



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique Et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Constantine 1 Frères Mentouri  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري  
كلية علوم الطبيعة والحياة

**Département :** Biologie et Ecologie Végétale : قسم

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

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Écologie et Environnement

**Spécialité :** Écologie Fondamentale et Appliquée

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

---

## Biopesticides d'origine végétale comme alternative aux pesticides de synthèse

---

**Présentée par :** Chaweye Aboubacar Haouaou

**Le :** 12 /06/2024

**Jury d'évaluation :**

**Président :** Mme Kara K. MCA-UFMC1

**Encadrant :** Mme Benterrouche I. MAA- UFMC1

**Examineur :** Mme Cheriti O. MAB-UFMC1

**Année universitaire  
2023 – 2024**

---

## Remerciements

Mes remerciements s'adressent d'abord à Dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire

Je voudrais particulièrement adresser toute ma reconnaissance et mes remerciements à mon encadrante, Mme BENTERROUCHE I., pour sa disponibilité, sa rigueur scientifique, sa patience, son exigence, ses conseils judicieux et ses compétences pédagogiques dans ce travail qui m'ont permis de bien mener mon mémoire

Mes vifs remerciements vont également à Mme KARA K., pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Je suis également très honorée que Mme CHERITI O., ait accepté de faire partie du jury pour examiner ce travail et y apporter sa contribution enrichissante.

Je désire remercier Mr Bazri K., chef de département de la biologie et de l'écologie végétale, UFMC1, pour son aide et son professionnalisme

Je tiens également à remercier tous mes professeurs, pour leurs enseignements précieux et leurs conseils avisés

Je souhaite également exprimer ma gratitude à tous mes professeurs pour leurs précieux enseignements et leurs conseils avisés.

Mes remerciements à ma famille qui a cru en moi et m'a constamment encouragé et soutenu.

---

## Dédicaces

Du plus profond de mon cœur, je dédie ce travail à :

À mon cher père,

À ma chère mère,

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

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie .

À mon partenaire Adamou

Pour la patience dont tu fais toujours preuve à mon égard, pour ton attention, pour ta présence dans les bons comme dans les mauvais jours.

À mes merveilleuses sœurs : Mariama et Aïcha,

À mes adorables frères: Chaibou et Mohamed

À travers ce travail, je célèbre notre lien

À mes amis pour leur présence et leurs encouragements.

Ce travail est le fruit de nos efforts combinés, et je vous en suis profondément reconnaissante.

---

# Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	

## Introduction

### Chapitre I : Généralités sur les pesticides

I.1. Historique .....	4
I.2. Définition .....	4
I.3. Composition et formulation des pesticides .....	5
I.4. Classification des pesticides .....	5
I.4.1. Classification selon la cible visée .....	5
I.4.1.1. Les herbicides .....	5
I.4.1.2. Les insecticides .....	7
I.4.1.3. Les fongicides .....	7
I.4.2. Classification chimique de la substance active .....	7
I.4.2.1. Pesticides organiques .....	8
I.4.2.2. Pesticides inorganiques .....	9
I.4.2.3. Pesticides organo- métalliques .....	10
I.4.3. Classification selon l'usage .....	11
I.4.4. Classification selon la toxicité .....	11
I.4.5. Classification par mode d'action .....	11
1.5. Avantages et inconvénients des pesticides .....	11

### Chapitre II : Devenir des pesticides dans l'environnement et leur impact sur la santé humaine

II.1. Devenir des pesticides dans l'environnement .....	15
II.1.1. Mécanismes de dispersion et de transfert des pesticides .....	15
II.1.1.1. Le transfert vers l'atmosphère .....	15
II.1.1.2. Le transfert à la surface du sol .....	16
II.1.1.3. Le transfert dans le sol .....	16

---

II.1.2. Phénomène de rétention .....	16
II.1.2.1. Rétention biologique (absorption par les plantes).....	17
II.1.2.2. Rétention physico-chimique (adsorption) .....	17
II.1.3. Phénomène de dégradation.....	17
II.1.3.1. La dégradation biotique (Biodégradation) .....	17
II.1.3.2. La dégradation abiotique ou chimique .....	18
II.2. Effet des pesticides sur l'environnement.....	18
II.2.1. Pollution de l'air.....	18
II.2.2. Pollution de l'eau.....	18
II.2.3. Pollution sur le sol.....	20
II.3. Effet des pesticides sur la santé humaine .....	20
II.3.1. Voies d'expositions et pénétration .....	20
II.3.1.1. Voies d'expositions .....	20
II.3.1.2. Voies de pénétration.....	21
II.3.2. Toxicité des pesticides.....	22
II.3.2.1. Toxicité aiguë .....	25
II.3.2.2. Toxicité chronique.....	26

### **Chapitre III : Biopesticides d'origine végétale comme alternatives aux pesticides de synthèses**

III .1. Historique.....	29
III.2. Définition .....	29
III.3. Différentes catégories de biopesticides .....	31
III.3.1. Biopesticides microbiens .....	31
III.3.1.1. Biopesticides bactériens.....	31
III.3.1.2. Biopesticides fongiques .....	33
III.3.1.3. Biopesticides viraux.....	34
III.3.1.4. Protozoaires comme biopesticides .....	36
III.3.1.5. Biopesticides à base d'algues.....	36
III.3.1.6. Nématodes comme biopesticides .....	37
III.3.2. Biopesticides animaux .....	38
III.3.3. Biopesticides végétaux.....	39
III.4. Formulations des biopesticides .....	41

---

III.5. Plantes protectrices incorporés (PIP) .....	41
III.6. Les caractéristiques des biopesticides végétaux .....	43
III.6.1. Sélectivité.....	44
III.6.2. Spécificité.....	44
III.6.3. Biodégradabilité .....	44
III.6.4. Résistance.....	44
III.6.5. Biodisponibilité.....	44
III.7. Processus d'extraction et types d'extraits des biopesticides végétaux.....	45
III.7.1. Processus d'extraction.....	45
III.7.2. Types d'extraits.....	45
III.8. Biopesticides d'origine végétale et perspective de lutte .....	47
III.8.1. Pouvoir insecticide des plantes biopesticides .....	47
III.8.2. Pouvoir herbicide de quelques plantes biopesticides .....	48
III.8. 3. Pouvoir fongicide et bactéricide de quelques plantes biopesticides .....	49
III.8.4. Etude comparative des biopesticides végétales avec les pesticides de synthèses .....	52
III.9. Toxicité et effets des pesticides végétaux sur l'homme.....	53
Conclusion .....	55
Références Bibliographiques .....	57

---

## Liste des figures

Figure 1: Estimation des rendements mondiaux moyens selon l'utilisation ou non de produits phytopharmaceutiques, par rapport au rendement maximal. ....	13
Figure 2: Schéma récapitulatif des mécanismes de transfert des pesticides).....	15
Figure 3: Synthèse des processus qui mènent à la contamination de l'eau à la suite des applications des pesticides.....	19
Figure 4: Les sources et voies d'expositions .....	21
Figure 5: Représentation schématique de six types de biopesticides microbiens.....	31
Figure 6: Mode d'action des <i>Bacillus thuringiensis</i> .....	33
Figure 7: Mode d'action des champignons entomopathogènes contre les insectes lépidoptères. ....	34
Figure 8: Mode de parasitisme des baculovirus.....	35
Figure 9: Mode d'action des nématodes entomopathogènes contre les insectes lépidoptères.....	38
Figure 10: Mode d'action des pesticides biochimiques .....	40

---

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Formulations des pesticides .....	6
Tableau 2 : Quelques familles chimiques de pesticides et leur classement selon leur cible.....	10
Tableau 3 : Critère de classification révisés (en usage depuis la mise à jour de 2009) .....	11
Tableau 4 : Classement des pesticides par mode d'action .....	12
Tableau 5 : Classification et étiquetage des substances et produits physiques pour la santé humaine et l'environnement .....	22
Tableau 6 : Exemples de biopesticides .....	30
Tableau 7 : Formulations des biopesticides .....	42
Tableau 8 : Liste des agents protecteurs incorporés aux plantes contre les ravageurs des cultures ..	43
Tableau 9 : Activité insecticide de quelques plantes .....	48
Tableau 10 : Activité herbicide de quelques plantes.....	49
Tableau 11 : Activité antifongique et antibactérienne de quelques plantes .....	51
Tableau 12 : Avantages et inconvénients des biopesticides par rapport aux pesticides de synthèse.	52



---

## Liste des Abréviations

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

MA : Matière Active

IA : Ingrédient Actif

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

IBS : Inhibiteurs Systémiques de la Synthèse des Stéroïdes

Ocs : OrganoChlorés

OPs : OrganoPhosphorés

DDT : Dichloro Diphényl Trichloroéthane

MCPA : Acide 2-méthyl-4-chlorophénoxyacétique

2,4,5-T : L'acide 2,4,5-trichlorophénoxyacétique

DL : Dose Létale

UIPP: Union des Industries de la Protection des Plantes

FAO : Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture

CO2 : Dioxyde de Carbone

CLP : Classification, Labelling, Packaging ( classification, étiquetage, emballage )

SGH : Système Général Harmonisé

Cry : Crystal protéine

Cyt : Cystéine

ADN : Acide Deoxyribose Nucleique

ARN : Acide Ribo Nucleique

TCAC : Taux de Croissance Annuel Composé

---

## Introduction

L'application intensive de pesticides chimiques est la principale approche employée depuis les années pour combattre les ravageurs de l'agriculture, comme les bactéries, les mauvaises herbes, les insectes et les champignons, ayant la capacité de diminuer la productivité et la qualité de la production agricole (Kumar et Singh, 2015). Cependant, leur utilisation intensive a entraîné des conséquences environnementales et sanitaires préoccupantes (Carson, 1962).

Les pesticides de synthèse, en particulier, ont la capacité de se disperser dans les différents compartiments de l'environnement, devenant ainsi des polluants du sol, de l'air, de l'eau ou des aliments (Pimentel, 1995).

Des études ont montré que ces substances peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire et affecter négativement la santé humaine, notamment celle des agriculteurs et des consommateurs (Gravrilesco et al., 2015).

L'utilisation excessive de pesticides et leur rejet dans les plans d'eau pendant les précipitations sont souvent responsables de la mort des poissons et d'autres espèces aquatiques. Même pendant la vie des poissons, leur consommation par les êtres humains peut entraîner la bioamplification de substances chimiques dans le corps et entraîner des maladies graves, comme le cancer, les maladies rénales, le diabète, le dysfonctionnement hépatique, l'eczéma, la destruction neurologique, les maladies cardiovasculaires, etc. Les pesticides synthétiques ont également des effets néfastes sur la texture du sol, les microbes du sol, les animaux et les plantes (Ayilara et al., 2023).

Devant ces défis, il est devenu primordial de trouver des solutions durables et moins néfastes. Les biopesticides, aussi connus sous le nom de pesticides biologiques, sont des substances chimiques naturelles, provenant d'animaux, de plantes, et de bactéries. La plupart du temps, les biopesticides possèdent des méthodes d'actions spécifiques et sont perçus comme des pesticides à risque limité pouvant être appliqués comme alternatives à l'utilisation de pesticides chimiques (Prabha et al., 2016).

Les biopesticides se distinguent par leur prix abordable, leur respect pour l'environnement, leur mode d'action spécifique, leur durabilité, sans résidus et ne sont pas liés aux émissions de gaz à effet de serre (Borges et al., 2021).

En effet, les pesticides d'origines végétales constituent une des solutions prometteuses pour relever ce défi (Isman, 2006). Ces produits proviennent d'extraits de plantes et offrent de nombreux

---

bénéfices par rapport aux pesticides de synthèse, notamment une toxicité réduite pour les organismes non ciblés et une meilleure biodégradabilité (Dayan et al., 2019).

L'objectif de ce travail bibliographique vise à explorer le potentiel des pesticides d'origine végétale comme alternatives aux pesticides de synthèse. Nous examinerons la problématique suivante : comment les pesticides d'origine végétale peuvent-ils offrir une solution durable et moins nocive pour gérer les ravageurs et les maladies des cultures, par rapport aux pesticides de synthèse ? Pour répondre à cette problématique, nous exposerons d'abord dans le premier chapitre une synthèse bibliographique comportant des généralités liées à l'utilisation des pesticides de synthèse et leur devenir dans les différents compartiments de l'environnement. Puis, dans le deuxième chapitre nous nous consacrons aux différents impacts des pesticides sur la santé de l'homme. Dans le troisième chapitre nous décrirons les biopesticides comme alternative aux pesticides de synthèse, avant d'analyser leur efficacité, leurs limites et leurs impacts environnementaux et sanitaires. Nous terminerons avec une conclusion, des perspectives et des défis pour l'utilisation des biopesticides.

---

# **Chapitre I : Généralités**

## **sur les pesticides**

---

## I.1. Historique

Les pesticides sont utilisés depuis l'Antiquité dans l'agriculture : l'utilisation du soufre semble dater de la Grèce antique et l'arsenic (moyen âge) était recommandé par Pline, naturaliste romain, comme insecticide. Mais l'utilisation généralisée des pesticides a débuté avec le progrès de la chimie minérale. Au XIXe siècle, les fongicides étaient à base de sulfate de cuivre dont la bouillie bordelaise ou de mercure tandis que les insecticides étaient à base d'arsénite de cuivre ou de plomb (Calvet, et al., 2005).

Au XXe siècle, l'essor de la chimie organique et la recherche sur les armes chimiques durant les deux guerres mondiales ont fait émerger de nouveaux composés organiques utilisés en agriculture comme les organochlorés puis les organophosphorés, les carbamates et les pyréthriinoïdes. Depuis la tendance est à la baisse, surtout pour les insecticides et les herbicides pour lesquelles les quantités utilisées ont considérablement diminuées (Bernard et Rameil, 2005).

## I.2. Définition

Le terme "pesticides", qui est un terme générique issu du latin "caedere" (tuer) et "pestis" (fléau), a été introduit dans la langue anglaise dès les années 1940, puis dans la langue française à la fin des années 1950. IL est utilisé à la fois dans le langage courant et scientifique (Baldi et al., 2013).

Un pesticide est une substance, ou un mélange de substances, employé pour empêcher l'action, la destruction ou la neutralisation d'un ravageur, d'un vecteur de maladie humaine ou animale, d'une espèce végétale ou animale nocive ou gênante lors de la production, de la transformation, de l'entreposage, du transport ou de commercialisation de denrées alimentaires, de produits agricoles, de bois et de ses dérivés, ou d'aliments pour animaux, ou encore destinée à être administrée à des animaux (OMS,1991).

Selon Baudet et al. (2015), les pesticides, également connus sous le nom de produits phytosanitaires sont des substances actives ou préparations destinée à :

- Préserver les végétaux ou leurs produits contre les organismes nuisibles ou leur prévention
- Exercer une action sur processus vitaux des végétaux pour autant qu'il ne s'agisse pas de substances nutritives
- Garantir la conservation des végétaux, à condition que ces substances ou produits ne soient pas soumis à des dispositions spécifiques
- Eliminer les végétaux indésirables ou leurs parties

- Inhiber ou empêcher une croissance indésirable des végétaux, en utilisant des moyens chimiques ou biologiques.

### **I.3. Composition et formulation des pesticides**

D'après Diehl (1975), un pesticide est constitué d'un groupe de molécules comprenant :

- Une ou plusieurs matières actives (Ma) : qui sont les éléments principaux permettant l'efficacité du pesticide qui confèrent au produit l'effet poison désiré ;
- Un diluant : qui est une matière solide ou un liquide incorporé à une préparation et destiné principalement à diminuer la concentration de la matière active. Dans le cas d'une préparation liquide, il s'agira d'un solvant, d'argile ou de tale pour les préparations solides. Dans ce dernier cas le diluant est dénommé charge ;
- Les adjuvants : Ce sont des substances en théorie dépourvues d'activité biologique, mais qui sont susceptibles de modifier les propriétés du pesticide et d'en faciliter l'utilisation, l'application et le transport du produit permettant, par exemple, une meilleure pénétration dans le végétal. Ces adjuvants comprennent des stabilisants, des adhésifs, des colorants, des répulsives, des tensio-actifs, des émulsionnants et parfois des antidotes.

La manière dont un pesticide est commercialisé et utilisé est désignée par « formulation » (Boland et al., 2004). Les différents types de formulation sont donnés dans le tableau 1.

### **I.4. Classification des pesticides**

#### **I.4.1. Classification selon la cible visée**

Ils existent trois grandes catégories de pesticides selon la nature des cibles visées : les herbicides, les insecticides et les fongicides (Tableau 2).

##### **I.4.1.1. Les herbicides**

Appelés parfois désherbants, les herbicides ont la propriété de tuer les végétaux. Ils luttent contre les mauvaises herbes appelées aussi adventices (Delahaie, 2017).

Selon Benoit et al. (2005), les herbicides agissent sur différents processus de croissance et de développement des plantes en perturbant le fonctionnement :

- de la physiologie de la plante : la photosynthèse ou la perméabilité membranaire (les triazines, les urées substituées) ;

- de la croissance : la division cellulaire (les carbamates, les dinitroanilines,...) et l'élongation (2,4-D, les acides pyridines, ... ) ;
- de la biosynthèse des constituants cellulaires : lipides (les cyclohexane diones, les propionates) , pigments caroténoïdes (les isoxazolidinones) et acides aminés ( les acides phosphoriques, les amino-phosphanates,...).

