oléagineuses, épeautre, féveroles, maïs, pois ;
- Les cultures légumières : ail, échalote, oignon, bette, betterave potagère, choux, haricots, lentilles, maïs doux, navet, rutabaga, pois de conserve, pomme de terre, radis, tomate ;
- Les cultures fruitières : cognassier, nashi, poirier, néflier, pommette, pommier ;
- Les cultures ornementales : arbres et arbustes d'ornement, cultures florales, rosiers ;
- La viticulture

1.3. Élimination de la cyperméthrine

Ces dernières années, l'utilisation de la cyperméthrine a fortement augmentée dans le domaine agricole pour la protection des cultures (Negi et al., 2014).

En examinant les faits de toxicité et de persistance de ce pesticide, il est urgent de développer des stratégies pour éliminer la cyperméthrine et ses métabolites de l'environnement. La diversité microbienne est le principal facteur déterminant le devenir de nombreux composés xénobiotiques / récalcitrants dans un environnement contaminé. Le processus de biodégradation implique l'utilisation de micro-organismes vivants pour détoxifier ou dégrader les polluants en formes moins toxiques. Jusqu'à ce jour, plusieurs espèces bactériennes telles que *Pseudomonas aeruginosa* (Zhang et al., 2011), *Streptomyces sp.* (Lin et al., 2011), *Stenotrophomonas sp.* (Chen et al., 2011) et *Serratia marcescens* (Cycoń et al., 2014) ont été signalés comme capables de dégrader les pesticides pyréthrinoïdes.

Chapitre 2 : Élimination des pesticides

1.3.1. Exemple 1 : Biodégradation par la souche *Bacillus subtilis* (SG2) :

Dans l'étude rapportée par Pankaj en 2016, la souche *Bacillus subtilis* (SG2) capable de dégrader la cyperméthrine a été isolée à partir d'un sol contaminé par des pesticides dans l'Uttarakhand (Inde). Les produits de biodégradation de la cyperméthrine ont été analysés et la voie de biodégradation possible de la cyperméthrine par *Bacillus subtilis* (SG2) est proposée ci-dessous (figure 25) :

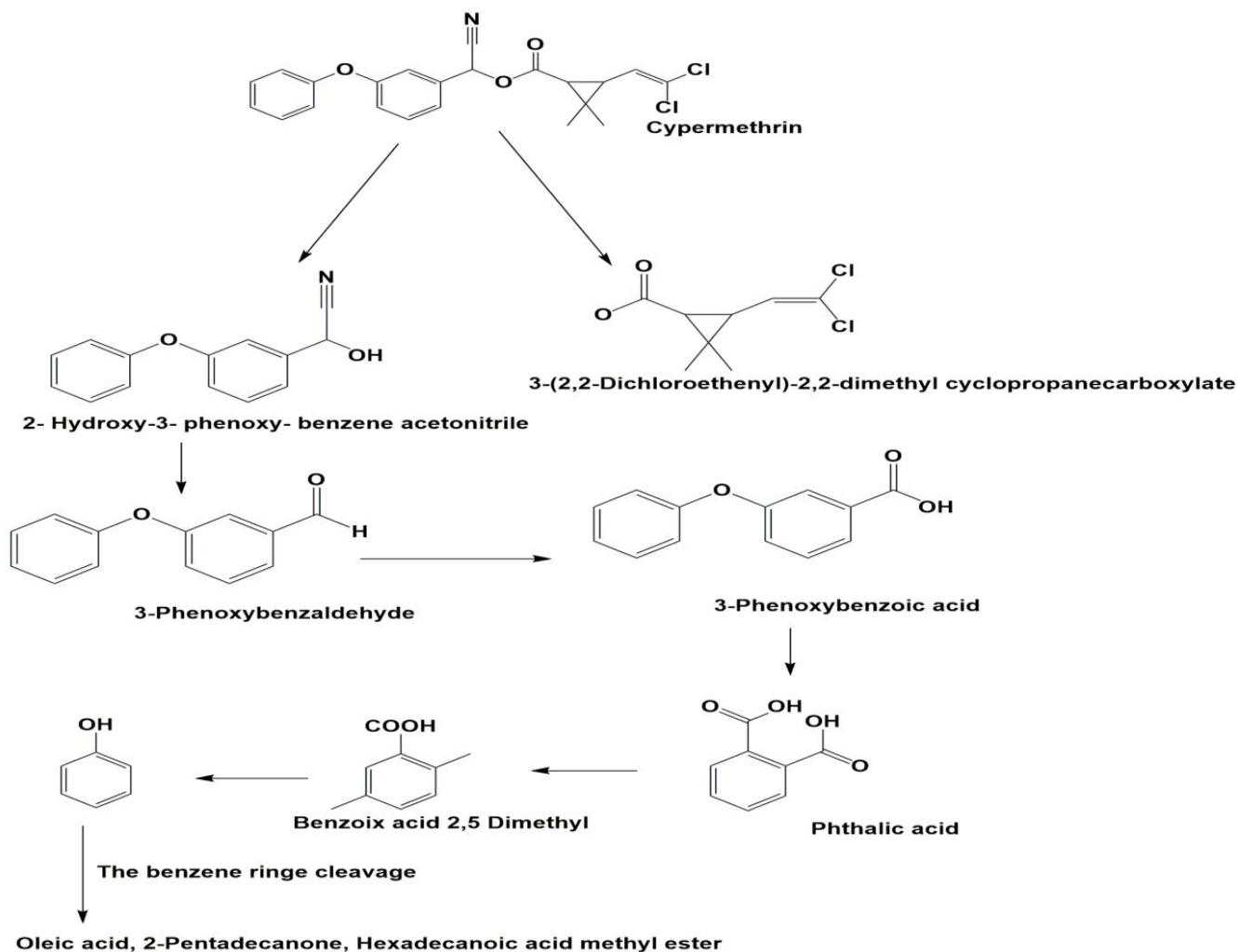


Figure 25 : Voie de biodégradation de la cyperméthrine (Pankaj, 2016).

Les résultats ont révélé que la cyperméthrine était initialement dégradée en deux métabolites :

- 3- (2,2-dichloroéthényl) -2,2-diméthylcyclopropanecarboxylate
- 2-hydroxy-2 (3-phénoxyphényl) acétonitrile.

Le 2-hydroxy-2 (3-phénoxyphényl) acétonitrile a ensuite été converti en 3-phénoxybenzaldéhyde, qui est considéré comme un marqueur intermédiaire métabolique de la

Chapitre 2 : Élimination des pesticides

cyperméthrine et de la dégradation des pyréthriinoïdes. Des études antérieures ont rapportées que cette étape est catalysée par l'**oxynitrilase**.

Le composé intermédiaire 3-PBAld peut être converti en acide 3-phénoxybenzoïque en utilisant l'enzyme **aldéhyde déshydrogénase**. L'acide 3-phénoxybenzoïque peut être transformé en acide phtalique, qui peut en outre être converti en acide benzoïque 2,5-diméthyle en utilisant l'enzyme de la famille des **transférases**. Cet acide benzoïque 2,5-diméthyle est ensuite converti en acide oléique.

1.3.2. Exemple 2 : Biodégradation par la souche *Serratia marcescens* 1D :

Dans une autre étude menée par Saurabh (2018), des échantillons de sol contaminé par des pesticides ont été collectés dans les champs agricoles d'Udham Singh Nagar, New Delhi, (Inde). La souche *Serratia marcescens* 1D isolée dans cette étude a presque complètement métabolisé la cyperméthrine en 15 jours dans des conditions de laboratoire.

Sur la base des produits intermédiaires rapportés après 15 jours d'incubation de la souche bactérienne avec la cyperméthrine, une nouvelle voie a été proposée pour la biodégradation de la cyperméthrine (figuabusivep

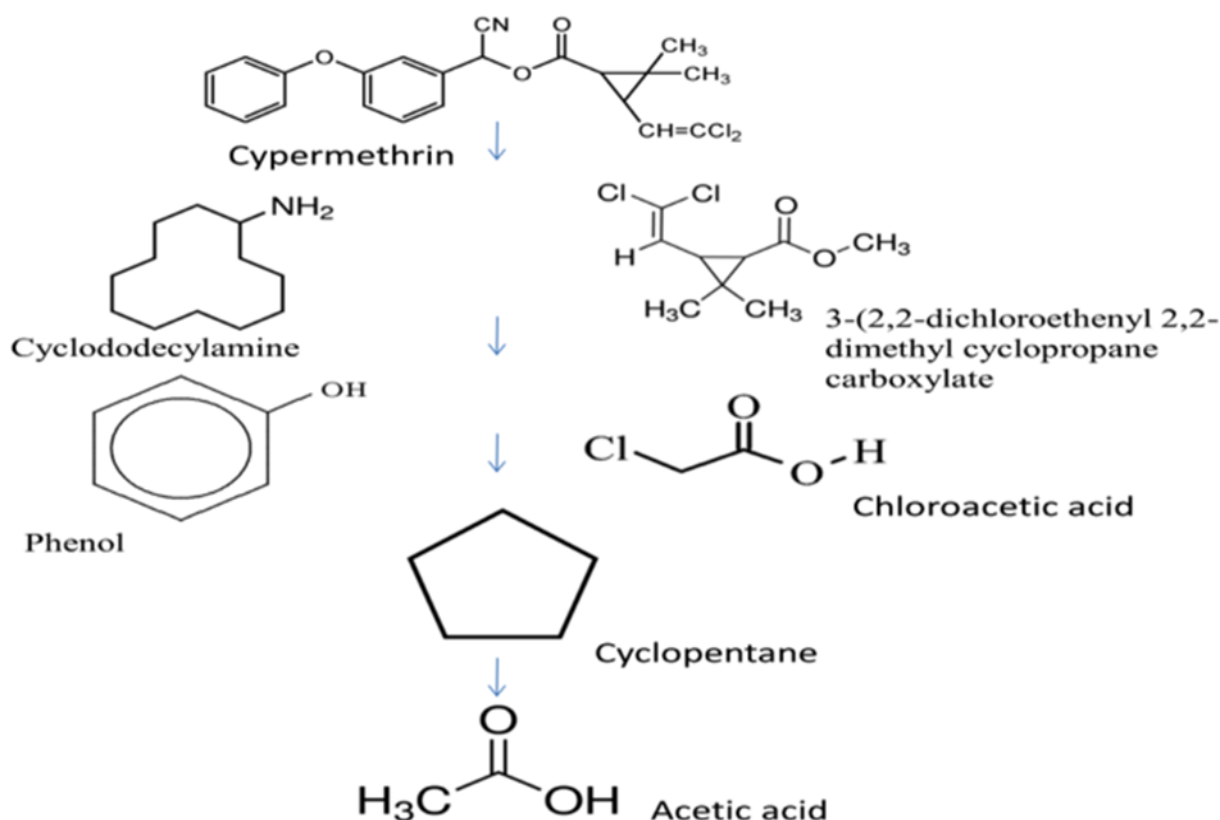


Figure 26 : Voie de dégradation de la cyperméthrine utilisée par la souche *Serratia marcescens* 1D (Saurabh, 2018).

Chapitre 2 : Élimination des pesticides

L'hydrolyse de la liaison ester de la cyperméthrine a donné du :

- 3- (2, 2-dichloroéthényle) -2,2-diméthyl-cyclopropanecarboxylate
- La cyclododécylamine.

La cyclododécylamine instable dans l'environnement est oxydée pour former du phénol.

D'autre part, l'hydrolyse du 3-(2,2-dichloroéthényle) -2,2-diméthyl-cyclopropanecarboxylate à former l'acide chloroacétique.

Par la suite, le phénol réagit avec l'eau et forme le cyclopentane qui est un composé instable et se transforme en composés aliphatiques comme l'acide acétique et l'acide décanoïque.

1.3.3. Exemple 3 : Biodégradation par la souche *Micrococcus sp. CPN1* :

Une bactérie capable d'utiliser la cyperméthrine, comme seule source de carbone (substrat de croissance), a été isolée à partir d'un sol contaminé en Karnataka, Dharwad (Inde) est identifiée comme *Micrococcus sp souche CPN1*. Cette étude est rapportée par Harichandra, 2008. L'organisme a dégradé la cyperméthrine par hydrolyse de la liaison ester pour donner du :

- 3-phénoxybenzoate, conduisant à la perte de son activité insecticide.
- Le 3-phénoxybenzoate a ensuite été métabolisé par clivage par le diphényléther pour produire du protocatéchuate et du phénol.

1.3.4. Exemple 4 : Biodégradation par *Rhodobacter sphaeroides S 10-1* :

La recherche suivante est proposée par LB Yin (2013), son but était d'identifier une souche microbienne potentielle capable d'utiliser la cyperméthrine provenant d'un sol contaminé. Dans cette étude, un échantillon de boues activées a été collecté dans la piscine de traitement des eaux usées d'une usine de pesticides située à Changsha (Hunan, Chine), qui produisait de la cyperméthrine depuis 5 ans.

La cyperméthrine était dégradée par la souche *Rhodobacter sphaeroides S 10-1* dans des températures d'incubation allant de 10 °C à 40 °C. Ces résidus ont été détectés après 7 jours de traitement.