**Tableau 1** : Formulations des pesticides (Boland et al., 2004)

Etat physique	Vehicle	Type de formulation	Acronyme	Application
Solides	Porteur	Poudre pour poudrage	AP	
		Granulé	GR	
	Eau	Poudre mouillable	WP	
		Poudre soluble dans l'eau	SP	
		Granulé soluble dans l'eau	SG WP	
	Son, graines	Appât sur grains	AB	
Air	Fumée, fumigant ou gaz			
Liquides	Eau	Suspension concentrée	SC	Diluée
	Eau	Concentré émulsionnable	EC	
	Huile	Volume bas	SU ou UL	
		Liquide pour application à très bas volume ou TBV	ULV	Non diluée
		Aérosol	AE	
Autres types de formulation	Certains fumigants, fumées, gaz ou vapeurs sont utilisés en tant que pesticides dans des espaces clos (les pesticides ne se dispersent pas au loin, donc leur effet est accrue) tels que les serres, les conteneurs, les dépôts ou les magasins. Un aérosol est une suspension de petites particules sous forme de gaz			

### **I.4.1.2. Les insecticides**

Les insecticides sont toutes les substances qui tuent les insectes, empêchent l'éclosion des œufs, altèrent le développement normal des larves ou la maturation sexuelle (Faurie et al., 2003).

Benoit et al. (2005), affirment que les insecticides sont actifs soit en perturbant la respiration cellulaire (phenoxyprazoles, roténones,), soit en inhibant les processus de croissance et de développement (benzhydrazides, thiadiazines,...), soit en perturbant la formation de la cuticule chitineuse ou le système nerveux (avermectines, organophosphorés,...). Plusieurs insecticides très puissants (organophosphorés, carbamates) sont constitués de substances qui inhibent une enzyme, l'acétylcholinestérase, ce qui intoxique le système nerveux de l'insecte.

### **I.4.1.3. Les fongicides**

Un fongicide est une substance qui vise à tuer ou à inhiber la croissance des champignons et de leurs spores. Ces produits sont utilisés pour protéger les plantes et les cultures contre les maladies fongiques (McGrath, 2004).

D'après Benoit et al. (2005), les fongicides agissent :

- En affectant les processus respiratoires (dithiocarbamates, cuivre, soufre,...) ;
- En inhibant la division cellulaire (benzimidazoles,...) ;
- En inhibant la biosynthèse des stérols (IBS) (imidazoles, amides,...)
- En affectant la biosynthèse des acides aminés ou des protéines (les anilinopyrimidines)
- En affectant le métabolisme des glucides et des polyols (les dicarboximides, les anilonopyrimidines) .

Hormis, ces trois grandes familles citées ci-dessus, il y'a d'autres catégories comme :

- Les acaricides, contre les acariens ;
- Les nématicides, contre les vers du groupe des nématodes ;
- Les rodenticides, contre les rongeurs ;
- Les taupicides, contre les taupes
- Les molluscicides, contre les mollusques et les limaces
- Les corvicides contre les corbeaux (Fournier, 1988).

### **I.4.2. Classification chimique de la substance active**

La classification chimique de la substance active prend en considération la composition chimique de la substance active qui est principalement présente dans les produits phytosanitaires. Elle est déterminée par sa composition élémentaire, sa composition fonctionnelle et par sa structure,



c'est-à-dire par l'organisation dans l'espace des atomes qui constituent la molécule. De cette manière, cette classification chimique permet une meilleure compréhension des propriétés des pesticides et donc de leur impact sur les écosystèmes naturels (Calvet et al., 2005),

#### **I.4.2.1. Pesticides organiques**

Les pesticides organiques sont très nombreux et appartiennent à diverses familles chimiques dont il existe actuellement plus de 80 familles ou classes chimiques (Calvet et al., 2005).

- **Les Pesticides organochlorés (OCs)**

Les Pesticides organochlorés sont des composés organiques qui contiennent au moins un atome de chlore associé à un atome de carbone. Le DDT étant le plus connu d'entre eux. Ces pesticides organiques synthétiques sont les premiers utilisés en agriculture, utilisés pour éliminer les moustiques, comme traitement contre les poux ou la gale et comme insecticides domestiques. De plus, ils sont connus pour leur persistance et leur accumulation dans l'environnement, ils font l'objet d'une bioamplification le long de la chaîne alimentaire. Leur toxicité est élevée (Ruaux, 2013)

- **Les pesticides organophosphorés (OPs)**

Les organophosphorés sont des composés organiques comportant au moins un atome de phosphore lié directement à un atome de carbone. Les pesticides organophosphorés se présentent sous formes liquides, peu volatiles, légèrement solubles dans l'eau et le plus souvent ont une courte persistance (quelques heures à quelques jours) dans l'environnement mais possèdent une toxicité aiguë plus élevée que les organochlorés. Ce sont des agents neurotoxiques puissants (Ruaux, 2013).

- **Les carbamates**

Les carbamates sont des composés organiques porteurs d'une fonction esters substituée de l'acide carbamique ou d'un amide substitué. Ils constituent une classe polyvalente de composés utilisés comme insecticides, fongicides, nématicides, acaricides, molluscicides, inhibiteurs de germination ou herbicides. Bien que les carbamates présentent de faibles potentiels de bioaccumulation et une toxicité à court terme, ils sont considérés comme dangereux pour l'environnement et la santé humaine (Morais, et al., 2012).

- **Les pyréthrinoïdes**

Les pyréthrinoïdes sont des molécules ou analogue synthétique des alcaloïdes naturel (pyréthrines 1 et 2, cénérine 1 et 2, jasmoline 1 et 2) que l'on peut extraire de la fleur jaune de

*Chrysanthemum cinerariifolium*. Ils constituent aujourd'hui la famille d'insecticides la plus utilisées, tant en usage agricole que domestique (Fréry et al., 2013). Ils figurent parmi les substances chimiques les plus fréquemment retrouvées dans les logements (Bouvier, 2005).

Les pyréthrinoïdes de synthèse ont une sensation d'insecticides inactifs lorsqu'ils sont exposés à la lumière, ce qui explique pourquoi ils n'ont jamais été utilisés en agriculture jusqu'à ce que la chimie de synthèse se concentre sur la création des composés photostables (Renauld-Rouger, 2005). Les pyréthrinoïdes, très peu volatils et très lipophiles sont presque insolubles dans l'eau et ont l'avantage d'être peu rémanents et peu toxiques pour les mammifères. Ce groupe varié comprend des composés assez photolabiles (alléthrine, resméthrine...) et des halogénés plus stables et plus persistants (perméthrine, fenvalerate...) (Alix et al., 2006).

- **Les triazines**

La formule brute des triazines est  $C_8H_{14}ClN_5$ , ce qui en fait des herbicides organo-azotés. Ils sont dits de « deuxième génération » car ils se dégradent plus rapidement que les organochlorés. Les produits de dégradation des triazines sont formés dans les sols, principalement sous l'action de microorganismes. Leur dégradation par photolyse est lente (335 jours) et leur biodégradation dans les eaux et les sédiments varient entre 28 et 134 j en milieu aérobie et 608 j en milieu anaérobie (Lachambre et Fisson, 2007).

Les triazines, pénètrent dans les plantes par les racines et bloquent la photosynthèse. Les plus connues sont l'atrazine et la simazine, l'atrazine a été, et encore beaucoup, utilisée pour le désherbage du maïs, elle est stable et persiste longtemps dans le milieu, notamment dans l'eau. La simazine présente une toxicité immédiate moins grande (Pousset, 2003).

- **Les urées substituées**

Nom donné aux molécules renfermant un groupe urée ( $NH_2-CO-NH_2$ ), les urées substituées (isoproturon, diuron) sont appelés aussi les phenylurées, ils sont des herbicides qui agissent en pénétrant par les racines de la plante. Ces molécules sont dégradantes, générant des métabolites plus toxiques. Elles sont surtout utilisées sur les cultures céréalières et la vigne (Rat et al., 2009).

#### **I.4.2.2. Pesticides inorganiques**

Peu nombreux, les pesticides inorganiques sont utilisés en masse comme le soufre et le cuivre. Ce sont des pesticides dont l'emploi est apparu avant les débuts de la chimie organique de synthèse. Il n'existe plus d'insecticides inorganiques et un seul herbicide est encore employé aujourd'hui (le chlorate de sodium). Les fongicides inorganiques sont à base de soufre et cuivre sous plusieurs

formes, la bouillie bordelaise par exemple est la plus utilisée pour traiter la vigne, les arbres fruitiers, la pomme de terre et de nombreuses cultures maraichères (Calvet et al., 2005). Les pesticides inorganiques, reposant sur des composés chimiques qui ne se dégradent pas, ont pour conséquence d'énormes effets toxicologiques et sur l'environnement. Par exemples certains s'accumulent dans le sol ; le plomb, l'arsenic et le mercure sont forts toxiques (Boland et al., 2004).

### I.4.2.3. Pesticides organo- métalliques

Cette classe regroupe les fongicides composés par un complexe d'un métal (le zinc et le manganèse) et d'un anion organique dithiocarbamate. Certains de ces pesticides sont le mancozèbe (avec le zinc) et le manèbe (avec le manganèse) (Calvet et al., 2005)

**Tableau 2** : Quelques familles chimiques de pesticides et leur classement selon leur cible (Baldi et al., 2013)

Familles chimiques	Exemples de molécules	Classement selon la cible
Organochlorés	DDT, Chlordane, Lindane, Dieldrine, Heptachlore	Insecticides
Organophosphorés	Malathion, Parathion, Chlorpyrifosa, Diazinon	Insecticides
Pyréthriñoïdes	Perméthrine,	Insecticides
Carbamates	Aldicarbe, Carbaryl Carbofuran, Méthomyl, Asulame, Diallate , Terbucarbe, Triallate Benthiavalicarbe	Insecticides Herbicides Fongicides
Dithiocarbamates	Mancozebe, Manebe	Fongicides
Phtalimides	Folpel, Captane , Captafol	Fongicides
Triazines	Atrazine, Simazine	Herbicides
Phenoxyherbicides	MCPA, 2,4-D ,2,4,5-T	Herbicides
Chloroacetamides	Alachlore	Herbicides
Pyridines,bipyridiliums	Paraquat,Diquat	Herbicides
Aminophosphonates glycine	Glyphosate	Herbicides

### I.4.3. Classification selon l'usage

Les pesticides sont utilisés dans plusieurs domaines d'activité pour lutter contre des organismes vivants nuisibles. Il existe 6 catégories de pesticide classé selon leurs usages (culture, bâtiments d'élevage, locaux de stockage des produits végétaux, les zones non agricoles, les bâtiments d'habitation, l'homme et les animaux) (tableauIII) (Calvet et al., 2005).

#### I.4.4. Classification selon la toxicité

La classification est établie à partir de la toxicité aiguë par voie orale et par voie dermique pour le rat puisque ces déterminations constituent des expérimentations classiques en toxicologie.

**Tableau 3** : Critère de classification révisés (en usage depuis la mise à jour de 2009) (OMS, 2019)

Classes		DL <sub>50</sub> pour le rat (mg/kg de poids corporel)	
		Voie orale	Voie dermique
<b>Ia</b>	Extrêmement dangereux	<5	<50
<b>Ib</b>	Très dangereux	5 à 50	50 à 200
<b>II</b>	Modérément dangereux	20 à 2000	200 à 2000
<b>III</b>	Légèrement dangereux	Plus de 2000	Plus de 2000
<b>U</b>	Peu susceptible de présenter un danger aigu	5000 ou plus	

#### I.4.5. Classification par mode d'action

Selon Bonnefey (2013), un dernier type de classement des pesticides peut être opéré à partir du mode d'action du pesticide considéré sur l'organisme indésirable visé. Les modes d'action des pesticides sont ainsi très variés et évoluent au gré des innovations de l'industrie phytosanitaire (tableau 4).

### 1.5. Avantages et inconvénients des pesticides

D'après les publications de l'Union des Industries de la protection des Plantes (l'UIPP) (2010), les produits phytopharmaceutiques (ou pesticides) sont notamment utilisés dans l'agriculture pour protéger les cultures contre les bioagresseurs (ravageurs, maladies, adventices,) qui peuvent entraîner des dommages et des pertes de rendements considérables. Ainsi, ils présentent un élément essentiel pour répondre aux besoins alimentaires d'une population mondiale de plus en plus croissante.

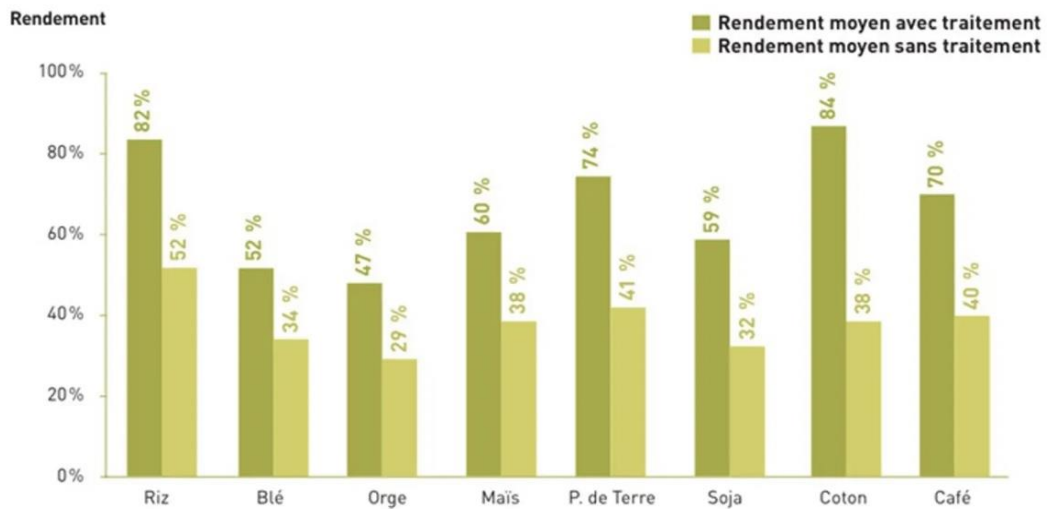
Selon les estimations, les pertes mondiales causées par les ennemis des cultures (insectes, nématodes, maladies et adventices) sont estimées à 300 milliards \$ US par an, ce qui correspond à environ 30 et 40 % de son potentiel de production en nourriture humaine, animale et en fibres (Fleury, 2003). Selon les estimations de l'Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), l'absence de traitements phytopharmaceutiques a un impact sur diverses productions (UIPP, 2010). Les rendements mondiaux moyens calculés par la FAO sont représentés dans la figure 1, qu'ils soient avec ou sans produits phytopharmaceutiques. La même source a

donné une estimation de la perte potentielle de la récolte de blé sans protection phytopharmaceutique en France :

- Les maladies céréales sont responsables de 24% de la perte,
- Les insectes nuisibles causent 14% de la perte,
- La concurrence avec les mauvaises herbes entraîne une perte moyenne de 7%

**Tableau 4** : Classement des pesticides par mode d'action (Bonnefey, 2013)

<b>Herbicide</b>	<b>Mode d'action</b>
De contact	Agit sur les parties de la plante avec lesquels il entre en contact
Systématique	Absorbé par la plante, se déplace à l'intérieur de celle ci
Sélectif	Ne contrôle que certaines plantes traitées
Non sélectif	Contrôle toutes les plantes traitées
Résiduaire	Se dégrade lentement et contrôle les plantes sur une longue période
Non résiduaire	Est rapidement inactif après son application et ne contrôle les plantes que sur une courte durée
<b>Fongicide</b>	<b>Mode d'action</b>
Préventif	Protège la plante en empêchant que la maladie ne se développe
Curatif	Réprime une maladie qui est déjà développée
D'inhalation	Agit lorsque l'insecte respire du produit
D'ingestion	Agit lorsque l'insecte se nourrit du produit
<b>Insecticide</b>	<b>Mode d'action</b>
De contact	Agit lorsque l'insecte entre en contact avec le produit
D'inhalation	Agit lorsque l'insecte respire le produit
D'ingestion	Agit lorsque l'insecte se nourrit du produit



**Figure 1:** Estimation des rendements mondiaux moyens selon l'utilisation ou non de produits phytopharmaceutiques, par rapport au rendement maximal (IUPP, 2010).

Dans le domaine de la santé, il est essentiel de combattre les insectes vecteurs de maladies telles que le paludisme, la malaria, le typhus, d'autres épidémies. Certains champignons pathogènes génèrent des mycotoxines qui peuvent parfois représenter un véritable danger pour l'homme (et notamment pour les animaux d'élevage). Un exemple bien connu est celui des alcaloïdes produits par l'ergot des céréales (*Claviceps purpurea*) qui peut générer des troubles neurologiques graves. Les pesticides sont également utilisés pour l'entretien de divers espaces, comme les routes, les aérodromes, les voies ferrées et les zones industrielles qui sont désherbés (Calvet et al., 2005).

Cependant, on ne peut aussi constater de nombreux inconvénients touchant à la santé et à l'environnement. Les pesticides sont notamment toxiques pour l'homme et leurs effets sur l'environnement sont multiples. Les substances et les molécules issues de leur dégradation sont susceptibles de se retrouver dans l'air, le sol, les eaux, les sédiments... et dans les aliments. De plus l'accumulation de ces substances dans les différents compartiments de l'environnement mettrait en péril la biodiversité. Les pesticides peuvent également devenir inefficaces avec le temps en raison du développement de résistance chez les insectes, les mauvaises herbes et les rongeurs, ce qui nécessite la création de nouveaux pesticides, un processus coûteux. Le risque de la présence de résidus des pesticides dans les denrées alimentaires a fait depuis vingt ans l'objet d'une attention particulière (Lindquist, 1981).

---

**Chapitre II : Devenir des pesticides  
dans l'environnement et leur impact sur la  
santé humaine**

---

## II.1. Devenir des pesticides dans l'environnement

### II.1.1. Mécanismes de dispersion et de transfert des pesticides

Le terme dispersion désigne le mouvement des substances dans les divers compartiments de l'environnement. Peu importe la manière dont les pesticides sont utilisés, le sol est le lieu de transit essentiel (Damage, 2005).

Les substances chimiques qui entrent en contact avec le sol lors des traitements, n'étant pas statiques mais se déplacent grâce aux différents phénomènes de transport. Ces transferts ont eu lieu dans l'air, à la surface du sol et dans le sol lui-même (figure 2), avec des vitesses très variables et en fonction des caractéristiques propres des pesticides, de la structure du sol et son régime hydrodynamique (Calvet et Charnay, 2002; Calvet et al., 2005).

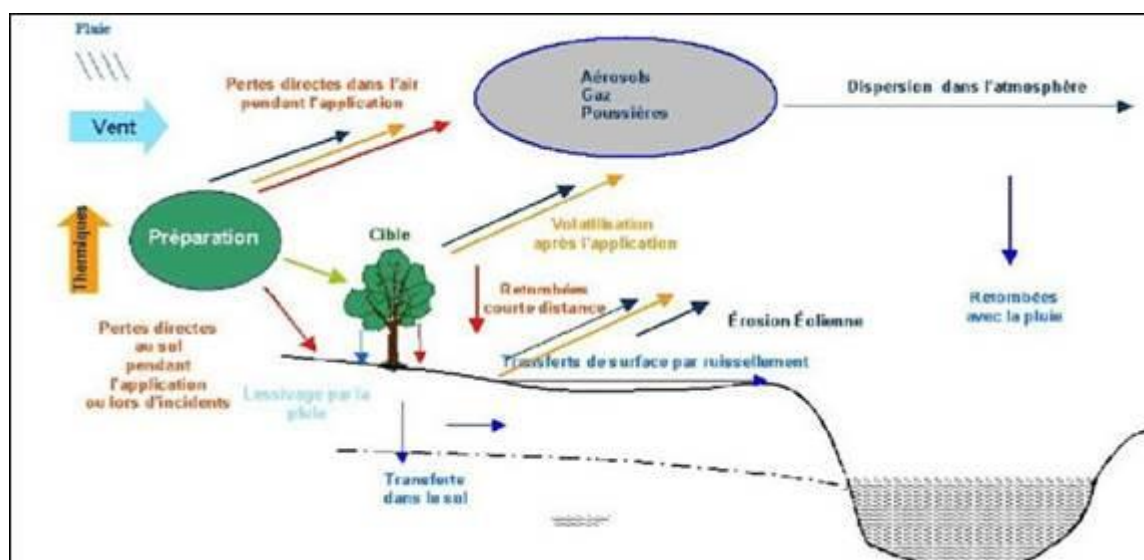


Figure 2 : Schéma récapitulatif des mécanismes de transfert des pesticides (Aubertot et al., 2005)

#### II.1.1.1. Le transfert vers l'atmosphère

Après l'application du composé à l'interface entre le sol et/ou la plante et l'atmosphère, les pesticides se volatilisent. La volatilisation désigne une dispersion de résidus des pesticides dans l'atmosphère. Les pesticides sont exportés en dehors de la zone cible après application. Elle peut se faire au moment de l'application depuis la surface du sol ou à l'intérieur du sol quand la molécule est très volatile (Calvet et Charnay, 2002). La volatilisation est un processus complexe lié à la nature de chaque pesticide et aux conditions environnementales. Son importance varie suivant les formulations (De Luca et al., 2007).



### **II.1.1.2. Le transfert à la surface du sol**

Le processus implique l'entraînement d'un pesticide en solution par ruissellement, ou par l'entraînement de molécules à la phase solide par transport particulaire ou érosion (Calvet et Charnay, 2002). D'après les mêmes auteurs, les éléments les plus déterminants ayant un impact direct sur ces transferts sont liés au milieu, comme la pente du terrain, la présence et la nature du couvert végétal, les caractéristiques des précipitations, les méthodes de cultures, la stabilité structurale du sol et la durée de présence des substances à la surface du sol. Selon Colin (2000), le délai entre l'application et la pluie est un facteur qui accroît les concentrations des pesticides dans les eaux superficielles.

En présence d'un couvert végétal, ils sont nettement diminués, d'où l'importance de placer des surfaces enherbées dans un bassin versant afin de limiter les transferts par ruissèlement et érosion (Calvet et Charnay, 2002)

### **II.1.1.3. Le transfert dans le sol**

Les substances chimiques de pesticides sont introduites dans le sol par l'infiltration des eaux de pluie ou d'irrigation, puis ils s'y déplacent selon le flux l'eau. La lixiviation se produit lorsque les molécules sont en solution. En présence de molécules dans la phase solide, on parle de lessivage. La diffusion moléculaire, la convection et la dispersion hydrodynamique favorisent les transferts (Calvet et al., 2005).

Toutefois, les sols sont souvent composés de milieux hétérogènes avec des pores de grandes tailles dans leur espace poral. L'eau peut s'infiltrer rapidement grâce à leur présence, pouvant entraîner les substances dissoutes et les particules en suspension à des profondeurs bien plus élevées que celles observées dans les milieux homogènes (Hayo et Van der Werf, 1997). Cette dispersion rapide des substances peut entraîner une diminution de l'impact des processus de rétention et de dégradation, ce qui permet aux molécules de pesticides d'atteindre les couches profondes (Grebil et al., 2001).

### **II.1.2. Phénomène de rétention**

La rétention se réfère à la capacité du sol à retenir le pesticide et à limiter son déplacement à l'intérieur ou à l'extérieur de la matrice du sol. Elle a une influence prépondérante sur le devenir des pesticides, en particulier sur leur mobilité ainsi que sur leur biodisponibilité dans le sol (Calvet et Charnay, 2002).

### **II.1.2.1. Rétention biologique (absorption par les plantes)**

Les végétaux ont la capacité d'assimiler les pesticides. Une partie ne sera pas métabolisée et, à la mort du végétal, il sera réintroduit dans le milieu où il pourra être à nouveau métabolisé (Gouy, 1993). Cependant, un métabolisme partiel peut se produire dans la plante entraînant la création de produits moins toxiques pour la plante (Baran et Barras, 2007).

### **II.1.2.2. Rétention physico-chimique (adsorption)**

Selon l'IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), l'adsorption est définie comme « l'enrichissement d'une ou plusieurs espèces chimiques sur une interface ». Pour les pesticides, l'adsorption sur solide est le processus au cours duquel les molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant (Ruthven, 1984; Sposito, 1984). Quand l'interaction est faible, on parle d'adsorption physique alors que quand elle est forte, on parle d'adsorption chimique. La désorption, l'inverse de l'adsorption n'est pas toujours complètement réversible, des processus d'hystérésis étant souvent observés. Les deux n'étant pas immédiates, l'adsorption est généralement plus rapide que la désorption, en raison des phénomènes de fixation chimique influençant la cinétique. Les phénomènes sont influencés par la structure du sol et la diffusion moléculaire car elles déterminent l'accessibilité aux sites d'adsorption (Baran et Barras, 2007).

### **II.1.3. Phénomène de dégradation**

Le processus de dégradation des pesticides se produit lorsque ces derniers se décomposent ou se dissipent en raison, des éléments chimiques, biologiques et photovoltaïques. Il est possible de produire toute une gamme de molécules intermédiaires (les produits de dégradation ou métabolites) entre la molécule initiale et les molécules minérales finales (Calvet et al., 2005).

C'est en devenant une molécule minérale, comme le CO<sub>2</sub>, que le pesticide est complètement éliminé. On appelle ce phénomène, minéralisation (Mamy et al., 2008)

#### **II.1.3.1. La dégradation biotique (Biodégradation)**

Le phénomène le plus crucial dans l'élimination des pesticides du sol est la dégradation par les microorganismes. Les bactéries et les champignons sont les microorganismes les plus fréquemment utilisés pour dégrader les pesticides (Singh et al., 2004). Les pesticides

organophosphorés du sol sont souvent dégradés par oxydation ou par hydrolyse sous l'action des microorganismes (Alasdair et al., 1978).

Les facteurs comme les caractéristiques du sol, le nombre et le niveau d'activité des microorganismes, la composition et la structure chimique des pesticides influencent la biodégradation (Amalric et al., 2003).

### **II.1.3.2. La dégradation abiotique ou chimique**

Il s'agit de la détérioration des produits phytosanitaires suite à leur interaction avec les substances chimiques présentes dans le sol. Elle se fait dans l'eau par des réactions d'hydrolyse ou sous l'effet de la lumière (photodégradation). Mais, il a été prouvé que les réactions sont généralement activées au niveau des surfaces des composants du sol : argiles, matières organiques et oxydes métalliques (Senesi, 1993).

## **II.2. Effet des pesticides sur l'environnement**

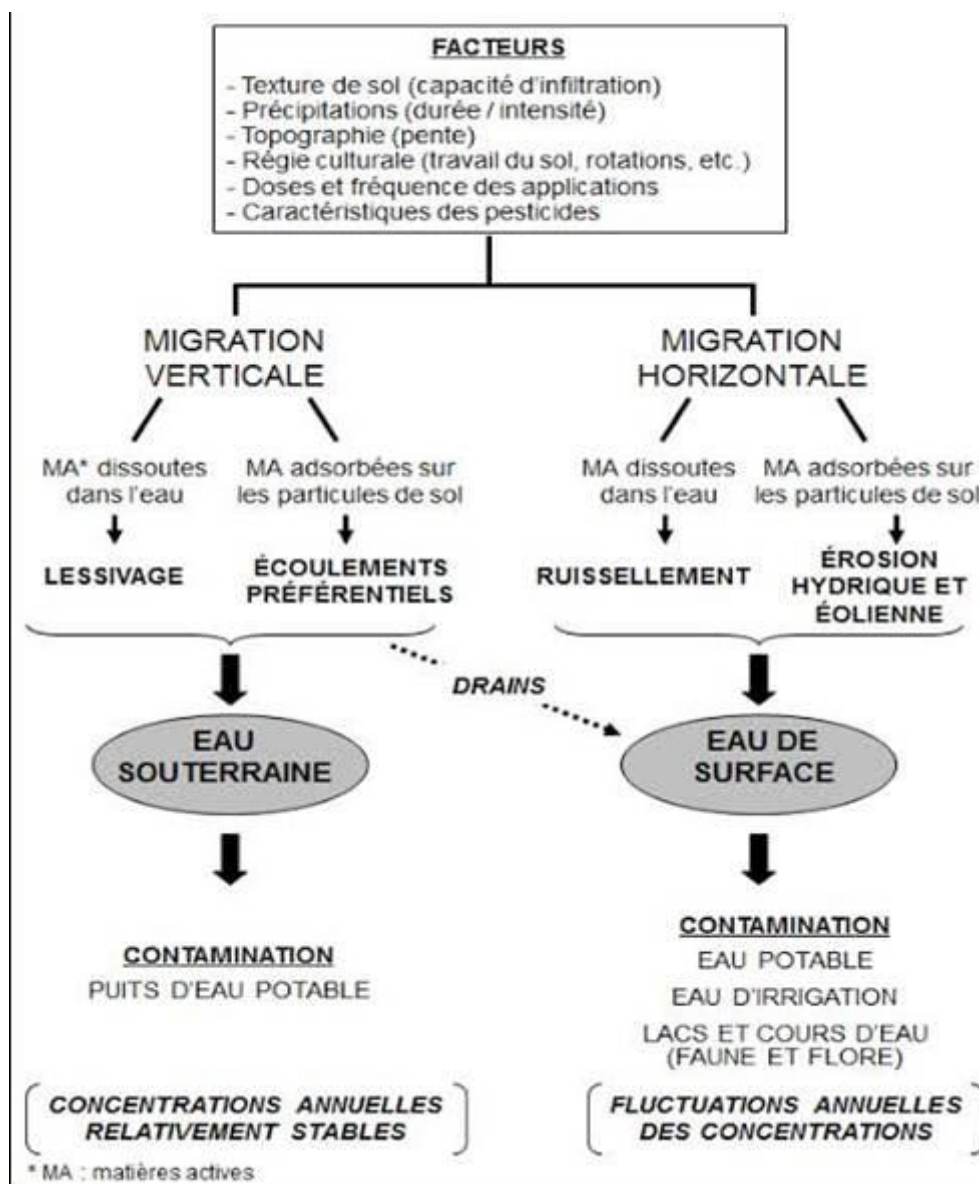
Les pesticides peuvent être responsables de pollutions des différents compartiments environnementaux, tels que le sol, l'eau et l'air lors de leur fabrication, transport, utilisation ou lors de l'élimination de produits en fin de vie, dégradés, inutilisés ou interdits (Briand et al., 2002).

### **II.2.1. Pollution de l'air**

Les pesticides entrent dans l'atmosphère à travers différentes étapes et peuvent ensuite être transportés dans les différentes phases atmosphériques, entraînant ainsi la contamination d'écosystèmes non ciblés (De Luca et al., 2007). La volatilisation est l'une des principales raisons pour lesquelles les pesticides fuient de la zone cible, en particulier lorsque les traitements ciblent la surface du sol ou celle des végétaux (Aprifel, 2004). Les recherches menées par différents groupes de recherche en France ont relevé la présence de pesticides dans toutes les phases atmosphériques, à des concentrations variables dans le temps et dans l'espace ; parfois, on peut également détecter des composés (lindane) peu volatils ou interdits (Aubertot et al., 2005).

### **II.2.2. Pollution de l'eau**

Aujourd'hui, de nombreuses ressources en eau douce (eaux de surface, nappes phréatiques, eaux souterraines) sont victimes de pollution, en particulier par des nitrates et des pesticides (Kaichouh et al., 2009).



**Figure 3 :** Synthèse des processus qui mènent à la contamination de l'eau à la suite des applications des pesticides (Martel et Maurissette, 2014)

Des études menées par Mishaël et al. (1999), révèlent la présence de diverses substances toxiques dans les eaux superficielles et souterraines. Les contaminations des eaux peuvent avoir comme origine des pollutions ponctuelles, résultant de pratiques mal adaptées (Calvet et Michel, 2000) et des pollutions diffuses qui se caractérisent par un dépassement des Concentrations Maximales Admissibles (CMA) dans les eaux destinées à la consommation. Elles sont en général peu visibles et ne sont mises en évidence que par un suivi régulier de la qualité de l'eau (Aubertot et al., 2005).

Le milieu aquatique, devenu de nos jours une réserve des pollutions qui s'accroissent, la présence de pesticides compromet le cycle de vie des organismes qui y vivent. Chez certains

poissons, on observe le développement de tumeurs, la perturbation des systèmes hormonaux, ou encore l'inhibition plus ou moins complète des fonctions vitales comme la respiration, la croissance et la reproduction (Hayo et Van der Werf, 1997).

### **II.2.3. Pollution sur le sol**

Le sol, support des plantes, joue un rôle majeur dans la production agricole et forestière et reçoit la plus forte proportion des pesticides utilisées contre les organismes nuisibles. Il est, par excellence, le milieu de contamination de d'entreposage des pesticides dans lequel ces derniers s'accumulent par absorption et adsorption avant d'entrer en contact avec la faune et la flore à endommagée (Reagnault-Roger et al., 2008).

Il est donc essentiel de saisir les conséquences des pesticides sur les écosystèmes du sol. En effet, Les sols renferment une grande diversité d'organismes biologiques qui jouent de nombreuses fonctions essentielles, comme le cycle des nutriments, la préservation de la structure du sol, la conversion du carbone et la régulation des ravageurs et des maladies. Un grand nombre d'invertébrés terrestres ont diminué ces dernières décennies (Gunstone et al., 2021).

Les pesticides ont été directement et indirectement associés à la réduction des populations d'oiseaux, d'insectes et de pollinisateurs dans les systèmes terrestres (Relyea, 2005).

D'après Hallmann et al. (2014), et Mitchell et al. (2017) des recherches ont démontré que certains pesticides envahissent les micro-organismes du sol, qui régulent des processus essentiels du sol tels que le cycle du carbone et des nutriments.

## **II.3. Effet des pesticides sur la santé humaine**

### **II.3.1. Voies d'expositions et pénétration**

#### **II.3.1.1. Voies d'expositions**

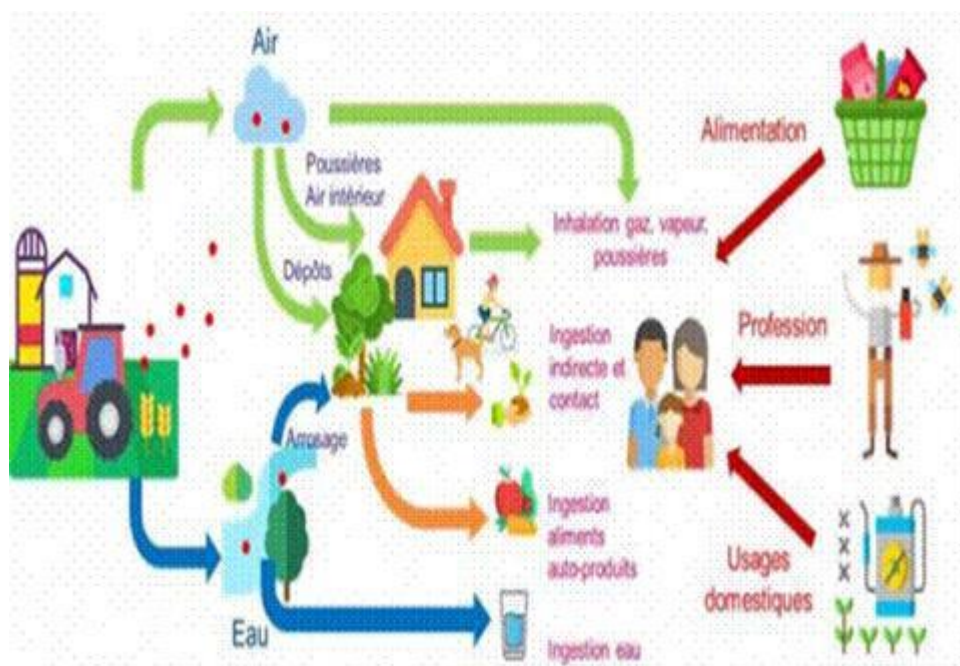
L'exposition aux pesticides peut affecter la santé des êtres humains. Les pesticides peuvent pénétrer sans l'organisme ou entrer en contact avec les tissus humains de différentes façons

- **Expositions primaires**

Les individus impliqués ici, sont ceux qui manipulent directement les produits lors de leur préparation, de leur application, du nettoyage des appareils et du vidage des cuves (Grimfeld, 2006).