Les métabolites de cette dégradation par la souche *Rhodobacter sphaeroides S 10-1* sont 4 :

- Le Cyclopropanéméthanol
- L'acide 5-méthoxy-2-nitrobenzoïque
- Le 3,5-diméthoxybenzamide

Chapitre 2 : Élimination des pesticides

- L'acide 5-aminoisophtalique

1.3.5. Exemple 5 : biodégradation par la souche *Eurotium cristatum* ET1 :

Les microbes jouent un rôle important dans la dégradation des contaminants xénobiotiques (produits phytosanitaires) (Cao et al., 2009). Cependant, les champignons offrent une application potentielle bien meilleure en biorestauration en raison de leurs systèmes oxydases.

La dégradation du cyperméthrine et du 3-PBA par les mycètes des fleurs n'a pas encore été signalée, et la plupart de ces souches signalées ont été isolées dans des sols contaminés par des pesticides ou des eaux usées.

Dans la présente étude rapportée par Kaidi Hu (2018), Plusieurs échantillons de champignons de fleurs dorées ont été isolés du thé fu brick collectés dans différentes usines de thé situées dans la province du Hunan, en Chine, par lequel la biodégradation de la cyperméthrine et du 3-PBA a été évaluée, ce qui s'est avéré que la souche *Eurotium cristatum* ET1 avait la plus grande capacité.

L'hydrolyse de la cyperméthrine à donner de l'alcool **α -cyano-3-phénoxybenzylique**, qui était très instable et se réarrangeait spontanément en **3-phénoxybenzaldéhyde** suivi d'une déshydrogénation en **3-PBA**.

- Le **3-PBA** est directement dégradé en **acide protocatéchuique** et phénol en raison de l'action de **la dioxygénase**.
- Le composé parent est hydroxylé pour produire de l'acide 3-hydroxy-5-phénoxy benzoïque suivi d'un métabolisme supplémentaire par clivage diphényléther pour donner de l'acide gallique et du phénol.

2. La lambda-cyhalothrine :

2.1. Généralités :

La lambda-cyhalothrine est une substance active insecticide de la famille des pyréthriinoïdes. C'est un dérivé fluoré de la pyréthrine . Sa formule chimique est : $C_{23}H_{19}ClF_3NO_3$ (figure 27).

C'est un solide incolore à beige, il est peu soluble dans l'eau et soluble dans la majorité des solvants organiques comme : l'acétone, le dichlorométhane, l'acétate d'éthyle, le toluène et le méthanol. Il a une certaine action répulsive sur les insectes (Ghumro et al., 2017).

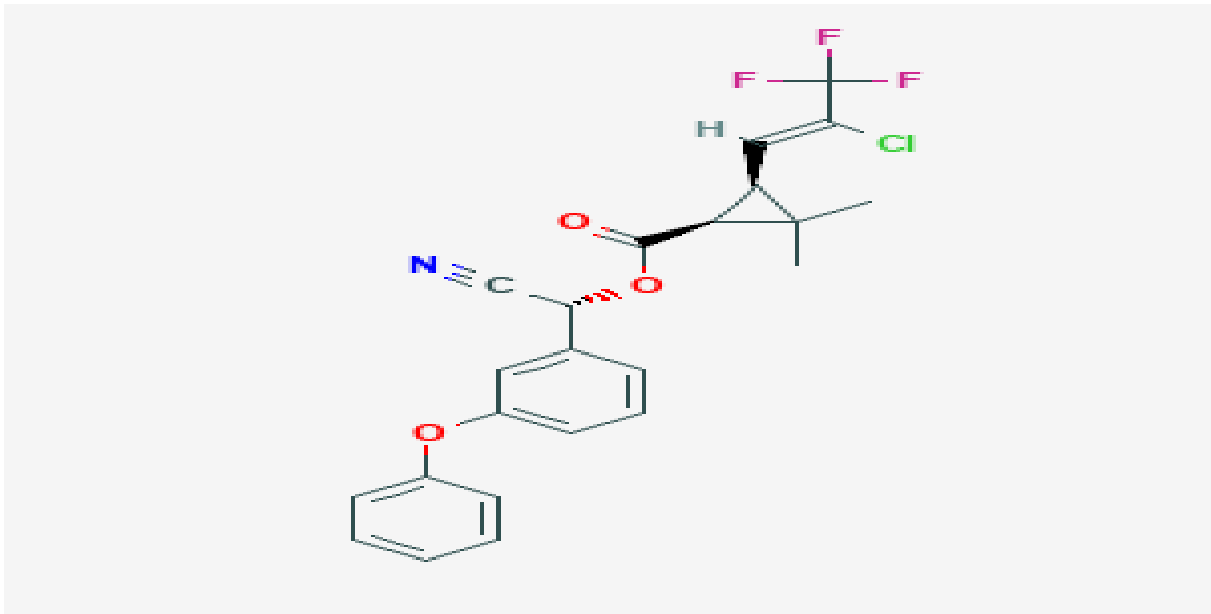


Figure 27 : structure chimique de Lambda-Cyhalothrine.

2.2. Utilisation :

L'utilisation de la lambda-cyhalothrine en agriculture est largement abondante (Bouchard, 2015). Il s'agit d'une molécule à large spectre contre les insectes ravageurs des cultures (Fetoui, 2009). Citons par exemples : Les pucerons, la cécidomyie des fleurs, les altises, le doryphore, le charançon de la tige, la phalène, les noctuelles, le bruche, la tordeuse, la chenille bourrue, la petite mineuse, le lyda, la drosophile, le balanin, les noctuelles désolatrice, etc.

Selon l'index phytosanitaire ACTA 2019, l'utilisation de la lambda-cyhalothrine comme insecticide est destinée à une grande variété de cultures, Voici quelques exemples :

- Grandes cultures : betteraves, céréales, crucifères oléagineuses, maïs, luzerne, pomme de terre, sorgho, vigne, etc.
- Arbres fruitiers : abricotier, agrumes, amandiers, figuier, cerisier, cassissier, noyer, olivier, pommier, etc.
- Cultures légumières : ail, asperge, aubergine, carotte, choux, courge, épinard, fenouil, radis, poivron, etc.

2.3. Traitement de la lambda-cyhalothrine :

2.3.1. Exemple 1 : Biodégradation par la souche *Bacillus thuringiensis* ZS-19 :

La cyhalothrine est un polluant environnemental courant qui présente des risques accrus pour les organismes non cibles, y compris les êtres humains. Une souche bactérienne hautement

Chapitre 2 : Élimination des pesticides

efficace dégradant la cyhalothrine, appelée ZS-19, a été isolée à partir d'un échantillon de boue activée prélevé dans une zone contaminée aux pyréthriinoïdes (Grande plaine du Nord de la Chine) en utilisant une technique de culture d'enrichissement (Shaohua Chen, 2015). La bactérie a transformé la cyhalothrine par clivage à la fois de la liaison ester et de la liaison diaryle pour donner six produits intermédiaires. De plus, une nouvelle voie de dégradation de la cyhalothrine dans la souche ZS-19 a été proposée sur la base des métabolites identifiées (figure 28). En plus de la dégradation de la cyhalothrine, cette souche s'est avérée capable de dégrader l'acide 3-phénoxybenzoïque, un métabolite commun des pyréthriinoïdes.

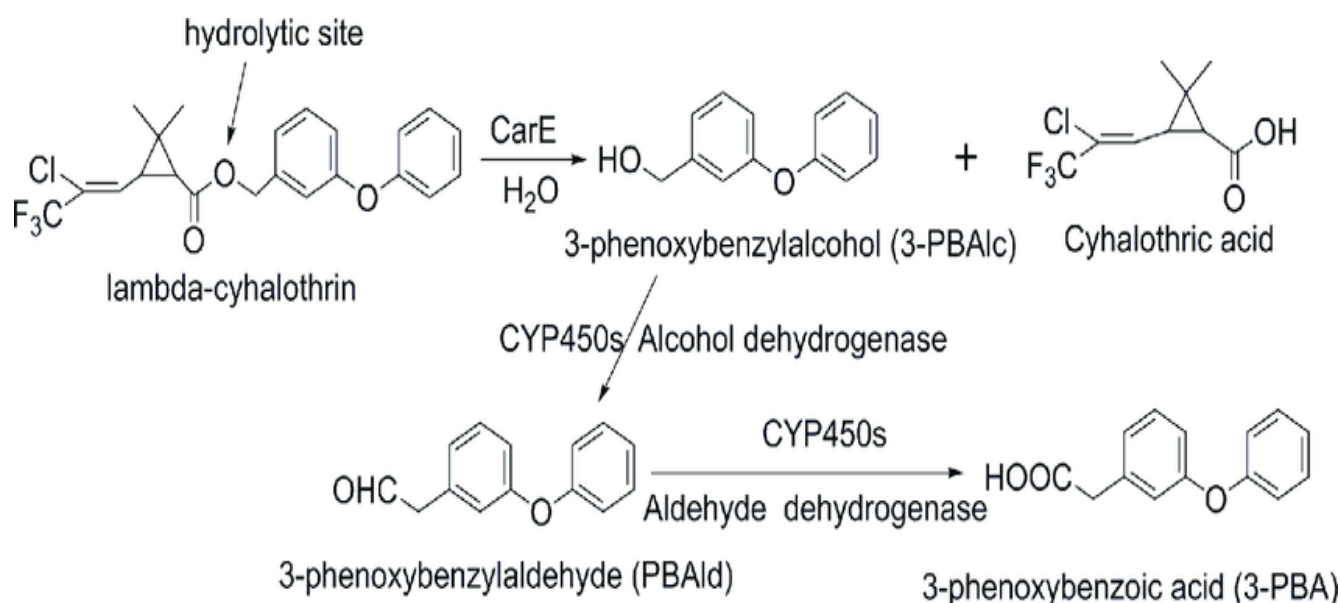


Figure 28 : Voie de la biodégradation de Lambda-Cyhalothrine (Shaohua, 2015).

Il convient de mentionner que la souche ZS-19 a utilisé la cyhalothrine comme source de carbone et d'azote et a complètement dégradé le pesticide en 72 h. Une autre caractéristique importante de cette bactérie particulière est qu'elle dégrade rapidement la cyhalothrine jusqu'à une concentration de $800 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ sans phase de latence.

La cyhalothrine était initialement dégradée par hydrolyse, entraînant le clivage de la liaison ester et forment l'acide cyhalothrique et le 3-phénoxybenzyl alcool (3-PBAIc). Ensuite, le (3-PBAIc) a subi une transformation par clivage de la liaison diaryle en 3-phénoxybenzaldéhyde (3-PBAId) grâce à l'enzyme **Alcool déshydrogénase**, suivie de la dégradation de ce composé par l'enzyme **Aldéhyde déshydrogénase** en 3-phénoxybenzoïque (3-PBA). Finalement, le (3-PBA) est transformé en 3-phénoxybenzoate et phénol.

Chapitre 2 : Élimination des pesticides

2.3.2. Exemple 2 : Biodégradation par le champignon *Aspergillus* sp. CBMAI 1829 :

Plusieurs études sur la biodégradation des pyréthriinoïdes par des bactéries ont été décrites dans la littérature (Wang et al., 2011 , Chen et al., 2012, Birolli et al., 2016, Meira et al., 2016), alors que d'autres ont été réalisées avec des champignons, comme *Trichoderma viride* (Saikia et Gopal, 2004). Dans une étude rapportée par Alvarenga (2017), on s'est intéressé à la biodégradation du pesticide lambda-cyhalothrine par des champignons d'origine marine qui ont été collectés à partir d'éponges. Une voie de biodégradation a été proposée pour le pesticide étudié par la souche *Aspergillus* sp. CBMAI 1829 (figure 29) :

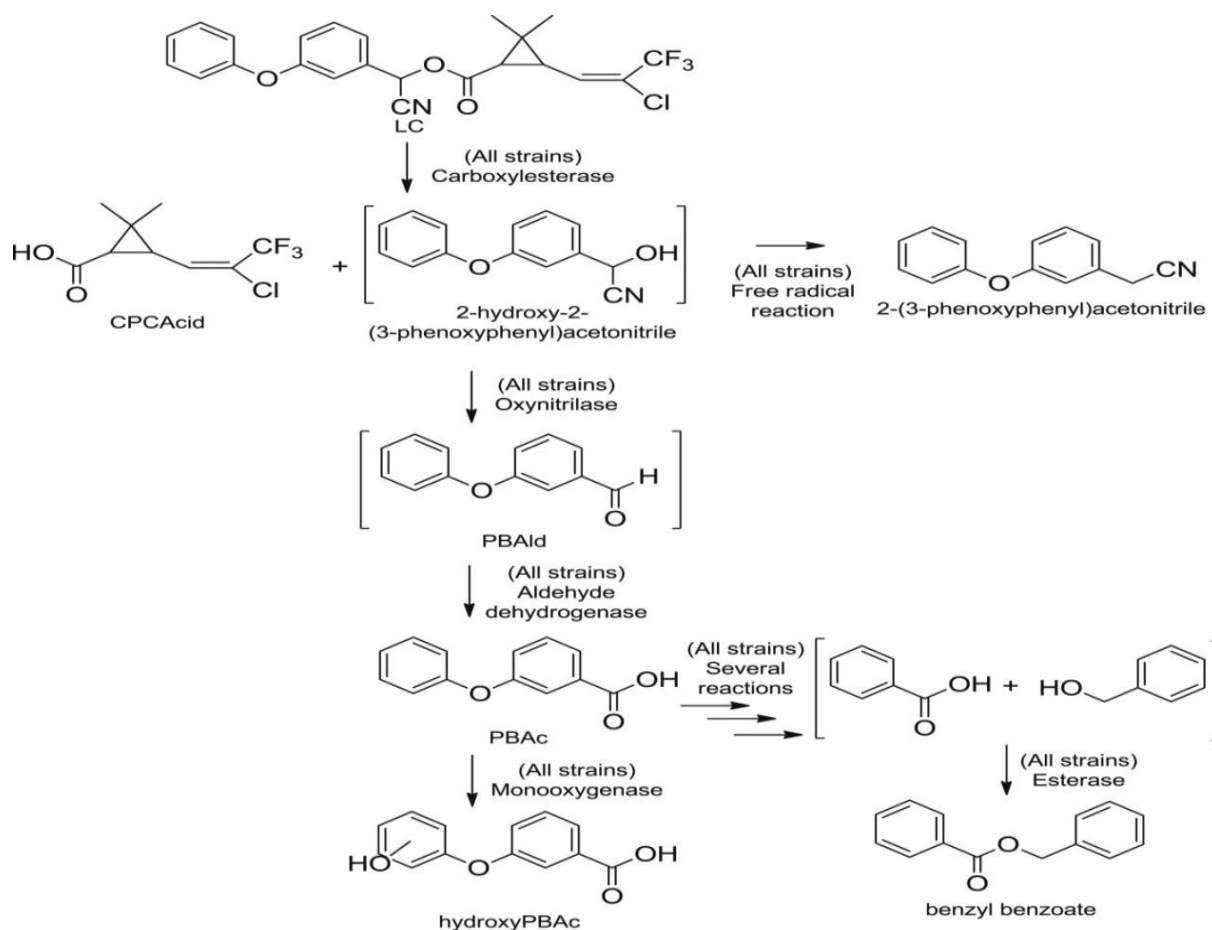


Figure 29 : Voie de biodégradation du lambda-cyhalothrine par *Aspergillus* sp. CBMAI 1829 (Alvarenga, 2017).