### - Expositions secondaires

Elles touchent tous les individus, en raison de l'exposition aux résidus provenant de l'utilisation de pesticides, à travers l'alimentation et de l'environnement (Grimfeld, 2006).



**Figure 4:** Les sources et voies d'expositions (Anses, 2021)

#### II.3.1.2. Voies de pénétration

La pénétration des pesticides dans l'organisme peut se faire par plusieurs voies :

##### - La voie orale (bouche, œsophage, appareil digestif)

La pénétration par cette voie se fait soit par ingestion accidentelle ou volontaire résultant d'un défaut d'hygiène individuelle (manger sans se laver les mains, fumer, se ronger les ongles, etc.) et ou par déglutition secondaire des gouttelettes d'aérosols inhalées. Elle est responsable de plus sévères intoxication (Piché, 2008).

##### - La voie respiratoire (nez, trachée, poumons)

La pénétration de ce genre se produit en inhalant des particules fines telles que des poussières, des fumées, des gaz ou des vapeurs, lors de la préparation du traitement et lors de la pulvérisation du brouillard de produit. Le risque d'exposition par cette voie est plus élevé quand le travail est fait dans un endroit fermé comme une serre ou un tunnel de culture (Samuel et Saint-Laurent, 2001).



- **La voie cutanée (y compris les yeux et les muqueuses)**

C'est la principale voie de pénétration des produits : la peau constitue une barrière imparfaite contre les différents produits de pesticides qui peuvent faciliter leur absorption par effet irritant ou décapant (Conso et al., 2002). L'absorption cutanée se produit par contact direct de la peau avec des pesticides ou avec des vêtements et des outils contaminés par les pesticides (Ming et al., 2013). Ils peuvent être absorbés plus facilement par certaines régions corporelles comme le cuir chevelu, les yeux, et les organes génitaux (Samuel et Saint-Laurent, 2001). Les pesticides peuvent causer des lésions (rougeurs, irritations, brûlures...) au niveau de la peau ou traverser cette dernière vers le sang et provoquer des effets toxiques, y compris la mort (Kamrin, 1997).


**II.3.2. Toxicité des pesticides**

L'utilisation des pesticides et la contamination qu'ils peuvent engendrer ne sont pas sans conséquence. En effet l'exposition aux phytosanitaires peut occasionner deux types de dangers sur la santé de la victime ; effets aigus à court terme ou des effets chroniques (Gupta, 2004). Ainsi, chaque substance chimique se voit attribuer une ou plusieurs classes de danger, qui identifie les différents types de danger (corrosif, inflammable, toxicité aiguë, etc.) (tableau 5) (Dufaure, 2012).

**Tableau 5 :** Classification et étiquetage des substances et produits physiques pour la santé humaine et l'environnement (Dufaure, 2012).





Pictogrammes- Dangers physiques		
Pictogramme CLP/ SGC		
Code	SGH01	SGH02
Explications	Ce symbole est utilisé pour les substances et mélanges instables, qui peuvent exploser en présence d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, de la chaleur, d'un choc ou de frottements.	Ce symbole représente les matières inflammables comme les substances et mélanges susceptibles de s'enflammer en présence d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, de la chaleur, des frottements de l'eau ou de l'air ou s'ils dégagent des gaz inflammables (spontanément ou en contact avec une source d'énergie)



<p>Pictogramme CLP préexistant</p>	 <p>E-Exposif</p>	 <p>F- Facilement Inflammable</p>	 <p>F<sup>+</sup>- Extrêmement Inflammable</p>
			
<p>SGH03</p>	<p>SGH04</p>		
<p>Ce symbole est utilisé pour les substances comburantes c'est-à-dire des substances et des mélanges susceptibles de déclencher ou d'aggraver un incendie, voire d'une explosion en présence de produits</p>	<p>Ce symbole est utilisé pour les gaz comprimés qui sont des matières gazeuses sous pression présentes dans un récipient. Quelques une peuvent éclater sous l'action de la chaleur (gaz comprimés, gaz liquéfiés, gaz dissous) ou provoquer des brulures ou blessures liées aux froids (gaz liquéfiés, réfrigérés)</p>		
 <p>O-Comburant</p>			



Pictogrammes Dangers pour la santé	
	
<p>SGH05</p>	<p>SGH06</p>
<p>Le symbole est utilisé pour les substances corrosives qui attaquent ou détruisent les métaux, peuvent ronger la peau et ou les yeux en cas de contact de projection</p>	<p>Le symbole est employé pour les substances dangereuses. Même à faible dose, ces produits sont rapidement empoisonnants. Ils peuvent avoir des conséquences extrêmement diverses sur le corps : nausées, vomissements, maux de tête, perte de connaissance, autres troubles plus graves pouvant entraîner la mort.</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">               Xi-Irritant         </div> <div style="text-align: center;">               C- Corrosif         </div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">               Xn-Nocif         </div> <div style="text-align: center;">               T-Toxiq         </div> <div style="text-align: center;">               T<sup>+</sup>-Très toxique         </div> </div>
	
<p>SGH07</p>	<p>SGH08</p>
<p>On utilise le symbole pour les substances irritantes, toxiques pour les organes ou la couche d'ozone. Les effets de ces produits sont les suivants : Ils sont très toxiques ; ils sont irritants pour les yeux, la gorge, le nez ou la peau ; ils peuvent causer des allergies cutanées (eczémas) ; ils peuvent causer de la somnolence ou des vertiges ; ils peuvent avoir un impact négatif sur la couche d'ozone.</p>	<p>Les matières à risque respiratoire, cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction ou pour certains organes (foie, système nerveux, poumons...) sont utilisées comme symbole. Ces effets toxiques se manifestent selon les produits, qu'on y ait été exposé une seule fois ou à plusieurs reprises</p>

 <p>Xi-Irritant      C- Corrosif</p>	 <p>Xn-Nocif      T-Toxique      T<sup>+</sup>-Très toxique</p>
<p>Pictogrammes-Dangers pour l'environnement</p>	
 <p>SGH09</p>	<p>Les matières à risque respiratoire, cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction ou pour certains organes (foie, système nerveux, poumons...) sont utilisées comme symbole. Ces effets toxiques se manifestent selon les produits, qu'on y ait été exposé une seule fois ou à plusieurs reprises.</p>
 <p>N- Dangereux pour l'environnement</p>	<p>Le signe est employé pour les substances et mélanges dangereuses pour l'environnement, telles que les poissons, les crustacés, les algues et d'autres plantes aquatiques.</p>

### II.3.2.1.Toxicité aiguë

D'après Ramade (1979), la toxicité aiguë (à court terme), survient généralement après avoir absorbé une dose élevée de pesticides suite à des erreurs de manipulation du produit (désherbage des berges, mauvaise gestion des emballages, vidanges de fonds de cuves,...).

Selon la voie de pénétration, la dose du produit appliquée et le type de la matière active, différents symptômes peuvent se manifester : des signes généraux (fatigue, fièvre, ...), des signes cutanés (rougeurs, brûlures), des signes oculaires (démangeaison, rougeur oculaire, troubles visuels...), des signes neurologiques (céphalées, vertiges, tremblement, convulsions généralisées, pertes de connaissance...), des signes digestifs (nausées, vomissements, diarrhées, douleurs

abdominales) et des signes respiratoires (toux, gêne respiratoire, douleurs thoraciques) (Tron et al., 2001).

- Intoxication aiguë par un insecticide organochloré : les dérivés organochlorés sont relativement rares à moins d'ingestion volontaire (suicide) ou accidentelle (absorption par méprise, dérive de nuage, jet de pulvérisateur).
- Intoxication aiguë par un herbicide, le paraquat : l'herbicide est très toxique en cas d'ingestion accidentelle ou de contamination cutanée importante. On observe trois phases successives en cas d'intoxication), des signes digestifs (douleurs pharyngées et abdominales très violentes, vomissements, diarrhée parfois sanglante), une atteinte rénale aiguë sévère et une atteinte pulmonaire (œdème puis fibrose pulmonaire progressive) dans les formes graves (Conso et al., 2002).
- Intoxication aiguë par un fongicide ou un herbicide dithiocarbamate : en cas d'ingestion plusieurs manifestations peuvent apparaître : rougeur du visage et du tronc, sueurs, céphalées, palpitations, gêne respiratoire, chute de la tension artérielle (Anonyme, 2002).

### **II.3.2.2. Toxicité chronique**

La toxicité chronique (à long terme) survient par suite de l'absorption répétée ou à une exposition quotidienne à de faibles doses de pesticides (Fiedler, 1987), parfois même à des doses infimes dont la répétition d'effets cumulatifs (Ramade, 1979). Les symptômes (fatigue, fréquent maux de tête, perte de poids et manque d'appétit) ne se manifestent généralement que longtemps après le début de l'intoxication (Weinberg, 2009).

D'autres effets peuvent également apparaître comme :

#### **- Les effets sur le système immunitaire**

Certaines études récentes indiquent la probabilité d'une relation entre les pesticides et l'augmentation des risques de maladies infectieuses. La chute de production d'anticorps et les réactions d'hypersensibilité retardées pourraient aussi être associées à l'exposition à ces produits (Samuel et Saint-Laurent, 2001).

#### **- Les effets cancérigènes**

Sur la base des données expérimentales et épidémiologiques, plusieurs pesticides ont été identifiés comme cancérigènes possibles ou probables par divers organismes internationaux. Les types de cancers le plus souvent associés aux pesticides sont les cancers des tissus hématopoïétiques

(leucémies, myélomes, lymphomes), les cancers thyroïdiens, ceux des tissus conjonctifs, de l'estomac, de la prostate, du cerveau, du sein, des testicules, et de l'ovaire (Baldi et al., 2001).

- **Les effets sur la reproduction**

Les pesticides peuvent entraîner des troubles de la reproduction et du développement, notamment la réduction de stérilité (Gagné, 2016). Selon Conso et al. (2002), certains cas d'avortements spontanés, de mortalités ou malformation fœtales ou d'infertilité masculine sont décrits dans un contexte d'exposition maternelle ou paternelle aux produits phytosanitaires (cas des organochlorés : DDT, lindane). Une étude menée en Inde a révélé les mêmes symptômes chez 1016 couples dont les époux utilisaient ces même pesticides organochlorés (Rupa et al., 1991).

- **Les effets neurologiques et neurocomportementaux**

De nombreux pesticides peuvent être responsables d'effets sur le système nerveux, à la fois lors d'une exposition aiguë et chronique. Les insecticides de la famille chimique sont particulièrement susceptibles de causer une neurotoxicité (nervosité, dépression, difficultés d'élocution, la perte de concentration et une diminution de l'efficacité cognitive) en raison de leur mécanisme d'action sur les neurones sensoriels (Samuel et Saint-Laurent, 2001). Des récentes études épidémiologiques suggèrent que les pesticides pourraient contribuer au développement de maladies neurodégénératives, comme les maladies de Parkinson et d'Alzheimer (Thany et al., 2013).

- **Les effets sur le système endocrinien**

Le développement du cancer du sein, la réduction de la fertilité mâle, des dommages aux glandes thyroïde et pituitaire, la diminution du système immunitaire et des troubles comportementaux pourraient être liés aux pesticides soupçonnés d'être des perturbateurs endocriniens. Les autres conséquences potentielles chez l'homme incluent l'obésité, la décalcification des os et le diabète (Samuel et Saint-Laurent, 2001).

---

**Chapitre III : Biopesticides d'origine  
végétale comme alternative  
aux pesticides de synthèse**

---

### **III.1. Historique**

Les premiers produits phytosanitaires étaient des substances comme la poudre de soufre élémentaire, employée à Sumer il y a environ 4 500 ans. Les premières mentions de l'utilisation de dérivés de plantes ou de pesticides à base de plantes remontent à au moins 2000 ans en Égypte, en Grèce, en Chine et en Inde, les plus anciennes mentions de l'utilisation d'extraits de margousier comme pesticide remontent à 4000 ans (Nollet et Singh Rathore, 2015). Ainsi, des utilisations extensives d'insecticides botaniques ont été enregistrées entre la fin des années 1800 et les années 1940 (Henn et Weinzierl, 1989).

Il existe un nombre considérable de produits phytosanitaires à base de plantes disponibles sur le marché. En plus de contenir des matières végétales qui ont une longue histoire d'utilisation traditionnelle comme le neem, la roténone et le pyrèthre, les pesticides botaniques les plus récents contiennent des huiles végétales et / ou des huiles essentielles. Ils continuent à gagner en popularité en particulier dans les pays développés (Cloyd et al., 2009).

### **III.2. Définition**

Les biopesticides représentent généralement tout produit de protection des plantes qui n'est pas issu de la chimie (Regnault-Roger, 2005).

Les biopesticides ou pesticides bio-rationnels, sont des organismes vivants ou produits issus de ces organismes ayant la particularité de limiter ou de supprimer les ennemis des cultures tels que les bactéries, champignons, mauvaises herbes, virus et insectes (Deravel et al., 2014, Samada et Tambunan, 2020).

### **III.3. Différentes catégories de biopesticides**

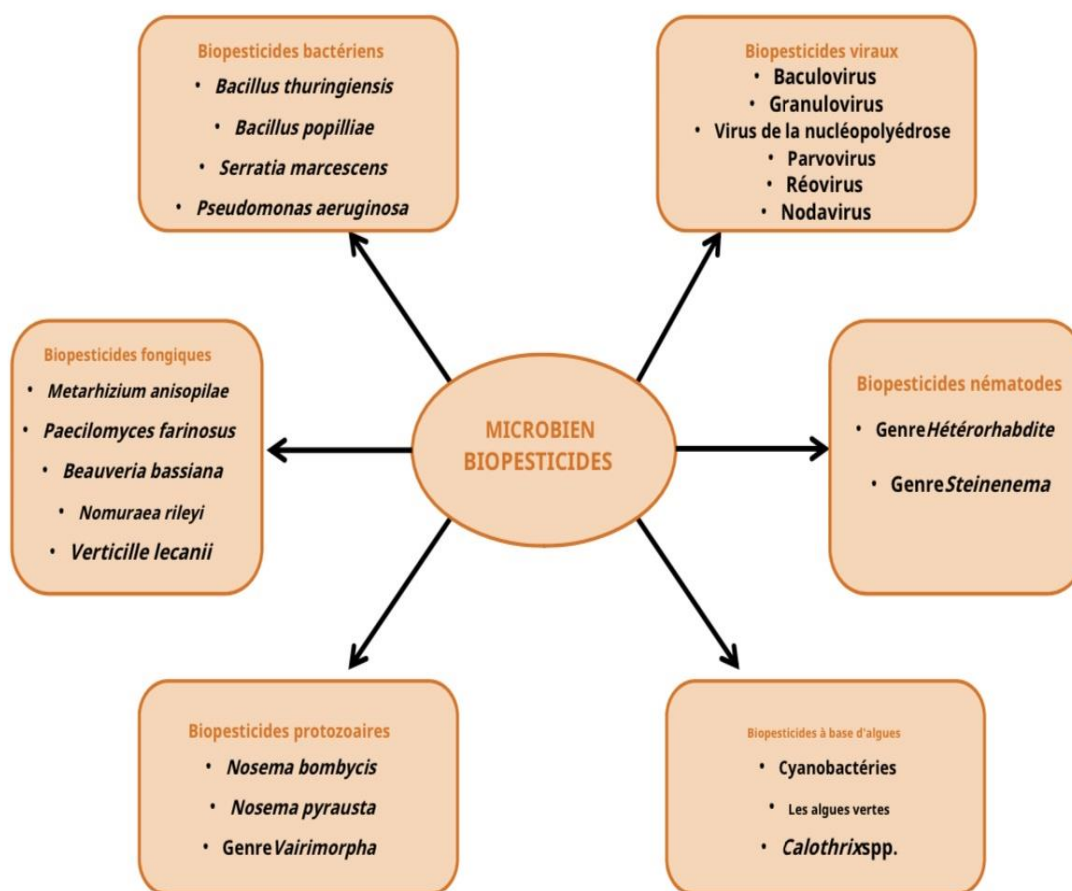
Les biopesticides peuvent être classés en trois grandes catégories, selon leur nature (Chandler et al., 2011 ; Leng et al., 2011). Des exemples de ces biopesticides sont répertoriés dans le tableau 6.

**Tableau 6** : Exemples de biopesticides (Deravel et al., 2014).

Catégorie		Type	Organisme	Cible	Culture
microbien	Bactérie	Fongicide	<i>Bacillus subtilis</i>	Fusarium, Rhizotonia, Aspergillus	Soja, Arachide
		Insecticide	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Chenille, Lépidoptères	Pelouse et jardins, vignes, arbres fruitiers, maraichage
	Virus	Larvicide	<i>Spodoptera exiguanucleo polyhedrosis virus</i>	Larves de <i>Spodoptera exigua</i>	Cultures maraichères, pomme de terre, tabac, tournesol, etc.
	Champignon	Fongicide	<i>Coniothyrium constans</i>	<i>Sclerotiniaspp.</i>	Endives
		Némacide	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	<i>Meloidgyne spp.</i> , <i>Rodopholus similis</i> , <i>Globodera spp.</i> , <i>Protylenchus spp.</i> , <i>Heterodera spp.</i>	Cultures maraichères, bananiers
	végétaux	Extrait végétal	Insecticide	<i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i>	Pucerons, cochenilles, aleurodes.
Biopesticides Animaux	Insectes	Insecticide	Acariens Coccinelles	Insectes Ravageurs Pucerons	Cultures sous abris
	Sémiachimiques issus d' insectes	Lutte par confusion sexuelle	Phéromones naturelles de <i>Cydiapomella</i>		Vergers de pommiers, poiriers, noyers
	Nématodes	Anti limace	Nématodes entomopathogènes	<i>Dorocecas reticulatum</i> , <i>Aria distinctus</i>	Vergers de pommiers, fraises, plantes ornementales

### III.3.1. Biopesticides microbiens

L'élément actif peut se présenter sous la forme d'un microorganisme (comme une bactérie, un champignon, un protozoaire ou une algue) ou d'un virus. Leur efficacité découle des substances actives générées par ces micro-organismes. Ce sont ces substances actives qui agissent contre l'agent pathogène plutôt que le microorganisme lui-même (Lepoivre, 2003).



**Figure 5:** Représentation schématique de six types de biopesticides microbiens (Hussein et al., 2021)

#### III.3.1.1. Biopesticides bactériens

Les biopesticides bactériens utilisent des substances actives à base de bactéries. Les populations bactériennes sont employées depuis le 20e siècle comme biopesticides pour combattre les ravageurs. Les pesticides bactériens sont couramment employés comme une méthode de lutte biologique la moins coûteuse (Koul, 2011). Selon le même auteur, les biopesticides bactériens sont classés en trois catégories qui sont :



- **Les agents pathogènes obligatoires**

Ces organismes pathogènes nécessitent des conditions et des environnements particuliers pour croître, se reproduire et former des spores. La plupart ont des hôtes très spécifiques et sont capables de sporuler. Cela les rend idéaux pour les programmes de lutte biologique contre les parasites, car ils sont très résistants (par exemple, *Bacillus popilliae* et *Bacillus lentimorbus* causent une maladie laiteuse chez les populations de vers blancs).

- **Les agents pathogènes facultatifs**

La croissance, la reproduction et la sporulation des agents pathogènes facultatifs ne requièrent pas de conditions spécifiques. Leur virulence est inférieure à celle des pathogènes obligatoires. Il existe deux types d'agents pathogènes éventuels : les agents cristallifères et les agents non cristallifères. La toxicité des bactéries cristallifères réside dans la production de cristaux protéiques. Il s'agit principalement de sporogènes. Ils disposent d'une variété d'hôtes. L'agent cristallifère sporulé *B. thuringiensis berliner* est utilisé commercialement comme agent de lutte biologique.

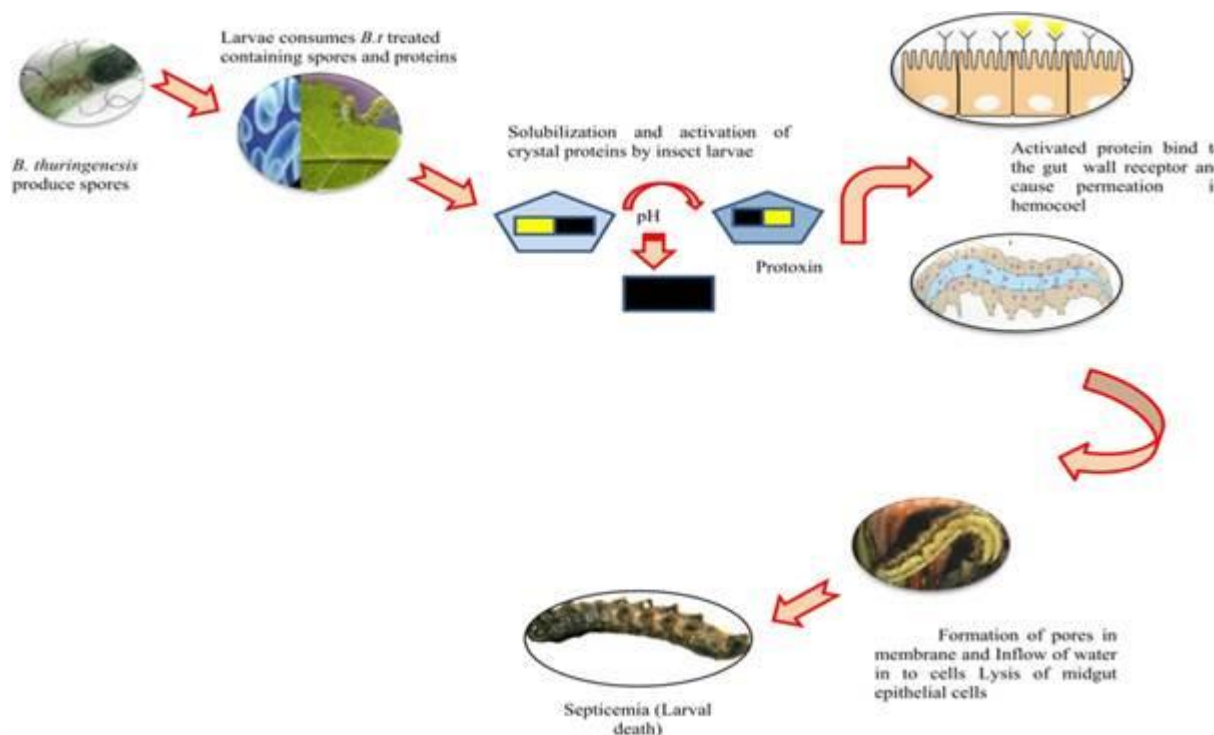
- **Les pathogènes potentiels**

Les pathogènes potentiels peuvent être cultivés aisément dans des environnements artificiels et posséder une variété d'hôtes. Il est capable de contaminer les insectes même à de faibles quantités (<10 000 cellules) et a une variété d'hôtes, tels que *Pseudomonas aeruginosa* et *Serratia marcescens*, qui sont utilisés contre les nématodes à galles, et *Phyllophage blanchardi*, qui est utilisé contre les ravageurs coléoptères. En raison de leur caractère non invasif et non sporulé, ces agents pathogènes ne sont pas considérés comme des agents de lutte biologique prometteurs.

Les bactéries *Bacillus popilliae*, *B. thuringiensis*, *Clostridium bifermentans*, *Pseudomonas alcaligenes*, *Pseudomonas aureofaciens*, *Saccharopolyspora spinosa*, *Serratia entomophila* et *Streptomyces avermitilis* ont été utilisées avec succès dans la multiplication massive. Les deux espèces *Bacillus thuringiensis* et *Bacillus sphaericus* sont toxiques pour les lépidoptères, les diptères, les coléoptères et les hyménoptères. Cette bactérie possède des propriétés insecticides pendant la phase de formation des spores. Les pesticides à base *B. thuringiensis* et sa toxine sont disponibles dans le commerce pour combattre différents ravageurs (Gelernter et Schwab, 1993).

Lors de la sporulation, *B. thuringiensis* génère des cristaux de protéines qui sont responsables de la lyse des cellules intestinales lorsqu'elles sont ingérées par des insectes sensibles (Chandler et al. 2011). Elle génère des protéines en forme de cristal (cry et cyt). Quand la larve avale la protéine

cry, les delta-endotoxines sont libérées dans l'intestin des insectes à pH alcalin (9,0 à 11,0). L'attachement des protéines au site récepteur de l'intestin entraîne la formation de pores dans les cellules de l'intestin moyen (Kumar 2012). La toxine entraîne la paralysie de l'intestin moyen, ce qui entraîne la lyse cellulaire, ce qui entraîne la libération du contenu de l'intestin dans l'hémocèle de l'insecte, perturbant ainsi l'équilibre du pH et se terminant par la mort de l'organisme nuisible cible spécifique (Betz et al., 2000; Zhu et al., 2000; Darboux et al., 2001) (figure 6 )



**Figure 6:** Mode d'action des *Bacillus thuringiensis* (Thampi et al., 2023)

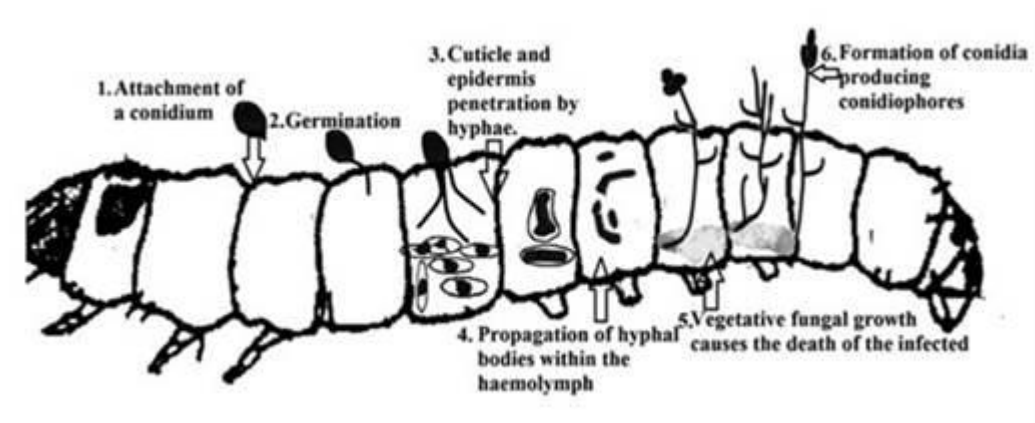
### III.3.1.2. Biopesticides fongiques

Les champignons entomopathogènes, utilisés comme biopesticides, sont des microorganismes capable de parasiter et tuer les insectes nuisibles. Ces champignons peuvent être des parasites commensaux, symbiotes, facultatifs ou obligatoires (Barbara et Clewes, 2003). Ils se développent dans divers habitats, qu'ils soient aquatiques ou terrestres, et appartiennent principalement aux groupes des Pyrénomycètes, des Hyphomycètes, des Laboulbeniales et des Zygomycètes. Parmi les plus de 700 espèces reconnues pour leurs propriétés insecticides, les espèces les plus couramment utilisées incluent les *Metarhizium anisopliae*, efficace contre les sauterelles et les criquets, ce champignon est inoffensif pour l'environnement et les mammifères, les *Beauveria bassiana*

utilisées depuis le 19ème siècle, ciblent diverses espèces d'insectes, les *Paecilomyces farinosus*, *Nomuraea rileyi*, et *Verticillium lecanii* sont également largement utilisés, les *Saccharopolyspora spinosa* qui sont des actinomycètes produisant des spinosynes, efficaces contre plusieurs ordres d'insectes (Koul, 2011).

D'après Pedrini et al. (2007), les champignons agissent par pénétration du mycélium dans la cuticule des insectes jusqu' à dans l'hémocèle provoquant la mort des individus attaqués. Le mode d'action des biopesticides à base de champignons se résume cinq étapes (figure 7) :

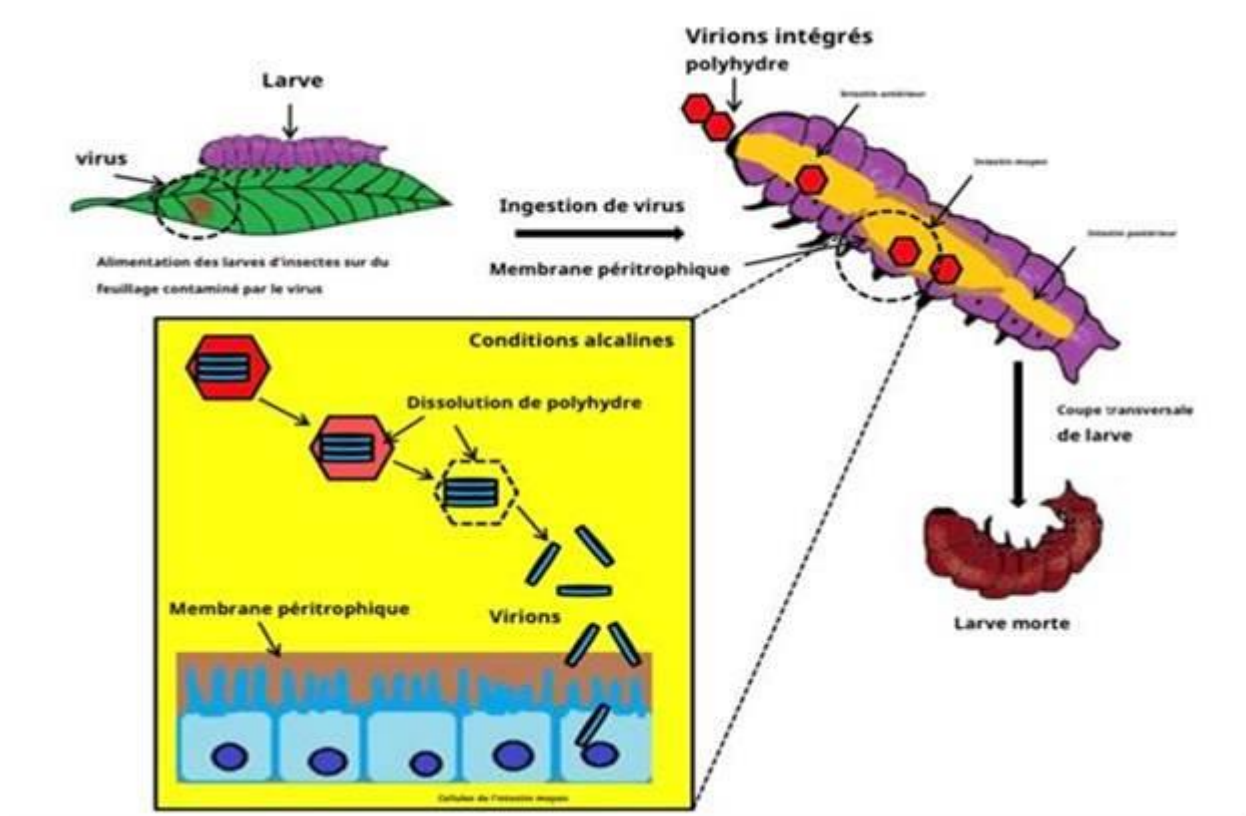
- La spore fongique appelée conidies adhère à la cuticule de l'hôte par fixation hydrophobe ;
- La germination des spores se fera par la croissance filamenteuse de conidies appelées tube germinatif ou par appressorium ;
- Il pénètre dans la cuticule grâce aux enzymes hydrolytiques produites par celles-ci. De plus, les acides organiques, les métabolites secondaires, les toxines et les composés antimicrobiens détoxifiants sont sécrétés par les champignons ;
- Les spores fongiques pénètrent de la cuticule des insectes dans l'hémocèle, entraînant la mort des insectes ;
- De plus, le mycélium interne se développe en sporulé vers l'extérieur et émerge sur les surfaces externes des cadavres d'insectes.



**Figure 7:** Mode d'action des champignons entomopathogènes contre les insectes lépidoptères (Senthil-Nathan, 2015).

### III.3.1.3. Biopesticides viraux

Environ 700 espèces de virus sont connues pour infecter les insectes, réparties entre divers ordres: hyménoptères (100 espèces), lépidoptères (560 espèces), orthoptères, diptères et coléoptères (40 espèces). Ces virus sont des entités submicroscopiques, intracellulaires, et pathogènes. Les principaux virus utilisés dans la lutte contre les ravageurs comprennent les baculovirus à ADN (BV), les réovirus à ARN, les granulovirus (GV), les virus de la nucléopolyédrose (NPV), les iridovirus, les poxvirus, les virus de la polyédrose cytoplasmique, les nodavirus, les ascovirus, les virus de type picorna, les paravirus, les tétravirus et les polyADN-virus. Ces virus sont utilisés pour lutter contre les ravageurs des grandes cultures, des légumes et des insectes broyeurs de plantes tels que les papillons de nuit, les vers et les chenilles (Erayya et al., 2013 ; Lacey et al., 2008). La majorité des virus d'insectes connus appartiennent à la famille des baculoviridae, largement utilisés dans la conception de la plupart des biopesticides viraux. Les baculovirus pathogènes à double brin d'ADN sont principalement présents chez les arthropodes, notamment chez la plus part des insectes (Barber et al., 1993).



**Figure 8:** Mode de parasitisme des baculovirus (Hussein et al., 2021)

Les baculovirus agissent principalement par ingestion. Une fois que l'insecte cible ingère des aliments contaminés, le virus infecte les cellules cibles. Ces virus produisent des particules infectieuses sous forme de corps d'occlusion cristallins. Les NPV forment des structures

polyédriques tandis que les GV génèrent des structures granulaires. Les corps d'occlusion sont dissous dans l'intestin moyen de l'hôte, libérant des virions spécifiques appelés virus dérivés d'occlusion (ODV) qui interagissent avec les cellules épithéliales microvillaires. Les NPV peuvent infecter tous les types de tissus, tandis que les GV sont spécifiques aux cellules du corps adipeux. L'infection se propage ensuite à d'autres tissus comme les cellules nerveuses, les corps adipeux et les hémocytes de l'hémolymphe, produisant des granules et des polyèdres dans les noyaux/cytoplasme infectés, conduisant à des enzooties et réduisant la population de ravageurs (Cory et al., 2000) (figure 8).

#### **III.3.1.4. Protozoaires comme biopesticides**

Les protozoaires entomopathogènes, également connus sous le nom de microsporidiens, ciblent principalement les invertébrés nuisibles (Kachhawa, 2017), induisant naturellement des effets débilants et chroniques (Brooks, 1988 ; Senthil-Nathan, 2015). Parmi eux, les genres notables *Vairimorpha* et *Nosema* s'attaquent spécifiquement aux insectes orthoptères et lépidoptères (Lewis, 2002). Ces organismes agissent lentement, sont spécifiques à leur hôte, provoquent des infections chroniques et persistent dans l'hôte, impactant négativement la condition physique et la reproduction des insectes ciblés. Leurs cycles de vie complexes peuvent impliquer un développement à l'intérieur de l'hôte ou nécessiter un hôte intermédiaire (Senthil-Nathan, 2015).