La lambda-cyhalothrine a probablement été hydrolysé par une **carboxylestérase** produisant du :

- 2-hydroxy-2- (3-phénoxyphényl) acétonitrile et du CPC Acid.

Le 2-hydroxy-2- (3-phénoxyphényl) acétonitrile peut ensuite être converti en PBAld par une **oxynitrilase**, enzyme qui transforme les cyanohydrines en aldéhydes (Birolli et al., 2016). Le métabolite PBAld est oxydé par une **aldéhyde-déshydrogénase** produisant une PBAc. Ce

Chapitre 2 : Élimination des pesticides

dernier est bio-transformé en hydroxy-PBAc, probablement par une **mono-oxygénase** (Wang et al., 2011). Le métabolite hydroxy-PBAc est finalement transformé en benzoate du benzyle.

2.3.3. Exemple 3 : Dégradation par la souche *Raoultella ornithinolytica*-ZK4 :

La lambda-cyhalothrine qui a une forte activité insecticide et une large gamme d'applications, a soulevé des préoccupations concernant la toxicité et l'accumulation.

Cependant, selon une étude faite par Zhang et al., (2019), la dépollution microbienne de la lambda-cyhalothrine peut être assurée par une souche bactérienne appelé *Raoultella ornithinolytica* ZK4 qui est isolée des sédiments du sol dans un canal de décharge d'une usine de pesticides abandonnée dans la ville de Kaifeng, Henan Province.

La souche ZK4 utilise la lambda-cyhalothrine comme source de carbone en produisant une enzyme intracytosolique, cette dernière fonctionne dans un pH optimal de 6,5 et une température de 37 °C, le taux de dégradation qu'elle atteint dans ces conditions est 55% au sein de trois jours d'incubation.

2.3.4. Exemple 4 : Dégradation par la souche *Pseudomonas fluorescens* GMMC1 :

Dans l'étude rapportée par Manigandan et al., (2019), le but est d'évaluer la capacité des bactéries à dégrader la lambda-cyhalothrine d'une rizière (sol de la culture de riz). Donc, la tolérance des isolats bactériens a été testée à différentes concentrations.

La souche *Pseudomonas fluorescens* GMMC1 s'est avérée être la bactérie dominante qui tolère les pesticides jusqu'à une concentration de 500 ppm. La dégradation de ce pesticide est réalisée dans des conditions aérobies pendant 72h en milieu salin minérale. Les résultats avèrent que cette souche utilise ce polluant comme seule source de carbone, Le taux de croissance est plus rapide sur un milieu minimal avec Lambda-cyhalothrine, car la DO maximale de 1,72 a été enregistrée avec GMMC1.

2.3.5. Exemple 5 : Dégradation biotique par *Bartonella elizabethae* S2B :

La recherche rapportée par Ghumro et al., (2017), a mis en évidence une autre souche bactérienne capable de dégrader la lambda-cyhalothrine appelé *Bartonella elizabethae* S2B, qu'elle est isolée d'un sol pollué des champs de culture de coton du district Khairpur. La souche en question est incubée pendant 20 jours à 30 °C avec agitation 200 rpm dans des conditions de laboratoire expérimentales.

Chapitre 2 : Élimination des pesticides

Les résultats de croissance et biodégradation indiquent que la souche S2B utilise ce pesticide pyréthriinoïde comme source de carbone et d'énergie. Par ailleurs, la DO de croissance de S2B a démontré une croissance rapide avec une DO de $0,93 \pm 0,03$ au sein de quatrième jour d'incubation qui ne cesse d'augmenter et atteint une croissance maximale avec une DO de $1,13 \pm 0,09$ pendant 16 jours d'incubation.

Ainsi, le taux de dégradation de la lambda-cyhalothrine par *Bartonella elizabethae* S2B est de 30,78% au cours du 4ème jour d'incubation, ce qui a révélé une meilleure croissance et biodégradation de lambda-cyhalothrine avec une réduction de concentration qui atteint 40% après 20 jours incubation.

CONCLUSION

Conclusion

Les pesticides sont des composés phytosanitaires et phytopharmaceutiques qui existent sous plusieurs formes (organochlorés, organophosphorés, carbamates, pyréthrinoïdes, etc.) et agissent sur différents ravageurs (insectes, mauvaises herbes, moisissures, etc.) en inhibant leurs fonctions vitales.

Avec la demande nutritionnelle qui augmente de jour en jour, l'agriculture a largement évolué, ceci a engendré une surutilisation des produits phytosanitaires afin d'assurer les disponibilités quantitatives des récoltes (arbres fruitières, cultures maraichères etc.).

Du fait de leur composition chimique diversifiée et leur large spectre d'action, les pesticides représentent des dangers aussi bien que pour l'homme (la surexposition aux pesticides peut engendrer certains troubles neuropsychiatriques et même des cancers), ainsi que les compartiments environnementaux et les organismes qui y vivent.

La pollution des sols par les résidus des pesticides est la cause initiale de la mise en œuvre des techniques de lutte contre ces contaminants, qui peuvent être physico-chimiques (abiotiques) et biologiques (biotiques). Dans notre étude on s'est intéressé aux méthodes de traitement biologiques par l'utilisation des microorganismes indigènes de sol car les techniques physico-chimiques sont délicates à manipuler, coûteuses et les composés finaux après la dégradation ne sont souvent pas assimilés par le sol, tandis que la dégradation biotique génère des métabolites finaux simples le plus souvent de toxicité nulle. On s'est ainsi focalisé sur la biodégradation de deux pesticides de la famille des pyréthrinoïdes de synthèse (cyperméthrine et lambda cyhalothrine). Le choix de ces deux derniers est motivé en raison de leur utilisation intensive dans les milieux agricoles algériens.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

-A-

ABDALLAH OI, HANAFI A, GHANI SBA, GHISONI S, LUCINI L. Pesticides Contamination in Egyptian Honey Samples. *J. Consum. Prot. Food Saf.* 2017; 12 : 317–327. Doi:10.1007/s00003-017-1133-x.

ACEVEDO F, PIZZUL L, DEL PILAR CASTILLO M, CUEVAS R, DIEZ MC. Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by the Chilean White-Rot Fungus *Anthracyllum Discolor*. *J. Hazard. Mater.* 2011; 185 : 212-219. Doi : 10.1016 / j. jhazmat. 2010. 09. 020.

ACHOUR A, DEROUICHE A, BARHOUMI B, KORT B, CHERIF D, BOUABDALLAH S, SAKLY M., RHOUMA KB, TOUIL S, DRISS MR, et al. Pesticides organochlorés et biphényles polychlorés dans le tissu adipeux humain du nord de la Tunisie: étendue actuelle de la contamination et contributions des caractéristiques sociodémographiques et des habitudes alimentaires. *Environ. Res.* 2017 ; 156 : 635–643. Doi : 10.1016 / j.envres.2017.04.021.

AGUIAR JR, TR, BORTOLOZO FR, ROSA FILHO, EF, PARRON LM, LUZ LD, BRITO AG, FERREIRA MT. Les eaux souterraines *Dév.* 2017, 5, 187.

AKBAR S. Bactéries du sol Sultan S. montrant un potentiel de dégradation par le chlorpyrifos et d'amélioration de la croissance des plantes. *Braz. J. Microbiol.* 2016 ; 47 : 563-570. Doi : 10.1016 / j.bjm.2016.04.009.

ALONSO MB. Pyréthrenoïdes : une nouvelle menace pour les mammifères marins. *Environ Int* 47, 99–106 (2012).

AMINOVORANS JCM 7685. *Environ. Microbiol.* 2017 ; 19 : 4536–4550. Doi : 10.1111 / 1462-2920.13901.

AMWEG EL, WESTON DP. *Environ. Toxicol. Chem.* 2005, 24, 1300.

ANDERSON MJ, WHITCOMB PJ. *DOE Simplified : Outils pratiques pour une expérimentation efficace* ; CRC Press : New York, 2016.

ANTONY J. *Conception d'expériences pour ingénieurs et scientifiques* ; Elsevier : Oxford, 2003.

ARBELI Z, FUENTES CL. Biodégradation accélérée des pesticides : un aperçu du phénomène, ses bases et les solutions possibles ; et une discussion sur la dimension tropicale. *J. Crop. Prot.* 2007 ; 26 : 1733–1746. Doi : 10.1016 / j.cropro.2007.03.009.

ARBELI Z, FUENTES CL. Dégradation microbienne des pesticides dans les sols tropicaux. *Soil Biol. Agric. Trop.* 2010 ; 21 : 251-274. Doi : 10.1007 / 978-3-642-05076-3_12.

ARORA PK, SASIKALA C, RAMANA CV. Degradation of Chlorinated Nitroaromatic Compounds. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2012 ; 93 : 2265-2277. Doi: 10.1007 / s00253-012-3927-1.

ARORA PK, SRIVASTAVA A& SINGH VP. Dégradation du 4-chloro-3-nitrophénol via un nouvel intermédiaire, le 4-chlororésorcinol par *Pseudomonas* sp. *JHN. Sci Rep* 4, 4475 (2014).

Références bibliographique

ASSOULINE Gérald. L'évolution technologique de l'industrie des phytosanitaires : Quelles interactions avec l'agriculture. *Économie rurale*. Juillet-Octobre 1989, 9, n°192-193, pp. 42-48.

AUDUS L.J. La désintoxication biologique de l'acide 2 : 4-dichlorophénoxyacétique dans le sol. *Sol végétal*. 1949 ; 2 : 31–36. Doi : 10.1007 / BF01344145.

AWUMBILA B, BOKUMA E. Enquête sur les pesticides utilisés dans le contrôle des ectoparasites d'animaux d'élevage au Ghana. *Trop. Anim. Santé Prod.* 1994 ; 26 : 7–12. doi : 10.1007 / BF02241125.

-B -

BAARSCHERS WH, HEITLAND HS. Biodégradation du fénitrothion et du fénitrooxon par le fungus *Trichoderma viride*. *J. Agric. Food Chem.* 1986 ; 34 : 707–709. Doi : 10.1021 / jf00070a029.

BAJARD Emmanuel. Petite histoire des produits phytosanitaires. Jardins de France. 2016.

BALDI Isabelle, BOUVIER Ghislaine, CORDIER Sylvaine, COUMOUL Xavier, ELBAZ Alexis, GAMET-PAYRASTRE Laurene, LE BAILLY Pierre, MULTIGNER Luc, RAHMANI Roger, SPINOSI Johan, MAELE-FABRY Geneviève Van, BOTTON Jérémie, GOSSET Yves, GUENEL Pascal, LASFARGUES Gérard et collaborateurs. Expositions aux pesticides (Pesticides- Effets sur la santé). Les éditions Inserm (Institut National de la Santé ET de la Recherche Médicale). Paris. Expertise collective, ISBN : 978-2-85598-905-1 ; ISSN : 1264-1782, pp 33-52 (20p). 2013.

BALDI Isabelle, BOUVIER Ghislaine, CORDIER Sylvaine, COUMOUL Xavier., ELBAZ Alexis, GAMET-PAYRASTRE Laurene, LE BAILLY Pierre, MULTIGNER Luc, RAHMANI Roger, SPINOSI Johan, MAELE-FABRY Geneviève Van, BOTTON Jérémie, GOSSET Yves, GUENEL Pascal, LASFARGUES Gérard et collaborateurs. Pesticides- Effets sur la santé. Les éditions Inserm (Institut National de la Santé ET de la Recherche Médicale). Paris, LECOMTE Marie-Cristine, ETIEMBLE Jeanne, CHENU Catherine, GRELLIEL Chantal, LABRO Marie-Thérèse, BONNIN Fabienne, PELLIER Anne-Laure, GOMIS Cécile et l'Iconographe : LAIGNEAU Jean-Pierre. Juillet 2013. 161p/1014p. Collection : Expertise Collective ISBN : 978-2-85598-906-X.