En étudiant *Nosema pyrausta*, qui parasite la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*), il a été constaté que le protozoaire peut infecter l'hôte par transmission horizontale et verticale. En transmission horizontale, les spores du protozoaire sont ingérées par l'hôte, prolifèrent et produisent davantage de spores dans l'intestin moyen de l'hôte. Ces spores sont ensuite libérées avec les excréments de l'hôte, qui finit par mourir de l'infection. Les spores restent viables et sont consommées par d'autres larves de l'hôte, perpétuant ainsi le cycle d'infection (Koul, 2011). Si une spore est ingérée par une larve femelle, l'infection se transmet à la génération suivante par transmission verticale (Senthil-Nathan, 2015). Dans ce cas, le tissu ovarien de la femelle adulte est infecté, produisant des ovocytes infectés qui génèrent des larves infectées. Ces larves meurent tôt ou tard, laissant des spores viables à proximité pour initier un nouveau cycle d'infection par *Nosema* (Senthil-Nathan, 2015). Le seul biopesticide protozoaire homologué est *N. locustae*, utilisé pour contrôler les populations de sauterelles. Il infecte efficacement les sauterelles au stade nymphal et peut les tuer en six semaines (Bidotchka et Khachatourians, 1991).

#### **III.3.1.5. Biopesticides à base d'algues**

Pour leur croissance, les microalgues et les macroalgues ont des besoins nutritionnels simples et sont employées dans des pratiques agricoles durables en tant que biopesticides, biofertilisants et pour améliorer les caractéristiques et la santé du sol. Les microalgues génèrent différents biocomposés tels que les régulateurs de croissance, les terpènes et les composés phénoliques, ce qui leur confère des propriétés de biopesticides. Les propriétés antimicrobiennes, antivirales, antibactériennes et antifongiques des métabolites secondaires actifs présents dans les macroalgues marines sont également élevées (Costa et al., 2019). Les algues vertes ont été les premières à montrer des activités biopesticides, avec la chlorelle qui produit la chlorelline, un composé bioactif qui inhibe les bactéries. Les cyanobactéries se distinguent par leur capacité à produire différents composés bioactifs tels que les polyphénols, les tocophérols, les protéines, les huiles, les glucides, les produits allélochimiques, les saponines, les sesquiterpènes et les composés riches en azote (Pratt et al., 1945). Ces substances altèrent la membrane cytoplasmique des microbes, entravent la production de protéines et inactivent les enzymes spécifiques. Les toxines produites par certaines cyanobactéries sont des composés anti-alimentation pour les larves, ce qui diminue la population de moustiques ( El-Mougy et Abdel-Kader, 2013). De plus, elles entravent les phases initiales des larves des prédateurs et ont un impact négatif sur les processus de pupaison et de fécondité des prédateurs adultes (Costa et al, 2012 ; Matamoros et Rodriguez, 2016). Des composés particuliers comme le 12-épi-hapalindole C, isonitrile et baraliadele L, isolés de *Eischerella*, ont une activité insecticide élevée, éliminant rapidement les larves de ravageurs. De même, l'érétophilone, un sesquiterpène isolé de *Calothrix* spp., est efficace contre les ravageurs dans les plantations de riz (Hemández-Carlos et Gamba Augulo, 2011).

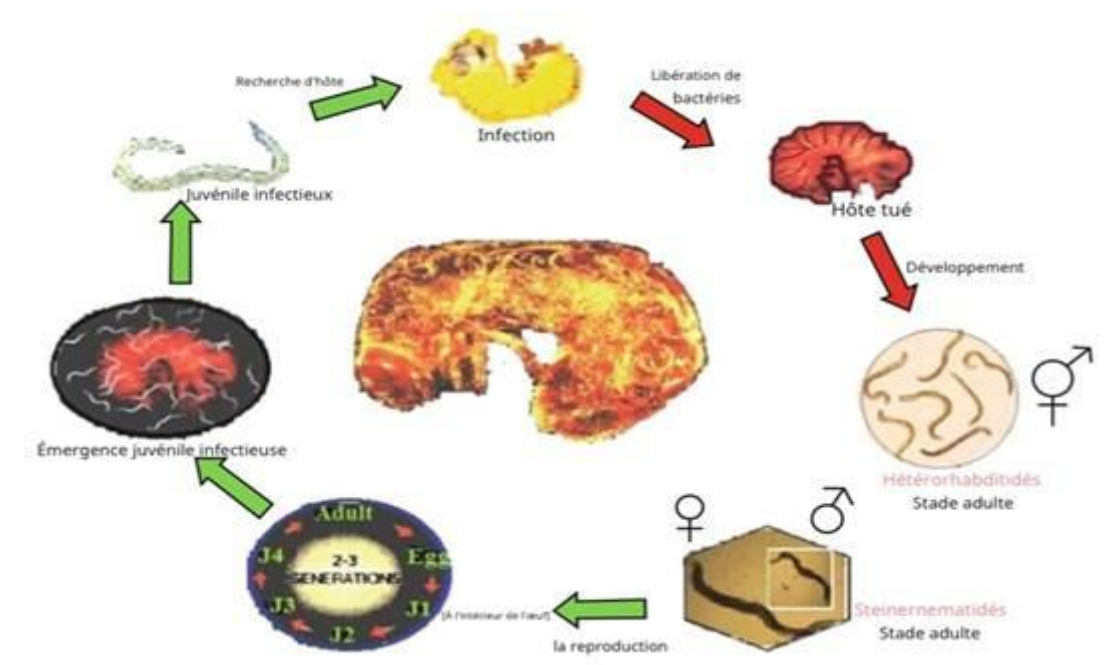
### III.3.1.6. Nématodes comme biopesticides

Les nématodes entomopathogènes sont des micro-organismes utilisés comme biopesticides pour lutter contre divers ravageurs tels que les moucheron, les charançons des vers blancs et de nombreuses espèces de la famille des Sesiidae. Ces nématodes, qui possèdent un potentiel insecticide important, sont des vers ronds non segmentés au corps mou et peuvent être des parasites obligatoires ou facultatifs pour certains insectes. Les nématodes entomopathogènes les plus fréquemment utilisés appartiennent aux genres *Heterorhabditis* et *Steinernema*, ils sont souvent associés à des bactéries symbiotiques pathogènes pour les insectes, notamment *Xenorhabdus* spp. et *Photorhabdus* spp., qui possèdent un grand potentiel insecticide (Atwa, 2014).

Les nématodes entomopathogènes envahissent leurs hôtes sous forme de juvéniles infectieux. Ces juvéniles pénètrent dans l'hôte à travers la cuticule, la bouche, les stigmates ou



l'anus. Une fois à l'intérieur, ils libèrent des bactéries symbiotiques dans l'hémocèle de l'hôte, provoquant la mort de l'insecte dans les 24 à 48 heures suivant l'infection. Les bactéries symbiotiques se multiplient dans l'hémolymphe de l'insecte, libérant des facteurs de virulence et des toxines qui affaiblissent l'hôte. Les métabolites produits créent un environnement favorable à la reproduction des nématodes (Ruiu, 2015).



**Figure 9:** Mode d'action des nématodes entomopathogènes contre les insectes lépidoptères (Senthil-Nathan, 2015)

### III.3.2. Biopesticides animaux

Les pesticides dérivés d'animaux, sont des toxines animales (venin d'abeille, venin d'araignée, venin de scorpion, etc.), des hormones d'insectes (analogue d'hormone juvénile, ecdysone, etc.), des phéromones (phéromones sexuelles, répulsifs, etc.) et des ennemis naturels (prédateurs, parasites, etc.) (Leng et al., 2011 ; Goettel et Hajek, 2001). Les ennemis naturels des ravageurs tels que les parasitoïdes et les prédateurs sont largement utilisés contre les ravageurs des champs et des entrepôts. Les insectes parasitoïdes ont un stade de vie qui se développe sur ou au sein d'un seul insecte hôte et tue finalement l'hôte. Les parasitoïdes pondent leurs œufs sur ou dans le corps de l'insecte hôte et les larves en développement utilisent les fluides corporels et les organes de l'hôte comme nourriture, tuent l'hôte lorsqu'il se nymphose ou émerge à l'âge adulte. Les insectes parasitoïdes les plus importants appartiennent aux familles des Ichneumonidae et des braconidae. Les guêpes ou mouches qui attaquent la chenille ont une large gamme d'hôtes, y compris les pucerons. Les mouches tachinides parasitent un large éventail de ravageurs tels que les chenilles, les

larves et les adultes de lépidoptères et de coléoptères. Pour réussir un programme de biocontrôle, les parasitoïdes utilisés doivent être spécifiques à l'hôte, se reproduire et s'adapter à de vastes conditions environnementales. Les prédateurs sont libres, de grande taille, se nourrissent de leur hôte et le détruisent au cours de leur vie. Des prédateurs tels que *Brumoides sp.*, *Chrysopérale sp.*, les libellules et les demoiselles sont efficaces contre divers ravageurs des cultures (Strand et Obrycki, 1996).

Les insectes produisent des substances chimiques appelées phéromones pour stimuler une certaine réaction comportementale chez d'autres individus. Ces phéromones ont des nombreux effets et sont nommées en fonction de leur réponse provoquée, par exemple les phéromones sexuelles, les phéromones d'agrégation, les phéromones d'alarme, et ainsi de suite. Certaines phéromones agissent en tant qu'aphrodisiaques, permettant aux personnes de repérer et de localiser des partenaires, tandis que d'autres entraînent le suivi de piste, la ponte et l'agrégation chez d'autres congénères. Il est devenu crucial de surveiller et de contrôler les populations de ravageurs agricoles grâce aux phéromones. Ainsi, une vaste collection de plus de 1 600 phéromones et attractifs sexuels a été rapportée (Witzgall et al., 2004).

### III.3.3. Biopesticides végétaux

Les plantes produisent des substances actives ayant des propriétés insecticides, aseptiques ou encore régulatrices de la croissance des plantes et des insectes. Le plus souvent, ces substances actives sont des métabolites secondaires qui, à l'origine, protègent les végétaux des herbivores (Deravel et al., 2014).

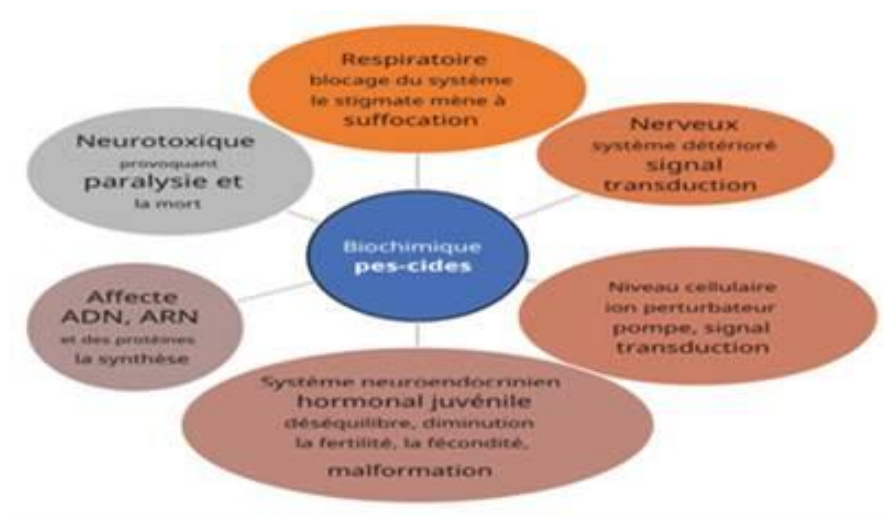
Les biopesticides végétaux agissent en perturbant les processus physiologiques ou en interférant avec le développement des ravageurs (Dupont et Martin, 2020). Ces effets peuvent être regroupés en plusieurs catégories :

- Effet toxique direct : Les différents extraits végétaux contiennent des composés bioactifs tels que les alcaloïdes et les phénols qui peuvent être nocif pour les ravageurs. Ces substances peuvent perturber leurs fonctions biologiques essentielles, voire entraîner leur mort (Isman, 2006).
- Effet alimentaire : Certaines essences de plantes peuvent renfermer des éléments qui empêchent les insectes de se nourrir, par conséquent le comportement alimentaire des insectes est altéré, diminuant ainsi les dommages causés aux cultures (Pavela, 2016)



- Effet répulsif : Les extraits peuvent aussi jouer un rôle de répulsif, éloignant les ravageurs nuisibles des plantes traitées. Cela diminue les risques d'infestation et de dégâts aux cultures (Ralalarinivo, 2010).
- Inhibition de la croissance et du développement : Certains composés dans les extraits peuvent perturber le cycle de vie des ravageurs en inhibant leur croissance, leur mue ou leur reproduction (Gonzalez et al., 2010)
- Effet antifongique et antibactérien : Il est possible que les extraits de plantes aient des propriétés antifongiques et antimicrobiennes qui permettent de préserver les plantes des infections (Isman, 2006).

Les produits biochimiques, aussi appelés pesticides à base de plantes, sont des substances chimiques provenant des plantes. Chaque composé phytochimique a une structure particulière et joue différentes fonctions, comme la préservation, l'accélération de la croissance et la reproduction des plantes (Huang et al., 2014). Ces composés se retrouvent dans différentes parties des plantes : fruits, légumes, céréales, légumineuses, noix, graines, écorce, ...etc. Étant donné qu'il contient divers composés bioactifs ayant des propriétés antiparasitaires, bactéricides, fongicides, viricides et insecticides, il peut être perçu comme une alternative envisageable aux pesticides inorganiques. Les plantes produisent naturellement des métabolites secondaires, tels que les terpènes qui renferment des phytovolatiles et des glycosides, et les stérols qui renferment des composés phénoliques tels que les acides phénoliques, la lignine, les tanins et les alcaloïdes. La présence de métabolites secondaires est essentielle dans le système de protection des plantes contre les insectes (Meenatchi et Negi, 2021). Selon Mossa (2016), il joue le rôle de toxique, de régulateur de croissance des insectes, de répulsif et d'anti appât. Il est possible d'extraire les composés phytochimiques des plantes en utilisant différentes méthodes telles que l'extraction par solvant, l'extraction assistée par micro-ondes et l'extraction assistée par ultrasons, en se basant sur la présence d'un groupe de composés phytochimiques présents dans les plantes (Altemimi et al., 2017).



**Figure 10:** Mode d'action des pesticides biochimiques (Meenatchi et Negi, 2021)

### III.4. Formulations des biopesticides

Les biopesticides sont généralement formulés de la même façon que les pesticides de synthèse. Ils offrent une plus grande praticité à l'agriculteur et le même équipement peut servir à une application. Étant donné qu'il est produit à partir de corps vivants, il est nécessaire de préserver sa viabilité lors de sa formulation et de son stockage. On peut trouver différentes formulations de biopesticides, avec des ingrédients actifs (IA) et des ingrédients inertes ou inactifs. L'actif et les ingrédients font partie de la composition spécialement conçue pour combattre l'organisme nuisible visé. Le rôle des ingrédients inertes consiste à optimiser l'utilisation et l'efficacité des ingrédients actifs. Un pesticide n'est rien d'autre qu'une combinaison d'éléments actifs et inactifs. Pour que les organismes utilisés dans la formulation des biopesticides soient actifs pendant la phase d'application et après l'application, ils doivent sortir de leur état de dormance (Tableau I) (Boyetchko et al.1999).

### III.5. Plantes protectrices incorporés (PIP)

Les PIP comprennent des protéines et des gènes introduites dans l'hôte (appelé organisme génétiquement modifié) en utilisant la pratique du génie génétique. Cette modification de la constitution génétique de l'hôte le rend compétent pour se protéger contre les ravageur (Hussein al., 2021). Par exemple, les scientifiques peuvent prendre le gène du BT protéine pesticide et introduire le gène dans le matériel génétique de la plante. Alors la plante, au lieu du BT bactérie, fabrique la substance qui détruit le ravageur (Tableau 8) (Leahy et al., 2014).