BATSH Dorothée. L'impact des pesticides sur la santé humaine. Thèse de doctorat, Faculté de Pharmacie : Université Henri Poincaré – NANCY 1, 06 octobre 2011. 185 p.

BAXTER J, CUMMINGS SP. Application de l'herbicide Bromoxynil à une communauté bactérienne modèle dérivée du sol : impact sur la dégradation et la structure communautaire. *Lett. Appl. Microbiol.* 2006 ; 43 : 659–665. Doi : 10.1111 / j.1472-765X.2006.02003.x.

BEEMAN RW, MATSUMURA F. Chlordimeform : un pesticide agissant sur les mécanismes de régulation des amines. *La nature*. 1973 ; 242 : 273. Doi : 10.1038 / 242273a0.

BELMEHEL Nefousi. Effets des traitements pesticides sur les composés phénoliques de la pomme de terre cultivée (*Solanum tuberosum* Var *Sylvana*). Mémoire de fin d'études, spécialité : Biochimie appliquée, laboratoires de Biochimie et de Microbiologie. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abdelhamid Ibn-Badis Mostaganem, Algérie. 18 Septembre 2019, p 60.

Références bibliographique

BENDING GD, FRILOUX M, WALKER A. Dégradation des pesticides contrastés par les champignons de pourriture blanche et sa relation avec le potentiel ligninolytique. *FEMS Microbiol. Lett.* 2002 ; 212 : 59–63. Doi : 10.1111 / j.1574-6968.2002.tb11245.x.

BENLI ACK. Enquête sur la toxicité aiguë de la cyfluthrine sur les alevins de Tilapia (*Oreochromis Niloticus* L. 1758) *Environ. Toxique. Pharmaco.* 2005 ; 20 : 279-282. Doi : 10.1016 / j. etap.2005.01.009.

BERNARDES Franco Furio Mariana, PAZIN Murilo, PEREIRA Cristina Lilian and DORTA Junqueira Daniel. Impact of Pesticides on Environmental and Human Health. Intechopen. July 8th 2015, doi : 10.5772/59710.

BERRAH Awatef. Etude sur les pesticides. Master de fin d'études (Master 2), spécialité : Toxicologie appliquée. Université de Tébessa, Algérie. 2011. Mémoire Online, sciences.

BERRAH Awatef. Etude sur les pesticides (Données sur la toxicité). Mémoire de fin d'études (Master 2). Spécialité : Toxicologie Appliquée. Université de Tébessa, Algérie. 2011. Mémoire Online, Sciences.

BERRAH Awatef. Etude sur les pesticides (Les facteurs influençant la toxicité des pesticides, les voies d'exposition aux pesticides. Mémoire de fin d'études (Master 2). Spécialité : Toxicologie Appliquée. Université de Tébessa, Algérie. 2011. Mémoire Online, Sciences.

BHANDARI G. Mycoremediation and Environmental Sustainability. Springer; Cham, Suisse : 2017. Mycoremediation : Une approche écologique pour la dégradation des pesticides ; 119-131. **BHATTACHARYA J, ISLAM M, CHEONG YW.** Microbial Growth and Action: Implications for Passive Bioremediation of Acid Mine Drainage. *J. Mine Water. Environ.* 2006 ; 25 : 233-240. Doi : 10.1007 / s10230-006-0138-y.

BIROLI WG, ALVARENGA N, SELEGHIM MH, PORTO AL. Biodégradation du pyrèthroïde Pesticide Esfenvalerate par des champignons d'origine marine. *Mar. Biotechnol.* 2016 ; 18 : 511–520. Doi : 10.1007 / s10126-016-9710-z.

BOIVIN A, AMELLAL S, SCHIAVON M, VAN GENUCHTEN MT.2, 4-Dichlorophenoxyacetic Acid 2, 4-D Sorption and Degradation Dynamics in Three Agricultural Solils. *Environ. Pollut.* 2005 ; 138 : 92–99. Doi : 10.1016 / j.envpol.2005.02.016.

BONCRISTIANI H, UNDERWOOD R, SCHWARZ R, EVANS JD, PETTIS J. Effet direct des acaricides sur les charges d'agents pathogènes et les niveaux d'expression des gènes chez les abeilles *Apis Mellifère*. *J. Insecte Physio.* 2012 ; 58 : 613–620. Doi : 10.1016 / j. jinsphys.2011.12.011.

BONNARD N, JARGOT D, FALCY M, PILLIÈRE, ROBERT S et AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments) : FASTIER A, OUDAR S et RAMBOURG M-O. Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES : Glyphosate. INRS (Institut National de la Recherche Scientifique). Septembre 2019. N° 273, 9 p.

BONNEMAIN Jean-Louis. Modes d'action des produits phytosanitaires sur les organismes pathogènes des plantes, Pierre Leroux C. R. *Biologies* 326 (2003). Biologie et pathologie végétale, unité de phytopharmacie et médiateurs chimiques, Inra, route de Saint-Cyr, 78026, Versailles cedex, France. 28 Octobre 2002. Pp. 9-21. Académie des sciences, éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS (Pierre Leroux). Doi : 10.1016/S1631-0691(03)00005-2.

BOURGOGNE Alterre. Les effets sur la santé. Pesticides au quotidien. Septembre 2009, 7, pp 13-19/66.

BOUZIANI Mustapha (Docteur Épidémiologiste). L'usage immodéré des pesticides : De graves conséquences sanitaires. Faculté de Médecine d'Orange. Santé Maghreb, Le guide de la Médecine et de la santé en Algérie. 26 Juin 2007.

BRACK C, MIKOLASCH A, SCHLUETER R, OTTO A, BECHER D, WEGNER U, ALBRECHT D, ALBRECHT K, SCHAUER F. Antibacterial Metabolites and Bacteriolytic Enzymes Produced by *Bacillus pumilus* during acteriolysis of *Arthrobacter citreus*. *Marie Biotechnol.* 2015 ; 17 : 290–304. Doi : 10.1007 / s10126-015-9614-3.

BRAR SK, VERMA M, TYAGI RD, VALERO JR & SURAMPALLI RY. Dégradation concomitante du phtalate de diméthyle (DMP) lors de la production de biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis*. *J Hazard Mater* 171, 1016–1023 (2009).

BRICEÑO G, VERGARA K, SCHALCHLI H, PALMA G, TORTELLA G, FUENTES MS, DIEZ MC. Organophosphorus Pesticide Mixture Removal from Environmental Matrices by A Soil *Streptomyces* Mixed Culture. *Environ. Sci. Pollut.* 2017 : 1–12. Doi : 10.1007 / s11356-017-9790-y.

BYJU Raveendran. Pesticides. BYJU'S (The Learning App). 2018.

-C-

CHARRETTE Benoit (Ministre de l'Environnement et la Lutte contre le Changement Climatiques). A propos des pesticides. Environnement et Lutte Contre Le Changement Climatiques QUÉBEC. Mai 2018.

CHARRETTE Benoit. Pesticides et risques pour la santé, Effets toxiques des pesticides. Québec. 6 Juin 2018.

CHAUSSEONNERIE S, SAAIDI PL, UGARTE E, BARBANCE A, FOSSEY A, BARBE V, GYAPAY G, BRÜLS T, CHEVALLIER M, COUTURAT L, et al. Dégradation microbienne d'un pesticide récalcitrant : le chlordécone. *De face. Microbiol.* 2016 ; 7 : 2025. Doi : 10.3389 / fmicb.2016.02025.

CHAW D, STOKLAS U. Cocomposting of Cattle Manure and Hydrocarbons Flare Pit Soil. *Compost. Sci. Util.* 2013 ; 9 : 322–335. Doi : 10.1080 / 1065657X.2001.10702051.

CHEN SH, CHANG CQ, DENG YY, AN SW, DONG YH, ZHOU JN, HU MY, ZHONG GH, ZHANG LH. Voie de biodégradation de la fenpropathrine dans *Bacillus* sp. DG-02 et son potentiel de biorestauration des sols contaminés aux pyréthroïdes. *J. Agric. Aliments. Chem.* 2014 ; 62 : 2147–2157. Doi : 10.1021 / jf404908j.

CHEN S, HU Q, HU M, LUO J, WENG Q, LAI K. Isolement et caractérisation d'un champignon capable de dégrader les pyréthroïdes et le 3-phénoxybenzaldéhyde. *Bioresour. Technol.* 2011 ; 102 : 8110–8116. Doi : 10.1016 / j.biortech.2011.06.055.

CHEN SH, HU MY, LIU JJ, ZHONG GH, YANG L, RIZWAN-UL-HAQ M, HAN H. Biodégradation de la bêta-cyperméthrine et de l'acide 3-phénoxybenzoïque par un nouveau *Ochrobactrum lupini* DG-S-01. *J. Hazard. Mater.* 2011 ; 187 : 433–440. Doi : 10.1016 / j.jhazmat.2011.01.049.

Références bibliographique

CHEN SH, YANG L, HU MY & LIU JJ. Biodégradation du fenvalérate et de l'acide 3-phénoxybenzoïque par un nouveau *Stenotrophomonas* sp. Souche ZS-S-01 et son utilisation dans la biorestauration des sols contaminés. *Appl Microbiol Biotechnol* 90, 755–767 (2011).

CHEN S, SUN D, CHUNG JS. Traitement des eaux usées de pesticides par un réacteur à biofilm à lit mobile combiné avec un prétraitement de coagulation Fenton. *J. Hazard. Mater.* 2007 ; 144 : 577-584. Doi : 10.1016 / j.jhazmat.2006.10.075.

CHERIN P, VORONSKA E, FRAUCENE N and DE JAEGER C. Toxicité aiguë des pesticides chez l'homme : Acute toxicity of pesticides in human. *Médecine & Longévité.* June 2012, Vol 4, N° 2, pp 68-74. Science Direct, Elsevier Masson SAS.

CHIBATA I, TOSA T. Cellules microbiennes immobilisées et leurs applications. *Trends Biochem. Sci.* 1980 ; 5 : 88–90. Doi : 10.1016 / 0968-0004 (80) 90254-6.

CHOWDHURY MAZ, FAKHRUDDIN ANM, ISLAM MN, MONIRUZZAMAN M, GAN SH, ALAM MK. Détection des résidus de dix-neuf pesticides dans des échantillons de légumes frais à l'aide de la chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse. *Contrôle des aliments.* 2013 ; 34 : 457–465. Doi : 10.1016 / j.foodcont.2013.05.006.

CHRZANOWSKI Ł, DZIADAS M, ŁAWNICZAK Ł, CYPLIK P, BIALAS W, SZULC A, LISIECKI P, JELEN H. Biodégradation of Rhamnolipids in Liquid Cultures : Effect of Biosurfactant Dissipation on Diesel Fuel / B20 Blend Efficacité de la biodégradation et composition de la communauté bactérienne. *J. Bioresour. Technol.* 2012 ; 111 : 328–335. Doi : 10.1016 / j.biortech.2012.01.181.

COLLECTION FAO. Élimination des pesticides (Chapitre 1 : Introduction. Que sont les pesticides ?). Programme des nations unies pour l'environnement, organisation mondiale de la santé. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome, 1996. Document de terrain : GCP/INT/572/NET.

COLLECTION FAO. Evaluation de la contamination des sols : Caractéristiques des pesticides dont dépendent les processus de contamination des sols, Document de terrain : GCP/INT/650/NET. Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture (Food and Agriculture Organisation : FAO), Rome. 2000.

CÓRDOVA-KREYLOS AL, LANGO J, SCOW KK. *Sustainable Agriculture Farming Systems, SAFS Newsletters* 2007 , 7 , 3. consulté en mai 2018.

COTTINEAU Stéphane. Qu'est-ce qu'un pesticide. Maitre Stéphane Cottineau. 27 juin 2010.

CYCON M, ZMIJOWSKA A& PIOTROWSKA-SEGET Z. Amélioration de la dégradation de la deltaméthrine par bioaugmentation du sol avec deux souches différentes de *Serratia marcescens*. *Int J Environ Sci Technol* 11, 1305–1316 (2014).

CZARNECKI J, DZIEWIT L, PUZYNA M, PROCHWICZ E, TUDEK A, WIBBERG D, SCHLÜTER A, PÜHLER A, BARTOSIK D. Lifestyle-Determining Extrachromosomal Replicon pAMV1 and its Contribution to the Carbon Metabolism de la bactérie méthylothrophique *Paracoccus* 74. Don RH, Pemberton JM Carte génétique et physique du plasmide pJP4 dégradant l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique. *J. Bacteriol.* 1985 ; 161 : 466–468.

-D -

DAS BK, MUKHERJEE SC. Toxicité de la cyperméthrine chez les fingerlings *Labeo rohita* : conséquences biochimiques, enzymatiques et hématologiques. *Comp. Biochem. Physiol. Partie. C Toxicol. Pharmacol.* 2003 ; 134 : 109-121. Doi : 10.1016 / S1532-0456 (02) 00219-3.

DAY K, KAUSHIK NK. L'adsorption du fenvalérate sur la verrerie de laboratoire et l'algue *Chlamydomonas Reinhardii*, et son effet sur l'absorption du pesticide par *Daphnia Galeata Mendotae*. *Aquat. Toxicol.* 1987 ; 10 : 131-142. Doi : 10.1016 / 0166-445X (87) 90019-1.

DELGADO-MORENO L, LIN K, VEIGA-NASCIMENTO R& GAN J. Occurrence et toxicité de trois classes d'insecticides dans l'eau et les sédiments dans deux bassins versants côtiers de la Californie du Sud. *J Agric Food Chem* 59, 9448–9456 (2011).

DENG WQ, LIN DR, YAO K, YUAN HY, WANG ZL, LI JL, ZOU LK, HAN XF, ZHOU K, HEL. Caractérisation d'un nouveau *Aspergillus Niger* dégradant la β -cyperméthrine, d'une souche YAT et de la voie de dégradation biochimique de la β -cyperméthrine. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2015 ; 99 : 8187–8198. Doi : 10.1007 / s00253-015-6690-2.

DENG WQ, LIU SL, YAO K. Dégradation microbienne de l'acide 3-phénoxybenzoïque - Une revue. *Acta Microbiol. Péché.* 2015 ; 559 : 1081-1088.

DE PÁDUA FERREIRA R, SAKATA SK, DUTRA F, DI VITTA P, TADDEI M, BELLINI M, MARUMO J. Treatment of Radioactive Liquid Organic Waste Using Bacteria Community. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2012 ; 292 : 811–817. Doi : 10.1007 / s10967-011-1564-2.

DE SOUZA ML, SADOWSKY MJ, WACKETT LP. Atrazine Chlorohydrolase de *Pseudomonas Sp.* Souche ADP : séquence génique, purification enzymatique et caractérisation des protéines. *J. Bacteriol.* 1996 ; 178 : 4894–4900. Doi : 10.1128 / jb.178.16.4894-4900.1996.

DING Y, WHITE CA, MURALIDHARA S, BRUCKNER JV, BARTLETT MG. Détermination de la deltaméthrine et de son métabolite acide 3-phénoxybenzoïque dans le plasma de rat mâle par chromatographie liquide haute performance. *J. Chromatogr. B.* 2004 ; 810 : 221-227. Doi : 10.1016 / S1570-0232 (04) 00621-X.

DUFAURE Cécile. INSECTICIDES ET SANTÉ HUMAINE : Aspects toxicologiques, épidémiologiques et juridiques. Thèse de Doctorat, Discipline – Spécialité doctorale : Pharmacie. Faculté de Pharmacie : Université de LIMOGES. 27 Février 2012. 132 p.

DUMAS Cécile. Les pesticides ralentiraient la croissance des plantes, Nature et Environnement. Sciences et Avenir. 6 Juin 2007.

DUVAL Jean. LES HUILES INSECTICIDES. Ecological Agriculture Projects. Mai 1994.

-E-

ELGUETA S, SANTOS C, LIMA N, DIEZ MC. Immobilisation du champignon blanc-pourriture *anthracophyllum* décoloré pour dégrader l'herbicide Atrazine. *AMB Express.* 2016 ; 6 : 104. Doi : 10.1186 / s13568-016-0275-z.

Références bibliographique

ESPOSITO E, PAULILLO SM, MANFIO GP. Biodégradation de l'herbicide diuron dans le sol par des actinomycètes indigènes. *Chemosphère*. 1998 ; 37 : 541-548. Doi : 10.1016/S0045-6535 (98) 00069-1.

-F-

FAO stat. Pesticides Utilisation. Organisations des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture (Food and Agriculture Organisation). 1998-2017.

FAYOLLE Pascal. Pesticides horticoles : L'eau, l'air et le sol impactés. Le lien horticole. 17.01. 2012.

FENNER K, CANONICA S, WACKETT LP, ELSNER M. Évaluation de la dégradation des pesticides dans l'environnement : angles morts et opportunités émergentes. *Science*. 2013 ; 341 : 752–758. doi : 10.1126 / science.1236281.

FETOUI H, MAKNI M, GAROUI EL M & ZEGHAL N. Effets toxiques de la lambda-cyhalothrine, un pesticide pyréthriinoïde synthétique, sur le rein de rat : implication du stress oxydatif et rôle protecteur de l'acide ascorbique. *Exp Toxicol Pathol* 62, 593-599 (2010).

FOURNIER Candylène, BALP Stéphanie, ROZAN Françoise et PETKOVA Magdalena. Les agents chimiques dangereux. SMISA, Santé au Travail/ Sud Aveyron. Londres. 19 Mars 2015.

FRAPNA Isère. F2. Toxicité des pesticides et réglementation. Agriculture régional de FRAPNA (Région Rhône-Alpes). 2012-2013.

FREUDL R, MACINTYRE S, DEGEN M, HENNING U. Cell Surface Exposure of the Outer Membrane Protein OmpA of Escherichia Coli K-12. *J. Mol. Biol.* 1986; 188: 491–494. Doi : 10.1016 / 0022-2836 (86) 90171-3.

-G-

GARCÍA-REYES JF, MOLINA-DÍAZ A, FERNÁNDEZ-ALBA AR. Identification des produits de transformation des pesticides dans les aliments par chromatographie liquide / spectrométrie de masse à temps de vol via des relations « fragmentation-dégradation ». *Anal. Che.* 2007 ; 79 : 307–321. Doi : 10.1021 / ac061402d.

GARNIER Cédric. Pesticides : Les pays plus gros consommateurs. Lait de Normandie... et d'ailleurs : Revue de presse. 12 février 2019.

GHERRABI Abdelbasset et MERAH Fatima. Mode d'action des insecticides. *Emaze*. 2015/2016.

GHUMRO Waheed Ahmed, PHULPOTO Anwar Hussain, QAZI Muneer Ahmed, MANGI Shahida, PIRZADA Tajnees, AHMED Safia & KANHAR Nisar Ahmed. Pesticide Lambda-Cyhalothrin Degradation Using Mesorhizobium sp. (S1b) and Bartonella sp. (S2b) Strains Isolated from Cotton Crop. *Pak. J. Anal. Environ. Chem.* July 2017, Vol 18, N° 2, pp 112-119. ISSN-1996-918X.

GODHEJA J, SHEKHAR SK, SIDDIQUI SA, MODI DR. Composés xénobiotiques présents dans le sol et l'eau : un examen des stratégies de remédiation. *J. Environ. Anal. Toxicol.* 2016 ; 6 : 392. Doi : 10.4172 / 2161-0525.1000392.

Références bibliographique

GRANT RG, BETTS WB. Mineraland Carbon Utilisation de deux isolats bactériens dégradant les pyréthroïdes synthétiques. J. Appl. Microbiol. 2004 ; 97 : 656–662. Doi : 10.1111 / j.1365-2672.2004.02358.x.

GUO P, WANG BZ, HANG BJ, LI L, ALI SW, HE J, LI S. Sphingobium sp. Dégradant les pyréthroïdes. JZ-2 et la purification et la caractérisation d'une nouvelle hydrolase pyréthroïde. Int. Biodeterior. Biodégradé. 2009 ; 63 : 1107-1112. Doi : 10.1016 / j.ibiod.2009.09.008.

GUPTA S, PATHAK B, FULEKAR MH. 2015 Approches moléculaires pour la biodégradation des composés d'hydrocarbures aromatiques polycycliques : une revue. Rev. Environ. Sci. Bio / Technol. 2015; 14 : 241-269. Doi : 10.1007 / s11157-014-9353-3.

-H-

HALDEN RU, TEPP SM, HALDEN BG & DWYER DF. Dégradation de l'acide 3-phénoxybenzoïque dans le sol par *Pseudomonas pseudo-alcaligenes* POB310 (pPOB) et deux souches de *Pseudomonas* modifiées. Appl Environ Microbiol 65, 3354–3359 (1999).

HAI FI, MODIN O, YAMAMOTO K, FUKUSHI K, NAKAJIMA F, NGHIEM LD. Pesticide Removal by A Mixed Culture of Bacteria and White-Rot Fungi. J. Taiwan Inst. Chem. E. 2012 ; 43 : 459–462. Doi : 10.1016 / j.jtice.2011.11.002.

HAJJAR NP, CASIDA JE. Benzoylphényl urées insecticides : relations structure-activité comme inhibiteurs de synthèse de la chitine. Science. 1978 ; 200 : 1499–1500. Doi : 10.1126 / science.200.4349.1499.

HAN Y, XIA YK, HAN JY, ZHOU JP, WANG SL, ZHU PF, ZHAO RC, JIN NZ, SONG N, WANG XR. La relation entre le métabolite des pyréthroïdes 3-PBA et les hormones reproductives masculines parmi l'exposition non professionnelle Mâles. Chemosphère. 2008 ; 72 : 785–790. Doi : 10.1016 / j.chemosphere.2008.03.058.

HARUTA S, CUI Z, HUANG Z, LI M, ISHII M, IGARASHI Y. Construction d'une communauté microbienne stable avec une capacité élevée de dégradation de la cellulose. Appl. Microbiol. Biotechnol. 2002 ; 59 : 529-534. Doi : 10.1007 / s00253-002-1026-4.

HASSEN Wafa. La biodégradation des pesticides utilisés dans les sols agricoles. Editions universitaires européennes, ISBN : 978-613-9-53921-5. Unité de Recherche Analyses et Procédés Appliquées à l'Environnement UR17ES32 à L'Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie de Mahdia (ISSATMh). January 2020.

HAYO M.G et WERF Van Der. Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement. INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), Station d'Agronomie, BP 507, 68021 Colmar. Août 1997. N° 31, pp 18.

HEITKAMP MA, CAMEL V, REUTER TJ, ADAMS WJ. Biodégradation du P-nitrophénol dans un flux de déchets aqueux par des bactéries immobilisées. Appl. Environ. Microbiol. 1990 ; 56 : 2967-2973.

HINTZEN EP, LYDY MJ & BELDEN JB. Présence et toxicité potentielle des pyréthrinoïdes et d'autres insecticides dans les sédiments de lit des cours d'eau urbains du centre du Texas. Environ Pollut 157, 110–116 (2009).

Références bibliographique

HOELLINGER H, PICHAT L. Synthèse des Métabolites de L'Insecticide Deltaméthrine : Acides Phénoxy-3 Benzoïques (carboxyle 14C), Alcools Phénoxy-3 Benzyiques hydroxyméthyle 14C. J. Label. Compd. Radiopharm. 1985 ; 22 : 755–760. Doi : 10.1002 / jlcr.2580220802.

HOUYVET Jérôme. Quels sont les dangers des pesticides. FUTURA PLANÈTE. 2019.

HUGH Martin (spécialiste de la lutte contre les mauvaises herbes/MAAO). Classes de modes d'action des herbicides. Ontario, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales. Mai 2000. N° 00-062.ISSN : 1198-7138.

HUGO HJ, MOUTON C, MALAN AP. Dégradation microbienne accélérée des nématicides dans les sols des vignes et des vergers. S. Afr. J. Enol. Vitic. 2014 ; 35 : 157-167. Doi : 10.21548 / 35-1-998.

HUONG NL, ITOH K, SUYAMA K. Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D) et acide 2,4,5-trichlorophénoxyacétique (2,4,5-T) dégradant la communauté bactérienne dans le sol - suspension d'eau pendant le processus d'enrichissement. Microbes Environ. 2008 ; 23 : 142-148. Doi : 10.1264 / jsme2.23.142.

HUSSAIN S, SIDDIQUE T, SALEEM M, ARSHAD M, KHALID A. Chapitre 5 Impact des pesticides sur la diversité microbienne du sol, les enzymes et les réactions biochimiques. Adv. Agron. 2009 ; 102 : 159–200. Doi : 10.1016 / S0065-2113 (09) 01005-0.

-I-

ISHAG AESA, ABDELBAGI AO, HAMMAD AMA, ELSHEIKH EAE, ELSAID OE, HUR JH. Biodégradation de l'endosulfan et de la pendiméthaline par trois souches de bactéries isolées dans des sols pollués par des pesticides au Soudan. Appl. Biol. Chem. 2017 ; 60 : 287-297. Doi : 10.1007 / s13765-017-0281-0.

ISRA Mahmood, IMADI Sameen Ruqia, SHAZADI Kanwal, GULAlvina. Effects of Pesticides on Environment. In Khalid Rahman Hakeem et al. Plant, Soil and Microbes, vol : 1 (Implication in Crop Science). Springer International Publishing, doi : 10.1007/978-3-319-27455-3_13. Switzerland. 4 Mars 2016, pp 251-269 (18 p).

-J-

JABEEN H., IQBAL S., ANWAR S., PARALES RE. Optimisation of Profenofos Degradation by A Novel Bacterial Consortium PBAC Using Response Surface Methodology. Int. Biodète. Biodegr. 2015 ; 100 : 89–97. Doi : 10.1016 / j.ibiod.2015.02.022.

JAISWAL DK, VERMA JP, YADAV J. Microbe-Induced Degradation of Pesticides. Springer ; Cham, Suisse : 2017. Dégradation des pesticides induite par les microbes dans Jayabarath J., Musfira SA, Giridhar R., Arulmurugan R. Biodégradation du pesticide carbofurane par des actinomycètes du sol salin. Int. J. Biotechnol. Biochem. 2010 ; 6 : 187–193. Les sols agricoles ; pp. 167-189.

JI GX, XIA YK, GU AH, SHI XG, LONG Y, SONG L, WANG SL, WANG XR. Effets de l'exposition environnementale non professionnelle aux pyréthroïdes sur la qualité du sperme et l'intégrité de l'ADN du sperme chez les hommes chinois. Reprod. Toxicol. 2011 ; 31 : 171-176. Doi : 10.1016 / j.reprotox.2010.10.005.