**Tableau 7** : Formulations des biopesticides (Kendar, 2021)

Types de formulation	Description	Ingrédients actifs (AI)	Ingrédients inactifs	Application et utilisation
Poudres	Mélange de 10% d'IA avec une poudre minérale	10%	Poudre minérale (argile, talc)	Application directe en poudre saupoudrables
Granulés	2 à 20 % d'IA enrobé ou absorbé dans des granulés	2 à 20 %	Silice, amidon, argiler,	Application près du sol, libération de l'IA lorsque le sol est humide
Poudres de traitement (enrobages)	Formulations combinées avec les graines avant la plantation			Traitements des semences
Poudres mouillables (WP)	Poudres finement broyées combinées avec des agents dispersants, agents fondants	Varie selon le produit	Agents dispersants, tensio-actifs, agents fondants	Mélanger avec de l'eau pour une application uniforme
Granulés dispersibles dans l'eau	Pouduits sans poussières dissolus dans l'eau			Amélioration de la stabilité lors du stockage
Suspensions aqueuses (SA)	IA mélangé avec de l'eau	Varie selon le produit	Eau	Pulvérisation après dilution
Concentré émulsifiable (EC)	Emulsion homogène où des particules d'IA sont suspendues	Varie selon le produit	Solvants à base de pétrole émulsifiants	Pulvérisation après mélange avec de l'eau
Suspension concentré (SC)	IA dissous dans l'eau, agité pour homogénéité	Varie selon le produit	Eau Stabilisants	Sécurité accrue pour l'environnement et l'utilisateur
Ultra Low Volume (ULV)	Formulations à 100% d'IA	100%	Aucun	Combattre les moustiques agricoles et forestiers
Suspension de capsule	IA encapsulé dans de l'amidon/ cellulose ou autres polymères	Varie selon le produit	Amidons Cellulose Polymères	Dissolution dans l'eau avant utilisation pour préserver les bioagents
Aérosol liquide	IA sous forme liquide ou gazeuse dans un récipient sous pression	Varie selon le produit	Liquides ou gaz sous pression	Applications par fines gouttelettes de liquides ou de gaz

**Tableau 8** : Liste des agents protecteurs incorporés aux plantes contre les ravageurs des cultures (Leng et al., 2011)

Plante	Gène incorporé	Cible
Coton	Cry I A(b) et (c)	Coléoptères
Maïs	Cry I A(b)	Pyrale du maïs
Riz	Cry I A(b)	<b>Dossiers de feuilles</b>  ( <i>Cnaphalocricismedinale</i> ) et foreurs de tiges
Pomme de terre	Cry I A(B) Cry III A	<i>Phthorimaeavirescens</i> Punaise de pomme de terre
Soja	Cry I A(c)	<i>Pseudoplusia includens</i>
Tomate	Cry I A(b)	Lépidoptères

D'après Meenatchi et Negi (2021), les PIP permettent aux plantes de faire face aux bactéries, aux virus ou aux champignons. Parmi les PIP, on peut citer le soja, le coton, le maïs, la pomme de terre et les tomates. Les plantes transgéniques sont créées par le transfert du gène cible, que ce soit par transfert médié par *Agrobacterium*, par pistolet à gènes ou par méthodes balistiques. Ainsi, Les agents protecteurs ajoutés aux plantes offrent des meilleurs rendements mais présentant certains risques potentiels (organismes nuisibles non ciblés, la santé humaine et l'environnement, la transmission du gène PIP à d'autres plantes et les risques de résistance aux pesticides ou aux insectes).

### III.6. Les caractéristiques des biopesticides végétaux

#### III.6.1. Sélectivité

Les végétaux et les insectes ont suivi une coévolution parallèle mais étroitement interdépendante. Les insectes pollinisateurs favorisent la reproduction des plantes supérieures ; l'existence d'insectes phytophages est de toute évidence subordonnée à la présence d'espèces végétales qui constituent leur source de nourriture, même si dans certains cas, des dérives nutritionnelles ont pu être observées lors de phénomènes d'adaptation (Streblor, 1989).

#### III.6.2. Spécificité

Les recherches sur l'efficacité des fractions des plantes aromatiques montrent qu'il y'a une grande variation dans la sensibilité des espèces pour une même huile essentielle (Shaaya et al., 1991). La même molécule allélochimique n'a pas forcément la même activité à différents stades du cycle reproductif d'un insecte, c'est-à-dire que la sensibilité d'un insecte peut évoluer en fonction de son développement physiologique (Regnauld-Roger, 2005)

### **III.6.3. Biodégradabilité**

Les molécules allélochimiques végétales, autrefois connues sous le nom de composés secondaires des plantes, font partie du métabolisme secondaire des polyphénols, terpènes, alcaloïdes ou glucides cyanogénétiques (Strebler, 1989). Ces composés sont facilement biodégradés par voie enzymatique. La durée de demi-vie des composés végétaux est particulièrement courte, allant de quelques heures à quelques jours (Kleeberg et Ruch, 2006).

### **III.6.4. Résistance**

Le nombre de composés utilisés dans la lutte phytosanitaire, augmenté par les molécules allélo chimiques végétales en variant les structures chimiques, favorisent la variété des cibles moléculaires et biochimiques de l'insecte. A L'instar des antibiotiques, un insecticide phytochimique peut conduire à des cas de résistance si les applications de ce composé sont systémiques, répétées et sans discernement. Il est donc nécessaire de restreindre les épandages et surtout de diversifier les formulations en combinant plusieurs composés avec des modes d'action différents (Regnault-Roger, 2008).

### **III.6.5. Biodisponibilité**

La biosynthèse des molécules allélochimiques par les végétaux est influencée par divers facteurs environnementaux, physiologiques et génétiques, qui impactent leur biodisponibilité au sein d'une espèce donnée. Toutefois, leur présence partout dans le règne végétal devrait permettre de limiter cet inconvénient. Il est important de prendre garde à ce que les développements industriels et commerciaux de nouveaux biopesticides d'origine végétal ne se réalisent pas au détriment de la biodiversité. Pour remédier à une éventuelle insuffisance de disponibilité, un débat a récemment surgi concernant la possibilité d'enrichir les formulations à base d'extraits végétaux avec

des substances de synthèse ou d'hémisynthèse parfaitement identiques aux molécules naturelles (Regnault-Roger et al., 2005 ; Descoins et al., 2003; Copping, 2004).

### **III.7. Processus d'extraction et types d'extraits des biopesticides végétaux**

#### **III.7.1. Processus d'extraction**

L'extraction des plantes consiste à extraire ou à séparer des substances chimiques spécifiques à partir d'un tissu végétal en utilisant des solvants sélectifs, selon différentes méthodes. L'extraction joue un rôle essentiel dans la préservation de la bioactivité des composés phytochimiques. Plusieurs métabolites sont synthétisés par les plantes, tels que des alcaloïdes, des glycosides, des terpénoïdes, des flavonoïdes et des lignanes. On peut utiliser différentes techniques de fractionnement afin d'isoler une fraction ou un composé spécifique à partir des extraits bruts. Les parties de la plante, les solvants d'extraction, les méthodes d'extraction (technique d'extraction) et le type d'équipement utilisé influencent la qualité d'un extrait végétal. Le choix entre différentes méthodes d'extraction phytochimique est influencé par les caractéristiques physicochimiques et la stabilité des phytoconstituants à obtenir. L'hydrodistillation et la distillation à la vapeur sont les méthodes les plus simples pour extraire les composés volatils tels que les huiles essentielles, tandis que pour les composés non volatils, on peut utiliser l'extraction par le froid, l'expression, la macération et l'extraction par solvant. Il existe des technologies d'extraction plus sophistiquées, telles que l'extraction par fluide supercritique (Hassan et Gokce, 2014).

#### **III.7.2. Types d'extraits**

Les extraits de plantes désignent des préparations obtenues par l'action extractive d'un solvant spécifique sur une plante sèche ou fraîche contenant les composés actifs de la plante dissout dans le solvant ; ils sont souvent dans l'eau ou dans l'huile. On les retrouve sous des formes très diverses (Laid, 2016).

- **Les huiles essentielles**

Les huiles essentielles sont des ensembles naturels de composés volatils et parfumés produits par les cellules sécrétrices des plantes aromatiques. Ces composés sont conservés dans des poches situées au niveau de certains tissus végétaux (Duquenois, 1968). Les essences ou huiles essentielles, aussi appelées huiles volatiles, parfums, etc., sont caractérisées par leur odeur, leur volatilité, leur

faible solubilité dans l'eau, leur solubilité variable dans l'alcool et l'éther, leur couleur incolore ou jaunâtre, leur inflammabilité et leur capacité à se résinifier lorsqu'elles sont exposées à l'air. On les trouve dans diverses parties des plantes, telles que les sommités fleuries, l'écorce, les racines, les rhizomes, les fruits et le bois, et elles peuvent être présentes dans plusieurs organes d'une même plante (Durvelle, 1893 ; Durvelle, 1930).

Selon Shetty et al. (2000), ces mécanismes sont considérés comme spécifiques et les biopesticides à base d'huiles essentielles peuvent être des outils privilégiés dans les programmes de gestion de la résistance des ravageurs aux pesticides. Grâce à ces mécanismes d'action spécifiques, ces biopesticides peuvent être employés de manière isolée et répétée sans risque de favoriser la résistance chez les ravageurs. Ils peuvent aussi être employés en complément des pesticides de synthèse pour améliorer la durée de vie de ceux-ci (Isman 2000, Ceske et Kaufman, 1999).

- **Les extraits aqueux**

On obtient les extraits aqueux en utilisant de l'eau en tant que solvant. En général, ils servent à extraire des composés polaires à partir de végétaux. On peut trouver différents composés bioactifs dans ces extraits, tels que des polysaccharides, des glycosides, des tanins et des flavonoïdes (Oluwaseyi et Ebenezer, 2021).

- **Les extraits éthanoliques**

On obtient des extraits éthanoliques en utilisant de l'éthanol comme solvant. L'éthanol est un solvant semi-polaire capable d'extraire différents composés tels que des flavonoïdes, des tanins, des saponines et des stéroïdes et d'autres (Shodehinde et al., 2016).

- **Les extraits méthanoïques**

Le méthanol est utilisé comme solvant pour obtenir les extraits méthanoliques. C'est une substance polaire qui a la capacité d'extraire une variété de composés, tels que des composés phénoliques, des flavonoïdes, des terpénoïdes et des alcaloïdes (Bouali et al., 2024).

- **Les extraits acétoniques**

L'acétone est utilisée comme solvant pour obtenir les extraits cétoniques. L'acétone constitue un solvant polaire capable d'extraire des flavonoïdes, des terpénoïdes, des alcaloïdes et des glycosides (Petrovic et al., 2023).

### **III.8. Biopesticides d'origines végétales et perspectives de lutte**

#### **III.8.1. Pouvoir insecticide des plantes biopesticides**






Les *Myrtaceae*, les Lauracées, les Rutaceae, les Lamiaceae, les Asteraceae, les Apiaceae, les Cupressaceae, les Poaceae, les Zingiberaceae, les Piperaceae, les Liliaceae, les Apocynaceae, les Solanaceae, les Caesalpinaceae et les Sapotaceae sont des familles de plantes qui renferment des composés bioactifs qui ont une activité contre de grands ravageurs des cultures (Gakuubi et al., 2016). Ils sont accessibles aisément, ce qui les rend abordables et permettent une intégration facile dans les systèmes de production agricole. Les pesticides botaniques contiennent fréquemment des métabolites secondaires tels que les stéroïdes, les alcaloïdes, les tanins, les terpènes, les phénols, les flavonoïdes et les résines. Ces métabolites ont démontré des propriétés antifongiques, antibactériennes, antioxydantes ou insecticides (Ahmad et al., 2017).

Plusieurs plantes sont connues et employées pour leurs propriétés toxiques, répulsives et anti-appétants contre une variété de bioagresseurs (Ismam, 2006). Il est possible d'utiliser ces extraits de plantes pour protéger les feuilles (Mochiah et al., 2011), On utilise également des huiles essentielles (un liquide concentré de composés organiques volatils de plantes) ou des plantes entières dans les greniers de denrées stockées (Anjarwalla et al., 2016). Les extraits sont préparés à partir de différents organes des plantes pesticides. Il s'agit d'extraits aqueux ou organiques, d'huiles ou d'huiles essentielles, généralement obtenues par hydrodistillation (Tableaux 9, 10, 11)

Les composés spécifiques présents dans certaines espèces végétales les rendent efficaces contre une catégorie particulière de ravageurs et influencent également leur mécanisme d'action sur les ravageurs cibles. Les produits chimiques issus du pyrèthre attaquent les cellules nerveuses des insectes, ce qui entraîne la paralysie et la mort. En outre, les pesticides contenant du neem, qui ont des propriétés antiappétissantes et répulsives, provoquent des troubles de la mue, entravent la ponte et altèrent le système endocrinien (Lengai et al., 2020). Les pesticides provenant des plantes ont été fréquemment signalés comme perturbant le métabolisme normal des insectes nuisibles, en particulier les voies de l'octopamine et de l'acétylcholinestérase (Pang et al., 2012). Le tableau 9 présente des extraits des plantes qui possèdent une activité insecticide.



**Tableau 9** : Activité insecticide de quelques plantes

Plante	Famille	Partie utilisée	Type d'extrait	Cible	Référence
 Tanacetum Cinerariifolium (Pyrèthre)	Asteraceae	Fleur, Graine	Extrait de pyrèthrine Extrait éthanolique	Plusieurs ravageurs Insectes volants	(Samada et Tambanun ,2020 ; Casida, 1980)
 Melia azedarach (Margousier)	Meliaceae	Feuilles Fruits	Extrait aqueux , méthanolique	Sauterelles Mouches	(Pavela, 2016)
 Allium sativum (Ail)	Amaryllidaceae	Bulbes	Extrait aqueux	Pucerons Acariens Chenilles	(Block, 2010)
 Azadirachta indica (Neem)	Meliaceae	Graines	Huile essentielle	Insectes nuisibles	(Kumar et al., 2021)
 Nicotinatabatum (Tabac, Nicotine)	Solanaceae	Feuilles	Extrait éthanolique	Araignées Pucerons Cigales	(Negin et al., 2024)





### III.8.2. Pouvoir herbicide de quelques plantes biopesticides

L'huile essentielle de *Coleus aromaticus* Benth., *Azadirachta indica*, *Ageratum conyzoides* ont été utilisés pour lutter contre l'infestation de *Tribolium castaneum* (Herbst), un coléoptère rouge de la farine qui détruit de nombreuses espèces de cultures (Singh et al., 2014 ; Jaleel et al., 2015). D'autres éléments de la plante, comme l'écorce, les fleurs, les racines, les feuilles, les écorces, les graines et les bourgeons, peuvent être employés pour combattre divers agents pathogènes de la plante (Tongnuanchan et Benjakul, 2014).

Lovatto et al. (2004), ont mené une expérience où neuf extraits aqueux différents de feuilles, de fruits et de fleurs de neuf plantes ont été employés afin de repousser d'éliminer *Brévicoryne brassicae*, *Solanum pseudocapsicum*, *Solanum guaranicum*.

Les résultats concernant l'activité herbicide de certains extraits de plantes sont présentés dans le tableau 10.

**Tableau 10** : Activité herbicide de quelques plantes

Plante	Famille	Partie utilisée	Type d'extrait	Cible	Référence
 Citrus sinensis (Orange)	Rutaceae	Ecorce	Huile essentielle	Amaranthus retroflexus	(Kumar et al., 2021)
 Moringa oleifera (Moringa)	Moringaceae	Graines	Extrait aqueux	Jacinthe d'eau (Eichhornia crassipes)	(Anwar et al., 2007)
 Eucalyptus citriodora	Myrtaceae	Feuilles	Huile essentielle volatils	Parthenium hysterophorus	(Singh et al., 2005)
 Rosmarinus officinalis (Romarin)	Lamiaceae	Feuilles	Extrait aqueux	Mauvaises herbes (blé)	(Naimi, 2021)





### III.8. 3. Pouvoir fongicide et bactéricide de quelques plantes biopesticides

L'effet fongicide que l'huile d'*Ocimum gratissimum* a été constaté. En effet, cette huile essentielle inhibe la germination des spores et la croissance du mycélienne de *Fusarium oxysporum f. sp. radiclesycopersici* et *Pythium sp.* avec un effet relativement équivalent à celui des fongicides de synthèse (Doubouya et al., 2012). Une expérience de Zirihi et al. (2008) a pu montrer que pour des concentrations supérieures à 6 g.l<sup>-1</sup>, l'extrait aqueux de *Combretum racemosum* P. Beauv.

(Combretaceae) inhibe totalement la croissance mycélienne de *Pythium aphanidermatum* Edson, *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicis lycopersici* Forl. et *Macrophomina phaseoli*.

Okereke et al. (2007) ont montré que l'application des extraits aqueux d'*Azadirachta indica* A.Juss. (Meliaceae), de *Caricapapaya* L. (Caricaceae) et d'*Hyptissuaveolens* (L.) Poit. (Lamiaceae) sur des plants de tomate infectés par *Sclerotium rolfsii* Saccardo permet de réduire la sévérité de la maladie et d'obtenir une meilleure croissance des plants. Des plantes aromatiques comme l'Origan, le thym, la sauge, le romarin et le clou de girofle ont la particularité commune, toutes les huiles essentielles de ces plantes contiennent une grande quantité de composés phénoliques monoterpènes tels que l'eugénol, le thymol et le Carvacrol. Ces substances ont une activité antibactérienne et antifongique élevée (Sivropoulou et al., 1995). Les résultats concernant le pouvoir fongicide et bactéricide de certains extraits de plantes sont rapportés dans le tableau 11.

**Tableau 11** : Activité antifongique et antibactérienne de quelques plantes

Plante	Famille	Partie utilisée	Type d'extrait	Cible	Référence
 Ocimum sanctum (Basilic sacré)	Lamiaceae	Feuilles	Huile essentielle	<i>Staphylococcus aureus</i> (Staphylocoque doré) <i>Escherichia coli</i>	(Grewal et al., 2023)
 Zingiber officinale (Gingembre)	Zingiberaceae	Rhizomes	Extrait éthanolique	<i>Phoma sabdariffae</i>	(Lepengue et al., 2013)
 Cymbopogon citratus (Citronnelle)	Poaceae	Feuilles	Huile essentielle	Aspergillus niger Lichens	(Issakoual., 2022 ; Riyanto et al., 2022)
 Thymus vulgaris (Thym)	Lamiaceae	Feuilles	Huile essentielle	Champignon, <i>Cutaneous mycoses</i>	(Davari et al., 2022)

### III.8. 4. Etude comparative des biopesticides végétaux avec les pesticides chimiques

Le tableau 12 rapporte les avantages et les inconvénients des biopesticides

**Tableau 12 :** Avantages et inconvénients des biopesticides par rapport aux pesticides de synthèse (Corrion, et al., 2020)

Avantages	Inconvénients
Moins toxique et moins de charge environnementale Réduit leur impact sur les organismes bénéfiques et non ciblés.	Toxicité Plusieurs insecticides botaniques sont plus toxiques pour les humains et les poissons qu'un certain nombre d'insecticides d'origine synthétique.
Biodégradation rapide Dégradation rapide dans des conditions environnementales telles que la lumière du soleil, l'humidité et les précipitations	Persistance limitée sur le terrain et durée de conservation courte Des applications plus fréquentes peuvent être nécessaires. Avoir des temps d'application relativement critiques
Plus ciblé sur un ravageur spécifique Généralement non toxique pour les humains, les mammifères et les abeilles	Cible plus étroite
Mode d'action spécifique Affectent généralement uniquement le ravageur cible et les organismes étroitement apparentés, contrairement aux pesticides à large spectre	Mode d'action spécifique Prenez soin de choisir le produit qui cible le ravageur que vous devez contrôler.
Gérer plutôt qu'éradiquer Maintenir l'équilibre écologique. Supprimez, plutôt qu'éliminez, une population de ravageurs.	Action plus lente Le délai entre l'exposition et la morbidité et la mort de l'insecte cible peut être de 2 à 10 jours
Impacts minimes sur les plantes La plupart des insecticides botaniques ne sont pas nocifs pour les plantes lorsqu'ils sont appliqués conformément aux instructions sur l'étiquette	Coûts et disponibilité Généralement plus cher que les insecticides synthétiques. Manque de ventes et problèmes associés à la fourniture d'un produit cohérent
Souvent efficace en très petites quantités et se décompose souvent rapidement Il en résulte ainsi des problèmes plus faibles	Manque de données d'efficacité Il existe des données insuffisantes sur les insecticides botaniques, tant en termes d'efficacité que de toxicité chronique.