Références bibliographique

JIANG J, LI S. Vingt ans de recherche et développement sur la pollution et l'assainissement des sols en Chine. Springer ; Singapour : 2018. Dégradation microbienne des pesticides chimiques et biorestauration des sites contaminés par des pesticides en Chine ; pp. 655–670.

JILANI S & KHAN MA. Biodégradation de la cyperméthrine par *Pseudomonas* dans un processus de boues activées par lots. Int J Environ Sci Technol 3, 371–380 (2006).

JIN MQ, LI L, XU C, WEN YZ, ZHAO MR. Activités œstrogéniques de deux pyréthroïdes synthétiques et de leurs métabolites. J. Environ. Sci. 2010 ; 22 : 290-296. Doi : 10.1016 / S1001-0742 (09) 60107-8.

JIN MQ, ZHOU SS, LIU WP, ZHANG D, LU XT. Résidus et risques potentiels pour la santé des DDT et HCH dans les produits de la mer commerciaux de deux villes côtières près de l'estuaire du fleuve Yangtze. J. Environ. Sci. Santé. 2015 ; 50 : 163–174. Doi : 10.1080 / 03601234.2015.982387.

JOHNSEN K, JACOBSEN CS, TORSVIK V, SØRENSEN J. Effets des pesticides sur la diversité bactérienne dans les sols agricoles - Une revue. Biol. Fert. Les sols. 2001 ; 33 : 443–453. Doi : 10.1007 / s003740100351.

-K-

KABRA AN, JI MK, CHOI J, KIM JR, GOVINDWAR SP, JEON BH. Toxicité de l'atrazine et sa bioaccumulation et biodégradation dans une microalgue verte, *Chlamydomonas Mexicana*. Environ. Sci. Pollutr. 2014 ; 21 : 12270-12278. Doi : 10.1007 / s11356-014-3157-4.

KAFILZADEH F, EBRAHIMNEZHAD M, TAHERY Y. Isolation and Identification of Endosulfan-Degrading Bacteria and Evaluation of their Bioremediation in Kor River, Iran. Osong Public Health Res. Perspect. 2015 ; 6 : 39–46. Doi : 10.1016 / j.phrp.2014.12.003.

KAHONTONG Kitti. Poisson mort sur la rivière. Pollution de l'eau sombre. 123RF.

KANEKO H. Pyrethroids : métabolisme et toxicité chez les mammifères. J Agric Food Chem 59, 2786-2791 (2011).

KASAT K, GO V. Effets Pogo BGT des insecticides pyréthrinoïdes et des œstrogènes sur l'expression du proto-oncogène WNT10B. Environ. Int. 2002 ; 28 : 429–432. Doi : 10.1016 / S0160-4120 (02) 00072-7.

KATAOKA R, TAKAGI K, SAKAKIBARA F. Un nouveau champignon dégradant l'endosulfan, espèce de *Mortierella*, isolé d'un sol contaminé par des pesticides organochlorés. J. Pestic. Sci. 2010 ; 35 : 326–332. Doi : 10.1584 / jpestics.G10-10.

KAUR H, KAPOORS, KAUR G. Application des potentiels ligninolytiques d'un champignon pourriture blanche *Ganoderma Lucidum* pour la dégradation du lindane. Environ. Monit. Évaluer. 2016 ; 188 : 588. Doi : 10.1007 / s10661-016-5606-7.

Kaur P, Sharma A, Parihar L. Étude in vitro de la mycoremédiation des sols contaminés par la cyperméthrine dans différentes régions du Pendjab. Ann. Microbiol. 2015 ; 65 : 1949–1959. Doi : 10.1007 / s13213-015-1033-1.

KAUR Rajveer, MAVI KAUR Gurjot and RAGHAV Shweta. Pesticides Classification and Its Impact on Environment. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences (ijcmas). 2019, vol 8, n° 3, pp : 1889-1897.

KHAN Salman. The dawn of agriculture, Khan academy, 2016.

KIM TJ, LEE EY, KIM YJ, CHO KS, RYU HW. Dégradation des hydrocarbures polyaromatiques par Burkholderia Cepacia, 2A-12. Monde J. Microbiol. Biotechnol. 2003 ; 19 : 411–417. Doi : 10.1023 / A : 1023998719787.

KOENIGUE et al. Les avantages et les inconvénients des pesticides. OGM et pesticides. Janvier 2014.

KULLMAN SW, MATSUMURA F. Voies métaboliques utilisées par Phanerochaete Chrysosporium pour la dégradation de l'endosulfan de pesticide cyclodiène. Appl. Environ. Microbiol. 1996 ; 62 : 593–600.

KUMAR A, TREFAULT N, OLANIRAN AO. Dégradation microbienne de l'acide 2, 4-dichlorophénoxyacétique : aperçu des enzymes et des gènes cataboliques impliqués, leur régulation et leurs implications biotechnologiques. Crit. Rev. Microbiol. 2016 ; 42 : 194–208. Doi : 10.3109 / 1040841X.2014.917068.

-L-

LASKOWSKI DA. Propriétés physiques et chimiques des pyréthriinoïdes. Rev Environ Contam Toxicol 174, 49-170 (2002).

LAURIN Marie-Claude. Études biologiques et toxicologiques des pesticides utilisés en Pomiculture Québécoise sur le prédateur acararien *ANYSTIS BACCARUM* (L.) et analyse critique des dispositifs d'évaluation Canadien et Américain de la toxicité des pesticides. Mémoire de fin d'études. Spécialité : Sciences de l'Environnement. Université de Québec à Montréal. Novembre 2007. 199 p.

LEHMANN E, FARGUES M, DIBIE JIN, KONATE Y, DE ALENCASTRO LF. Evaluation de la contamination des ressources en eau par les pesticides dans les zones maraîchères du Burkina Faso. Environ. Sci. Pollut. 2018 ; 25 : 3681–3694. Doi : 10.1007 / s11356-017-0665-z.

LEONARD Monique. Place, intérêt et danger des produits phytosanitaires : Toxicité aiguë des pesticides chez l'homme. Institut de médecine et physiologie de la longévité, INSTITUT PRÉVENTION. SANTÉ. LONGÉVITÉ (IPSL) « PREVENTION. HEALTH. LONGEVITY. INSTITUTE. Paris. 10 Janvier 2018.

LE RUYET Tristan. Cyazofamide. Pesticides et Agriculture. 14 Mai 2017.

LI JL, LIN DR, JI R, YAO K, DENG WQ, YUAN HY, WU Q, JIA QS, LUO PW, ZHOU K, et al. Détermination simultanée de la β -cyperméthrine et de son métabolite acide 3-phénoxybenzoïque dans les systèmes de dégradation microbienne par HPLC – UV. J. Chromatogr. Sci. 2016 ; 54 : 1584-1592. Doi : 10.1093 / chromsci / bmw108.

LINKO P, LINKO YY, KENNEDY JF. Applications industrielles des cellules immobilisées. Crit. Rev. Biotechnol. 1983 ; 1 : 289–338. Doi : 10.3109 / 07388558309084659.

Références bibliographique

Lin QS. Biodégradation de la cyperméthrine par un actinomycète HU-S-01 nouvellement isolé à partir de boues d'épuration. *Int J Environ Sci Tech* 8, 45–56 (2011).

LIU B, ZHOU P, LIU X, SUN X, LI H, LIN M. Détection de pesticides dans les fruits par spectroscopie Raman améliorée en surface couplée à des nanostructures d'or. *Technologie des bioprocédés alimentaires*. 2013 ; 6 : 710–718. Doi : 10.1007 / s11947-011-0774-5.

LIU F, CHI Y, WU S, JIA DY & YAO K. Dégradation simultanée de la cyperméthrine et de son métabolite acide 3-phénoxybenzoïque par la coopération de *Bacillus licheniformis* B-1 et *Sphingomonas* sp. SC-1. *J Agric Food Chem* 62, 8256–8262 (2014).

LIU M, YANG Y, XU S, LIU H, HOU L, OU D, LIU Q, CHENG S. HCH et DDT dans les usines de marais salants *Scirpus* de l'estuaire du Yangtze et des zones côtières voisines, Chine. *Chemosphère*. 2006 ; 62 : 440–448. Doi : 10.1016 / j.chemosphere.2005.04.062.

LOUCHAHI Mohamed Rabie. Enquête sur les conditions d'utilisation des pesticides en agriculture dans la région centre de l'algérois et la perception des agriculteurs des risques associés à leur utilisation. Thèse de Magister, Sciences Agronomique. Ecole Nationale Supérieur Agronomique (ENSA), El-Harrach. 04 Novembre 2015.

LUAN TG, KEITH SH, ZHONG Y, ZHOU HW, LAN CY, TAM NF. Étude des métabolites issus de la dégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques Pahas par un consortium bactérien enrichi à partir de sédiments de mangrove. *Chemosphère*. 2006 ; 65 : 2289-2296. Doi : 10.1016 / j.chemosphere.2006.05.013.

LUBICK N. Les pyréthriinoïdes sont omniprésents dans les cours d'eau urbains de Californie. *Environ Sci Technol* 42, 8622–8622 (2008).

-M-

MAGDELAINE Cristophe. Les pesticides ou produits phytosanitaires. *Notre-planète.info*. Salles-Sur-Mer : France. 07/11/2013.

MAHRO B, MÜLLER R, KASCHE V. Biodisponibilité - Le facteur clé de la bioremédiation des sols. *Traiter. Contam. Sol*. 2012 : 181–195. Doi : 10.1007 / 978-3-662-04643-2_13.

MAI P, JACOBSEN OS, AAMAND J. Mineralization and Co-Metabolic Degradation of Phenoxyalkanoic Acid Herbicides by a Pure Bacterial Culture Isolated from an Aquifer. *Appl. Microbiol. Biotechnol*. 2001 ; 56 : 486–490. Doi : 10.1007 / s002530000589.

MALONEY SE. Pesticide Degradation. Dans : Gadd GM, rédacteur. *Champignons en bioremédiation*. 3e éd. Volume 8. La British Mycological Society ; New York, NY, États-Unis : 2001. pp. 188-223.

MANIGANDAN G, RAJA A, VAJIHA BANU H & GAJALAKSHMI P. Isolation of Pesticide Degrading Bacteria From Paddy Fields and Evaluation of Its Bioremediation Potential Efficiency. *Malaysian Journal of Soil Science*. 2019, Vol 23, pp 173-182. ISSN : 1394-7990.

MARKLE JC, VAN BUUREN BH, MORAN K, & BAREFOOT AC. [Pesticides pyréthroïdes dans les eaux usées municipales : une enquête de base sur les installations de traitement public en Californie en 2013]. Décrire le comportement et les effets des pesticides en milieu urbain et agricole, [177–194] (American Chemical Society, Washington, 2014).

Références bibliographique

MARTINEZ Niels, ROBERDEL Thomas et THOMAS Guéric (Classe de 1erS7 au lycée de Cornouaille). Mode d'action. TPE glyphosate. 18/02/2019.

MARTINS MR, SANTOS C, PEREIRA P, CRUZ-MORAIS J, LIMA N. Metalaxyl Degradation by Mucorales Strains *Gongronella* Sp et *Rhizopus Oryzae*. *Molécules*. 2017 ; 22 : 2225. Doi : 10,3390 / molécules22122225.

MA Y, WANG L, SHAO Z. *Pseudomonas*, les bactéries de dégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques dominantes isolées des sols antarctiques et le rôle des grands plasmides dans le transfert horizontal de gènes. *Environ. Microbiol.* 2006 ; 8 : 455–465. Doi : 10.1111 / j.1462-2920.2005.00911.x.

MELENCHON Jean-Luc. Herbicides (Les effets de l'Agents orange au Vietnam et ses conséquences). *Éco-socio-systèmes : La France Insoumise*. Avril 2007.

MELO AL, SOCCOL VT & SOCCOL CR. *Bacillus thuringiensis*: mécanisme d'action, résistance et nouvelles applications: un bilan. *Crit Rev Biotechnol* 29, 1–10 (2014).

MEYER BN, LAM C, MOORE S & JONES RL. Laboratoire des taux de dégradation de 11 pyréthroïdes dans des conditions aérobies et anaérobies. *J Agric Food Chem* 61, 4702–4708 (2013).

MOHAMED AK, PRATT JP, NELSON FR. Compatibilité de *Metarhizium Anisopliae* Var. *Anisopliae* avec des pesticides chimiques. *Mycopathologie*. 1987 ; 99 : 99-105. Doi : 10.1007 / BF00436913.

MOKHTARI-AYAD Nahida. Identification et Dosage des Pesticides dans l'Agriculture et les Problèmes d'Environnement liés. Mémoire de Magister. Option : Chimie Organique (Environnement), Laboratoire de Synthèse Organique Appliquée (LSOA), Faculté des sciences : Université Ahmed Ben Bella, Oran. 15 Octobre 2012. 87 p.

MORGAN MK. Expositions des enfants aux insecticides pyréthrinoïdes à la maison : un examen des données recueillies dans des études publiées de mesure de l'exposition menées aux États-Unis. *Int J Environ Res Public Health* 9, 2964–2985 (2012).

MREMA EJ, RUBINO FM, COLOSIO C. Pesticides obsolètes - Une menace pour l'environnement, la biodiversité et la santé humaine. *Environ. Secur. Évaluer. Manag. Obsolète. Pesticide. Sud-est Eur.* 2013 ; 134 : 1–21. Doi : 10.1007 / 978-94-007-6461-3_1.

MUNAWAR A. Caractéristiques chimiques des déchets organiques et leur utilisation potentielle pour l'assainissement du drainage minier acide. *Jurnal Natur Indonesia*. 2010 ; 12 : 167-172.

MURANLI FDG. Evaluation génotoxique et cytotoxique des insecticides pyréthrinoïdes λ -cyhalothrine et α -cyperméthrine sur culture de lymphocytes sanguins humains. *Bull Environ Contam Toxicol* 90, 357–363 (2013).

-N-

NARWAL SK, GUPTA R. Manuel de recherche sur les techniques inventives de bioremédiation. 1ère éd. University of Kalyani Press ; Bengale occidentale, Inde : 2017. Biodégradation des composés xénobiotiques : un aperçu ; 186-212.

NAYAK SK, DASH B, BALIYARSINGH B. Remédiation microbienne des produits agrochimiques persistants par les bactéries du sol : un aperçu. *Microb. Biotechnol.* 2018 ; 275-301. Doi : 10.1007 / 978-981-10-7140-9_13.

NGOWI AVF, MBISE TJ, IJANI ASM, LONDRES L, AJAYI OC. Petits producteurs maraîchers du nord de la Tanzanie : pratiques d'utilisation des pesticides, perceptions, coût et effets sur la santé. *Crop Prot.* 2007 ; 26 : 1617–1624. Doi : 10.1016 / j.cropro.2007.01.008.

NOUR EH, ELSAYED TR, SPRINGAEL D, SMALLA K. Dynamics Comparable of Linuron Catabolic Genes et Incp-1 Plasmids in Biopurification Systems Bpss as A Response to Linuron Spiking. *Appl. Microbiol. Biot.* 2017 ; 101 : 4815–4825. Doi : 10.1007 / s00253-017-8135-6.

-O-

OLIVEIRA BR, PENETRA A., CARDOSO VV, BENOLIEL MJ, CRESPO MB, SAMSON RA, PEREIRA VJ. Biodégradation de pesticides à l'aide d'espèces de champignons trouvés dans l'environnement aquatique. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2015 ; 22 : 11781-11791. Doi : 10.1007 / s11356-015-4472-0.

-P-

PARTE SG, MOHEKAR AD, KHARAT AS. Dégradation microbienne des pesticides : un examen. *Afr. J. Microbiol. Res.* 2017 ; 11 : 992-1012. Doi : 10.5897 / AJMR2016.8402.

PEREIRA Alexia, KARIHILA Mbarik, DUBOIS Mirabelle. LES PESTICIDES L'emploi des pesticides est-il indispensable à une forte productivité malgré ses dangers. Mimbal, Projet TPE. 2016.

PEREZ JJ, WILLIAMS MK, WEERASEKERA G, SMITH K, WHYATT RM, NEEDHAM LL, BARR DB. Mesure des insecticides pyréthroïdes, organophosphorés et carbamates dans le plasma humain à l'aide de la chromatographie en phase gazeuse à dilution isotopique - spectrométrie de masse à haute résolution. *J. Chromatogr. B.* 2010 ; 878 : 2554–2562. Doi : 10.1016 / j.jchro.2010.03.015.

PERIQUET Alain, BOISSET Michel, CASSE Francine, CATTEAU Michel, LECERF Jean-Michel, LEGUILLE Carole, LAVILLE Jérôme et BARNAT Saïda. Pesticides, Risques et Sécurité Alimentaire. Comité De Sécurité Alimentaire d'APRIFEL (Agence Pour la Recherche et l'Information en Fruits Et Légumes Frais). Janvier 2004. 216 p.

PFLIEGER Maryline. Etude de la dégradation photochimique des pesticides adsorbés à la surface de particules atmosphériques. Thèse de doctorat, spécialité : Biosciences de l'environnement, chimie, santé ; laboratoire chimie CNRS / UMR 6264. École doctorale de Sciences de l'Environnement, Université de Provence. 12 Juin 2009, p. 293.

PIMENTEL D, MCNAIR S, JANECKA J, WIGHTMAN J, SIMMONDS C, O'CONNELL C, WONG E, RUSSEL L, ZERN J, AQUINO T, et al. Menaces économiques et environnementales des invasions de plantes, d'animaux et de microbes

Références bibliographique

exotiques. Agric. Écosystème. Environ. 2001 ; 84 : 1–20. Doi : 10.1016 / S0167-8809 (00) 00178-X.

PRABHA R., SINGH DP, VERMA MK. Interactions plante-microbe dans des perspectives agro-écologiques. Springer ; Singapour : 2017. Interactions microbiennes et perspectives pour la bioremédiation des pesticides dans les sols ; pp. 649–671.

-Q-

QU J, XU Y, AI GM, LIU Y, LIU ZP. Novel Chryseobacterium sp. Le PYR2 dégrade divers pesticides organochlorés OCP et améliore l'élimination et la dégradation complète du DDT dans les sols hautement contaminés. J. Environ. Manag. 2015 ; 161 : 350–357. Doi : 10.1016 / j.jenvman.2015.07.025.

-R-

RACKE KD, SKIDMORE M, HAMILTON DJ, UNSWORTH JB, MIYAMOTO J, COHEN SZ. Pesticide Fate in Tropical Soils. Pest. Manag. Sci. 2015 ; 55 : 219–220. Doi : 10.1002 / (SICI) 1096-9063 (199902) 55 : 2 <219 : AID-PS821> 3.0.CO ; 2-Y.

RAMYA SL, VENKATESAN T, SRINIVASA MURTHY K, JALALI SK, VERGHESE A. Détection de l'activité de la carboxylestérase et de l'estérase dans la flore bactérienne intestinale cultivée isolée de Diamondback Moth, *Plutella Xylostella* (Linnaeus), de l'Inde et son rôle possible dans l'indoxacarbe Dégradation. Braz. J. Microbiol. 2016 ; 47 : 327–336. Doi : 10.1016 / j.bjm.2016.01.012.

RIERA Marie, FRAISSE Zappa et FERRARI Colin. L'histoire des pesticides. TPE pesticides. 2016,

ROBERTS TR, STANDEN ME. Dégradation du pyréthroïde Cyperméthrine NRDC 149 ± - α -cyano-3-phénoxybenzyl ± -cis, trans-3-2, 2-dichlorovinyl-2, 2-diméthylcyclopropanecarboxylate et le cis-NRDC 160 respectif et trans-NRDC 159 isomères dans les sols. Pesticide. Sci. 1977 ; 8 : 305–319. Doi : 10.1002 / ps.2780080402.

ROMERO-AGUILAR M, TOVAR-SANCHEZ E, SANCHEZ-SALINAS E, MUSSALI-GALANTE P, SANCHEZ-MEZA JC, CASTREJON-GODINEZ ML, DANTAN-GONZALEZ E, TRUJILLO-VERA MA, ORTIZ-HERNANDEZ ML. *Penicillium* sp. En tant qu'organisme qui dégrade l'endosulfan et réduit ses effets génotoxiques. SpringerPlus. 2014 ; 3 : 536. Doi : 10.1186 / 2193-1801-3-536.

-S-

SAGAR V, SINGH DP. Biodégradation du pesticide de lindane par le champignon du sol non pourritures blanches *Fusarium* Sp. Monde J. Microb. Biot. 2011 ; 27 : 1747-1754. Doi : 10.1007 / s11274-010-0628-8.

SANAHUJA G, BANAKAR R, TWYMAN RM, CAPELL T & CHRISTOU P. *Bacillus thuringiensis* : un siècle de recherche, développement et applications commerciales. Plant Biotechnol J 9, 283–300 (2011).

SARTOROS C, YERUSHALMI L, BERON P, GUIOT SR. Effets du surfactant et de la température sur la cinétique de biotransformation de l'antracène et du pyrène. Chemosphère. 2015 ; 61 : 1042-1050. Doi : 10.1016 / j.chemosphere.2005.02.061.

Références bibliographique

SERRA Anne-Antonella. 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. Spécialité : Biologie, Ecole doctorale Vie-Agro-Santé (VAS), unité de recherche UMR CNRS 6553 ECOBIO Écosystème Biodiversité Évolution : Université de Rennes 1, ueb (Université Européenne de Bretagne), 2015. 305 p.

SHEHATA SA, EL-DIB MA, WALY HA. Effet de certains herbicides sur la croissance des algues d'eau douce. Pollution du sol de l'air de l'eau. 1997 ; 100 : 1–12. Doi : 10.1023 / A : 1019228719202.

SIEGWART Myriam. Modes d'action des insecticides. INRA, Journées d'Échanges sur les Résistances aux produits de protection des plantes (JÉR). 2017.

SINGH B, KAUR J, SINGH K. Microbille Dégradation of an Organophosphate Pesticide, Malathion. Crit. Rev. Microbiol. 2014 ; 40 : 146-154. Doi : 10.3109 / 1040841X.2013.763222.

SINGH BK. Bactéries dégradant les organophosphorés : écologie et applications industrielles. Nature Revu Microbiol 7, 156–163 (2009).

SINGH BK, WALKER A. Dégradation microbienne des composés organophosphorés. FEMS Microbiol. Rev. 2006 ; 30 : 428–471. Doi : 10.1111 / j.1574-6976.2006.00018.x.

SINGH DK. Biodégradation et bioremédiation des pesticides dans le sol : concept, méthode et développements récents. Indien. J. Microbial. 2008 ; 48 : 35–40. Doi : 10.1007 / s12088-008-0004-7.

SINHA C, AGRAWAL AK, ISLAM F, SETH K, CHATURVEDI RK, SHUKLA S, SETH PK. Mosquito Repellent Pyrethroid-Based Induced Dysfunction of Blood – Brain Barrier Permeability in Developing Brain. Int. J. Dev. Neurosci. 2004 ; 22 : 31–37. Doi : 10.1016 / j.ijdevneu.2003.10.005.

SMITH GP. Filamentous Fusion Phage : Nouveaux vecteurs d'expression qui affichent des antigènes clonés sur la surface du virion. Science. 1985 ; 228 : 1315–1317. Doi : 10.1126 / science.4001944.

SODERLUND DM. Mécanismes moléculaires de la neurotoxicité des insecticides pyréthrinoïdes : progrès récents. Arch Toxicol 86, 165–181 (2012).

SOLA M, RIUDAVETS J, AGUSTI N. Détection et identification de cinq insectes ravageurs communs des grains internes par PCR multiplex. Contrôle des aliments. 2018 ; 84 : 246–254. Doi : 10.1016 / j.foodcont.2017.08.002.

SOULAS G, LAGACHERIE B. Modélisation de la dégradation microbienne des pesticides dans les sols. Biol. Fertil. Les sols. 2001 ; 33 : 551–557. Doi : 10.1007 / s003740100363.

SPURLOCK F & LEE M. [Pyréthroïdes synthétiques : occurrence et comportement en milieu aquatique]. Modèles d'utilisation, propriétés et effets environnementaux des pyréthrinoïdes synthétiques [Gan, J., Spurlock, F., Hendley, P. & Weston, D. (ed.)] [3–25] (American Chemical Society, Washington, 2008).

SUN H, CHEN W, XU XL, DING Z, CHEN XD, WANG XR. Pyréthroïde et leur métabolite, l'acide 3-phénoxybenzoïque a montré une activité anti-œstrogène similaire dans les dosages de

Références bibliographique

gène rapporteur médié par les récepteurs œstrogènes humains et de rat. Environ. Toxicol. Pharmacol. 2014 ; 37 : 371–377. Doi : 10.1016 / j.etap.2013.11.031.

-T-

TALLUR PN, MEGADI VB & NINNEKAR HZ. Biodégradation de la cyperméthrine par *Micrococcus* sp. Souche CPN 1. Biodégradation 28, 77–82 (2008). [En ligne]

TANG W. Progrès de la recherche sur la dégradation microbienne des pesticides organophosphorés. Programme. Appl. Microbiol. 2018 ; 1 : 29–35.

THIBAUT Burg. Les Maladies Neurodégénératives. Planet vie (Ressources en sciences de la vie pour les enseignants), ENS éducol. 25. 04. 2017.

TOPP E, AKHTAR MH. Identification et caractérisation d'une souche de *Pseudomonas* capable de métaboliser les phénoxybenzoates. Appl. Environ. Microbiol. 1991 ; 57 : 1294.

TOSI S, COSTA C, VESCO U, QUAGLIA G, GUIDO G. Une enquête de trois ans sur le pollen récolté par les abeilles mellifères en Italie révèle une contamination généralisée par les pesticides agricoles. Sci. Total Environ. 2018 ; 615 : 208–218. Doi : 10.1016 / j.scitotenv.2017.09.226.

TSAI YS, HUANG JL, LIN CS. Application de la réactivation des cellules hôtes dans l'évaluation des effets des médicaments anticancéreux et des toxiques environnementaux sur l'activité de réparation de l'ADN cellulaire dans le cancer de la tête et du cou. Sel. Haut. Réparation de l'ADN. 2011 : 465–482. Doi : 10.5772 / 24472.

TYLER CR, BERESFORD N, VANDER WONING M, SUMPTER JP, TCHORPE K. Le métabolisme et la dégradation de l'environnement des insecticides pyréthroïdes produisent des composés avec des activités endocriniennes. Environ. Toxicol. Chem. 2000 ; 19 : 801–809. Doi : 10.1002 / etc.5620190404.

-U-

UNSWORTH John. HISTORY OF PESTICIDE USE. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), 10th May 2010.

UPADHYAY LS, DUTT A. Biotechnologie microbienne. Springer ; Singapour : 2017. Détoxification microbienne des pesticides organophosphorés résiduels dans les pratiques agricoles ; 225–242.

-V-

VELMURUGAN B, SELVANAYAGAM M, CENGIZ EI ET UNLU E. Histopathologie de la lambda-cyhalothrine sur les tissus (branchies, reins, foie et intestin) de *Cirrhinus mrigala*. Environ Toxicol Pharmacol 24, 286-291 (2007).

VERMA JP, JAISWAL DK, SAGAR R. La pertinence des pesticides et leur dégradation microbienne : A-State-of-Art. Rev. Environ. Sci. Technol. 2014 ; 13 : 429–466. Doi : 10.1007 / s11157-014-9341-7.

VIDAL JLM, PLAZA-BOLANOS P, ROMERO-GONZALEZ R, FRENICH AG. Détermination des produits de transformation des pesticides : un examen des méthodes

Références bibliographique

d'extraction et de détection. *J. Chromatogr. A.* 2009 ; 1216 : 6767–6788. Doi : 10.1016 / j.chroma.2009.08.013.

VILLARD Pierre-Henri. L'effet des pesticides sur la santé. Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie : Université Aix Marseille. Slide Player. 2017.

-W-

WACKETT L, SADOWSKY M, MARTINEZ B, SHAPIR N. Biodégradation de l'atrazine et des composés de S-triazine apparentés : des enzymes aux études sur le terrain. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2002 ; 58 : 39–45. Doi : 10.1007 / s00253-001-0862-y.

WALTER GH, CHANDRASEKARAN S, COLLINS PJ, JAGADEESAN R, MOHANKUMAR S, ALAGUSUNDARAM K, EBERT PR, DAGLISH GJ, NAYAK MK, MOHAN S, ET AL. Le grand défi de la sécurité alimentaire: leçons générales d'une approche globale de la protection des céréales stockées contre les insectes ravageurs en Australie et en Inde. *Indian J. Entomol.* 2016 ; 78 : 7–16. Doi : 10.5958 / 0974-8172.2016.00020.1.

WANG S & HE J. Les bactéries phylogénétiquement distinctes impliquent une déchloration extensive de l'aroclor 1260 dans des cultures sans sédiments. *Plos One* 8, e59178 (2013).

WESTON DP, ASBELL AM, HECHT SA, SCHOLZ NL ET LYDY MJ. Pyréthroïdes insecticides dans les cours d'eau à saumon urbains du nord-ouest du Pacifique. *Environ Pollut* 159, 3051-3056 (2011).

WOLFAND JM, LEFEVRE GH, LUTHY RG. Métabolisation et dégradation de la cinétique du pesticide à usage urbain Fipronil par White Rot Fungus *Trametes Versicolor*. *Environ. Sci. Processus. Impacts.* 2016 ; 18 : 1256-1265. Doi : 10.1039 / C6EM00344C.

-X-

XIAO Y, CHEN S, GAO Y, HU W, HU M, ZHONG G. Isolation d'une nouvelle souche dégradant la bêta-cyperméthrine *Bacillus Subtilis* BSF01 et sa voie de biodégradation. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2015 ; 99 : 2849-2859. Doi : 10.1007 / s00253-014-6164-y.

XIAO PF, MORI T, KONDO R. Bioconversion de l'époxyde d'heptachlore par les champignons de la décomposition du bois et détection des métabolites. *Adv. Mater. Res.* 2012 ; 518 : 29–33. Doi : 10.4028 / www.scientific.net / AMR.518-523.29.

XIE WJ, ZHOU JM, WANG HY, CHEN XQ. Effet de l'azote sur la dégradation de la cyperméthrine et de son métabolite acide 3-phénoxybenzoïque dans le sol. *Pédosphère.* 2008 ; 18 : 638–644. Doi : 10.1016 / S1002-0160 (08) 60058-2.

-Y-

YE X, DONG F, LEI X. Ressources microbiennes et écologie - Dégradation microbienne des pesticides. *Nat. Resour. Conserv. Res.* 2018 ; 1 doi : 10.24294 / nrcr.v1i1.242.

YOUSEF MI. Vitamin E module la toxicité pour la reproduction du pyréthroïde lambda-cyhalothrine chez les lapins mâles. *Food Chem Toxicol* 48, 1152–1159 (2010).

Références bibliographique

YUAN SY, CHANG SW, CHANG BV. Biodégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les boues. Taureau. Environ. Contam. Toxicol. 2003 ; 71 : 0625–0632. Doi : 10.1007 / s00128-003-8841-x.

-Z-

ZHAI Y, LI K, SONG J, SHI Y & YAN Y. Clonage moléculaire, purification et caractérisation biochimique d'un nouveau gène de carboxylestérase hydrolysant les pyréthriinoïdes à partir d'*Ochrobactrum anthropi* YZ-1. J Hazard Mater 221–222, 206–212 (2012).

ZHANG C, JIA L, WANG SH, QU J, LI K, XU LL, SHI YH, HAN YC. Biodégradation de la bêta-cyperméthrine par *Serratia* Spp. Avec une hydrophobicité différente de la surface cellulaire. Bioresour. Technol. 2010 ; 101 : 3423–3429. Doi : 10.1016 / j.biortech.2009.12.083.

ZHANG H, MA D, QIU R, TANG Y, DU C. Technologie plasma non thermique pour l'assainissement des sols contaminés organiques : un examen. Chem. Eng. J. 2017 ; 313 : 157-170. Doi : 10.1016 / j.cej.2016.12.067.

ZHANG L, GAO X, LIANG P. Beta-cypermethrin Resistance Associated with High Carboxylesterase Activities in a Strain of House Fly, *Musca Domestica* (Diptera: Muscidae) Pestic. Biochem. Physiol. 2007 ; 89 : 65–72. Doi : 10.1016 / j.pestbp.2007.03.001.

ZHANG Q, WANG C, SUN L, LI L & ZHAO M. Cytotoxicité de la lambda-cyhalothrine sur la lignée cellulaire de macrophages RAW 264.7. J Environ Sci 22, 428–432 (2010).

ZHANG Xiaoqing, HAO Xiangxiang, HUO Shanshan, LIN Wanzhong, XIA Xinxin, LIU Kuai, DUAN Bihua. Isolation and identification of the *Raoultella ornithinolytica*- ZK4 degrading pyrethroid pesticides within soil sediment from an abandoned pesticide plant. Archives of Microbiology. 12 June 2019, vol 201, pp 1207–1217.

ZHANG Z, ZHENG P, LI W, WANG R, GHULAM A. Effet des toxiques organiques sur l'activité de la boue granulaire dénitrifiante. Environ. Technol. 2015 ; 36 : 699–705. Doi : 10.1080 / 09593330.2014.959065.

ZHOU Y, CHOI YL, SUN M et YU Z. Nouveaux rôles de *Bacillus thuringiensis* pour lutter contre les maladies des plantes. Appl Microbiol Biotechnol 80, 563-572 (2008).

ZHU M, MCCULLY LM, SILBY MW, CHARLES-OGAN TI, HUANG J, BRIGHAM CJ. Draft Genome Sequence of *Ralstonia* sp. MD27, une bactérie dégradant le poly-3-hydroxybutyrate, isolée du compost. Génome. Annonces. 2015 ; 3 : e01170-15. Doi : 10.1128 / génomeA.01170-15.

ANNEXES

Annexe 1 :

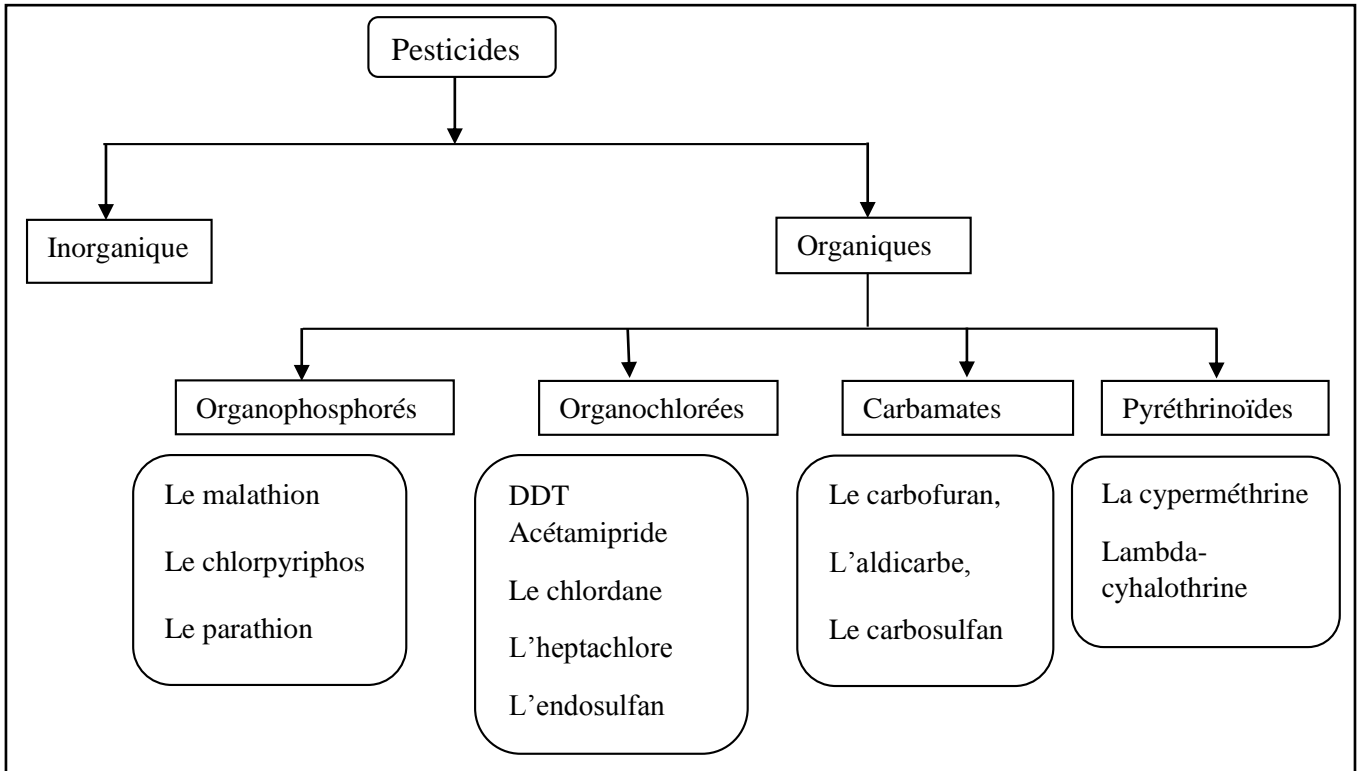


Figure 30 : Schéma récapitulatif de la classification des pesticides et certains exemples de chaque classe chimique.

Annexe 2 :

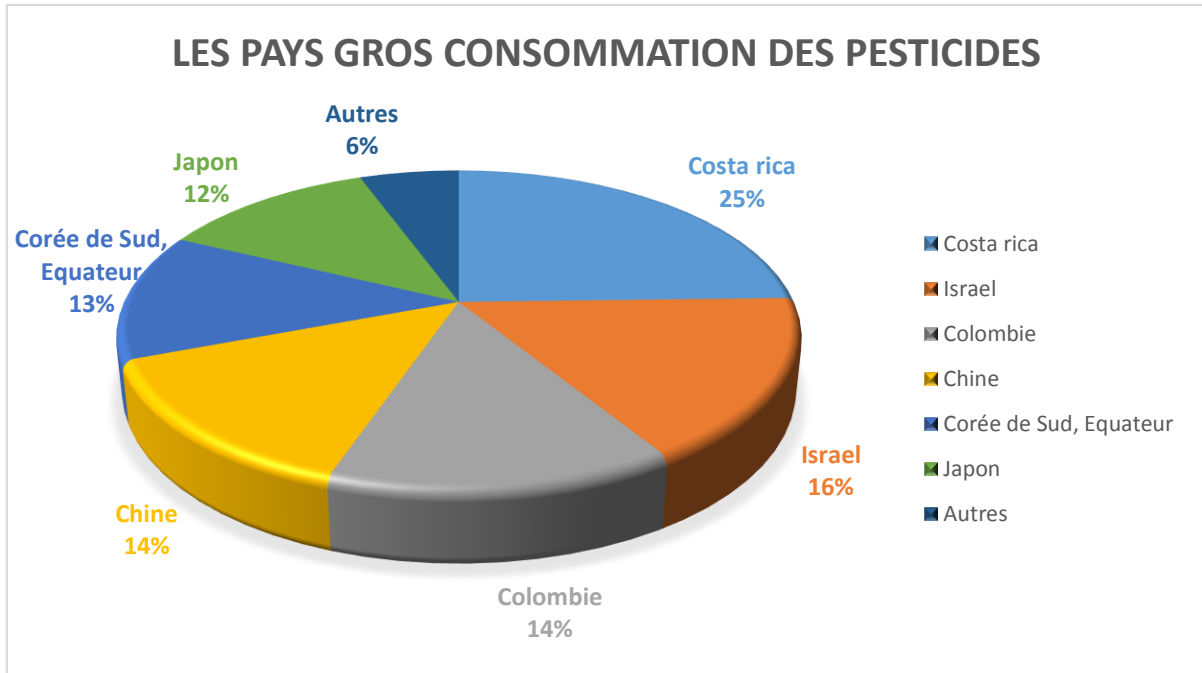


Figure 31 : Les pays les plus utilisateurs des pesticides et leurs consommations respectives en 2016 (Kg/ha) (Garnier, 2019)