### III.9. Toxicité et effets des pesticides végétaux sur l'homme

La toxicité et la persistance des biopesticides varient en fonction du solvant utilisé (Henn et al., 1989). Les biopesticides sont respectueux de l'environnement et non toxiques pour les organismes non visés, ce qui en fait une alternative aux pesticides chimiques. Néanmoins, les substances chimiques provenant des biopesticides ont également des conséquences néfastes sur l'être humain (El-Wakeil, 2013). Les valeurs orales de DL des pyréthrinés, de la sabadilla, de la roténone, de la nicotine, du linalol et du neem sont de 1 200 à 1 500 mg/kg, 4 000 mg/kg, 60 à 1 500 mg/kg, 50 à 60 mg/kg, 2 440 à 3 180 mg/kg, 13 000 mg/kg, respectivement de 14,1 % de 2019 à 2024. La croissance la plus élevée est attendue en Amérique du Sud au cours de cette période et il est possible d'atteindre un TCAC de 16,4 % (Kendar, 2021). Les produits phytochimiques jouent un rôle essentiel en tant que biopesticides et en tant que ressources appropriées en composés thérapeutiques et médicaments (Dillard et Allemand, 2000). Selon les recommandations alimentaires mondiales, il est recommandé de consommer davantage de composés phytochimiques ou d'aliments afin de combattre les maladies chroniques telles que le diabète, le cancer, l'ostéoporose, les maladies cardiovasculaires et les infections pathogènes (Knekt et al., 2000). Les fruits, les légumineuses, les légumes et les céréales, qui renferment de nombreux composés phytochimiques avantageux pour la santé, sont une excellente source de composés phytochimiques, tels que des caroténoïdes, des terpénoïdes, des phytostérols, des flavonoïdes, des isoflavones, des isothiocyanates et des fibres (Kendar, 2021).

L'interaction avec les ROS permet aux antioxydants de réduire leurs effets néfastes et de jouer un rôle crucial dans le contrôle des conditions pathologiques (Forni et al., 2019). Les plantes sont les principales sources d'antioxydants, tels que les vitamines (A, C et E), les minéraux et les composés phytochimiques (terpénoïdes, caroténoïdes et polyphénols) (Sarker et al., 2000). Plusieurs produits phytochimiques ont également prouvé des effets antiviraux, antibactériens et antifongiques (Barbieri et al., 2017). De plus, des études supplémentaires devraient être entreprises afin de dénicher de nouveaux composés phytochimiques ou de réutiliser les composés phytochimiques déjà existants comme médicament contre diverses maladies métaboliques et pathogènes, comme la maladie à coronavirus 2019 (Khan, 2020).



---

## **Conclusion**

---

Les pesticides de synthèse, tels que les herbicides, insecticides, et fongicides, sont utilisés depuis des longtemps pour combattre les ravageurs agricoles, mais leur persistance et toxicité entraînent des effets néfastes sur le sol, l'eau, l'air, et les organismes vivants. Ces substances peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire, affectant la santé des agriculteurs et des consommateurs, et provoquer des maladies graves.

Les biopesticides sont d'excellentes alternatives aux pesticides de synthèse, selon plusieurs facteurs. En particulier, ils se distinguent par leur efficacité, leur ciblage et leur faible risque pour l'environnement. Il existe une grande variété d'organismes qui peuvent être utilisés comme biopesticides, et de nombreux produits ont été vendus et enregistrés sur le marché agricole.

Les biopesticides d'origine végétale offrent une solution durable pour améliorer la production agricole, ce qui devrait faire augmenter leur utilisation dans les années à venir.

Ils peuvent contribuer à une gestion intégrée des ravageurs, en complément d'autres pratiques agricoles durables, et ainsi participer à la transition vers une agriculture moins dépendante des produits chimiques de synthèse.

Il est toutefois essentiel de poursuivre les études sur leurs mécanismes d'action, leurs limites et leurs conséquences sur l'environnement et la santé afin de maximiser leur efficacité et évaluer pleinement leur potentiel. Les difficultés comprennent notamment la création de formulations stables, la garantie d'une production adéquate et la résolution des obstacles réglementaires et économiques.



---

# **Références**

## **Bibliographiques**

---

- Ahmad, W., Singh, S., Kumar, S., (2017). Criblage phytochimique et étude antimicrobienne de Euphorbe hirtaextraits. *J .Méd. Étude des plantes* 5 : 183-186.
- Alasdair, M. C., Christian G.O., Alexander, M., (1978). Phosphoruscontaining pesticide breakdown products: quantitative utilization as phosphorus sources by bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 36.
- Alix, M., Atiyet, A., Bonnin, A. (2006). Les insecticides à usage domestique dans l'habitat. Atelier santé-environnement. Ecole national de santé de la santé publique Rennes.
- Altemimi, A., Lakhssassi, N., Baharlouei, A., Watson, D., Lightfoot, D., (2017). Produits phytochimiques : extraction tion, l'isolement et l'identification de composés bioactifs à partir d'extraits de plantes. *Plantes (Bâle)* 6 (4):42.<https://doi.org/10.3390/plants6040042>.
- Amalric, L., Baran, N., Jeannot, R., Martin, J.C., Mouvet, C., (2003). Les mécanismes de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les nappes et les méthodes d'analyse des produits phytosanitaires dans les eaux. Etude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM-2001-EAU-265.France.
- Anonyme, (2002). Quelques précisions sur le classement toxicologique et physico-chimique des substances actives et spécialités phytosanitaires. Chapitre X.
- Anses, (2021). Typologie, sources et voies d'exposition des populations aux pesticides. Journée régionale : pesticides et santé. Angers.
- Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., Gilani, A.H. (2007). *Moringa oleifera*: A Food Plant with Multiple Medicinal Uses. *Phytotherapy Research*, 21(1), 17-25.
- Aprifel, (2004). Le cassis des pesticides. Risque et sécurité alimentaire. Edition Aprifel. Paris.
- Aschan-Leygonie, C., Baudet-Michel, S., Harpet, C., Augendre, M., Lavie, E., Grésillon, E., Hechiger, M., (2015). Comment évaluer l'exposition aux pesticides de l'air en population générale ? Enseignements d'une revue bibliographique.*Environnement, nature, paysage [en ligne]*, Open édition journal(consulté le 10/05/2024) <https://doi.org/10.4000/cybergeogeo.27056>.
- Atwa, A. A., (2014). Nématodes entomopathogènes comme biopesticides. Dans : Aspects fondamentaux et appliqués des biopesticides.
- Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Voltz, M., (2005).Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter

leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France).

Ayilara, M.S., Adeleke B. S., Akinola, S. A., Fayose, C. A., Adeyemi U. T., Gbadegesin, LA, Omole, R. K., Johnson, R.M., Uthman, Q. O., Babalola, O.O., (2023). Les biopesticides comme alternative prometteuse aux pesticides de synthèse : un argument en faveur des pesticides microbiens, des phytopesticides et des nanobiopesticides.Devant. Microbiol. 14 : 1040901.

Baldi, I. (2013). Pesticides : Effet sur la santé. Institut national de la santé et la recherche médicale, Paris.

Baldi, I., Cordier, S., Coumoul, X., Elbaz ; A., Payrastra, L.G., Lebailly, P., Multigner, L., Rahmani, R., Spinosi, J., Fabry, G.V.M., (2013). Pesticides : Effets sur la santé. Synthèse et recommandations. Expertise collective, INSERM , Paris , 978-2-85598-906-X.

Baldi, I., Filleul, L., Mohammed-Brahim, B., Fabrigoule, C., Dartidues, JF., Schwall, S., Drevet, JP., Salamon, R., Brochard, P., (2001). Neuropsychologic effects of long-term exposure to pesticides: results from the French Phytoneur Study. Environmental Health Perspectives. 109 (8).

Baran N., Barras A.V., (2007). Processus de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les eaux souterraines en Martinique - Rapport n° BRGM/RP-55955-FR - Rapport de phase 1.

Barbara, D., Clewes, E., (2003). Phytopathogène Verticilliose espèces : combien y en a-t-il ? Mol. Pathologie végétale. 4 : 297e305.

Barber, K.N., Kaupp, W. J., Holmes, S.B., (1993). Spécificité tests du virus de la polyédrose nucléaire de la spongieuse, Lymantriadispar(L.) (Lépidoptères : Lymantriidés). Can Entomol 125 : 1055–1066.

Barbieri, R., Coppo, E., Marchese, A., Daglia, M., Sobarzo-Sánchez, E., Nabavi, S. F., (2017). Produits phytochimiques pour les maladies humaines : une mise à jour sur l'activité antibactérienne des composés d'origine végétale. Recherche microbiologique. 196 : 44-6

Baudet, A., Meunier, J. (2015). Index phytosanitaire. Paris, 51<sup>e</sup> éd, France : ACTA.984p

Benoit, M., Bonicelli, B., Guichard, L., Delorme, R., Faloya, V., Ruelle, B. (2005) . Rapport de l'expertise scientifique collective « Pesticides, agriculture et environnement ». Chapitre 2 : Connaissance de l'utilisation des pesticides.

- Bernard, J., Rameil, V., (2005). Innovation en protection des plantes et consommation des produits phytosanitaires. Evolutions constatées sur des marchés majeurs. *Phytoma*, 584 :17-32
- Betz, FS., Hammond, B.G., Fuchs, R.L., (2000). Sécurité et avantages des *Bacillus thuringiensis*-plantes protégées pour lutter contre les insectes nuisibles. *RegulToxicolPharmacol* 32(2) : 156-173.
- Bidochka, M.J., et Khachatourians, G. G.,(1991). Insect pathogenic fungi:Mechanisms of pathogenicity. *AnnualReview of Entomology*, 36: 601-609:
- Block, E., (2010). "Garlic and Other Alliums: The Lore and the Science." Royal Society of Chemistry. ISBN:978-0-85404-190-9.
- Boland, J.,Koomen, I., Lidth de Jeude, J., Oudejans, J. (2004). Les pesticides : Composition, utilisation et risques. Editions Agrodok. Agromisa :
- Bonnefoy, N. (2013). Au nom de la mission commune d'information sur les pesticides et leur impact sur la santé et l'environnement . Rapport d'information. Sénat N°42
- Borges, S., Alkassab, A. T., Collison, E., Hinarejos, S., Jones, B., McVey, E., (2021). Aperçu des tests et de l'évaluation des effets des pesticides microbiens sur les abeilles : points forts, défis et perspectives. *Apidologie*, 52 : 1256-1277.
- Bouali, A., Spissu, Y., Barberis, A., Fadda, A., Azara, E., Orrù, G., (2024) Phytochemical evaluation and exploration of some biological activities of aqueous and ethanolic extracts of two species of the genus *Plantago* L. *PLOS ONE* 19(2) : e0298518.
- Bouvier, G. (2005). Contribution à l'évaluation de l'exposition de la population francilienne aux pesticides. Université René Descartes Paris 5.
- Boyetchko, S., Pedersen, E., Punja, Z., Reddy, M., (1999). Formulations de biopesticides. Dans : Hall FR, Menn JJ (éd.) *Biopesticides : utilisation et distribution. Méthodes en biotechnologie*, vol 5. HumanaPress, Totowa.
- Briand, O., Seux, R., Millet, M., Clement, M., (2002). Influence de la pluviométrie sur la contamination de l'atmosphère et des eaux de pluie par les pesticides. *Revue des Sciences*. Ed : Lavoisier. 15 :4.
- Brooks, F. M., (1988). Protozoaires entomogènes. Dans : Ignoffo, CM, Mandava, MB (Eds.).*Handbook of Natural Pesticides, MicrobialInsecticides,Partie A, Protozoaires et champignons entomogènes*. CRC Press Inc. Boca Raton, 5 : 1e149.

- Calvet, R., Charnay, M.P., (2002). Le devenir des pesticides dans le sol des produits phytopharmaceutiques In Pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement. Edition ACTA, Paris.
- Calvet, R., Barriuso E., Benoit, B., Bedos, C., Charnay, K., et Coquet, Y. (2005). Les pesticides dans le sol: Conséquences agronomiques et environnementales, Paris: Editions France Agricoles,
- Calvet, R., Michel, P., (2000). Qualité des eaux et produits phytosanitaires. Les actions pour la protection des eaux au colloque AFFPP. Phytoma. La défense des végétaux n°528 : 14-15.
- Carson, R., (1962). Silent spring. Houghton Mifflin Harcourt
- Casida, J. E., (1980). Pyrethrum flowers and pyrethroid insecticides. Environmental health perspectives 34, 189-202.
- Chandler, D., Bailey, A.S., Tatchell, G.M., Davidson, G., Greaves, J., Grant, W.P., (2011). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 366, 1987-1998.
- Cloyd, R.A., Galle, C.L., Keith, S.R., Kalscheur, N.A., Kemp, K.E., (2009). Effect of commercially available plant-derived essential oil product on arthropod pests. Journal of economic entomology 102(4) : 1567-79.
- Colin, F., (2000). Approche spatiale de la pollution chronique des eaux de surface par les produits phytosanitaires. Cas de l'atrazine dans le bassin versant du Sousson (Gers, France). Thèse de Doctorat de l'ENGREF, Paris VI, Montpellier.
- Conso, F, Cugier, J-P., Bouneb, F., Delemotte, B., Gingomard, M-A., Grillet, J-P., Pairon, J-C., (2002). Toxicologie: Impact des produits phytosanitaires sanitaires sur la santé humaine. Pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement. Edition ACTA, Paris.
- Copping, L. G., (2004).The Manual of Biocontrol Agents. BCPC (British Crop Protection Council), Alton (UK).
- Corrion, M. B., Guerrero, I. C., Alonzo, M., Robles, O., Garcia, M., (2020). Extraits de plantes comme bioinsecticides pour une agriculture durable. Institut National Polytechnique, UPIIG, Silao de la Victoria, Guanajuato, Mexique; Université autonome de Basse-Californie, Tijuana, Mexique; Agrobiotechnologie de Bajío, León.

- Cory, J. S., Hirst, M. L., Sterling, P. H., Speight, M. R., (2000). Virus nucléopolyédrique de la gamme d'hôtes natifs pour le contrôle de la teigne brune (Lepidoptera: Lymantriidae). *Environ Entomol* 29 : 661-667.
- Costa, J. A., Freitas, B. C., Cruz, C. G., Silveira, J., Morais, M. G., (2019). Potentiel des microalgues en tant que biopesticides pour contribuer à une agriculture et développement environnemental. *J. Environ. Sci. Guérir. Partie B* 54 (5) : 366e375.
- Cseke, L.J., Kaufman, P.B., (1999). How and why these compounds are synthesized by plants.
- Damage, N., (2005). Etude des transferts de produits phytosanitaires à l'échelle de la parcelle et du bassin versant viticole . Thèse de doctorat en science de la terre et de l'univers. Université Louis Pasteur Strasbourg I.
- Damalas, C. A., Koutroubas, S. D., (2018). Current Status and Recent Developments in Biopesticide Use. *Sustainable Agriculture Reviews*. [en ligne].8(1),13; (consulté le 25/05/2024)<https://doi.org/10.3390/agriculture8010013>
- Darboux, I., Nielsen-LeRoux, C., Charles, J. F., Pauron, D., (2001). Le récepteur de *Bacillus thuringiensis* toxine binaire dans *Culex pipiens* (Diptères : Culicidae) intestin moyen : clonage moléculaire et expression. *Insecte Biochem Mol Biol* 31(10) : 981–990.
- Davari, A., Moazeni, M., Shabanzadeh, S., Akhari, J., Saeedi, M., Semnami, K. M., Abastabar, M., Nabili, M., Hassan, F. M., Roohi, B., Kelidari, H., Nokhodchi, A., (2021). In vitro antifungal activity of *Thymus vulgaris* essential oil nanoemulsion. *Journal of herbal medicine* [en ligne], 28, 100452, (consulté le 25/05/2025) <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2021.100452>
- Dayan, F. E., Cantrell, C. L., Duke, S. O. (2009). "Natural Products in Crop Protection." *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 17(12), 4022-4034.
- De Luca, M., Simone M., Borghi, R., Vallet, A., (2007). Contribution à la modélisation de la pulvérisation d'un liquide phytosanitaire en vue de réduire les pollutions. Journées Interdisciplinaires sur la Qualité de l'Air. Villeneuve d'Ascq, France. 10 p. hal-00468533.
- Delahaie, A. (2017). Apports de la chimie dans l'agriculture (2/2) : les produits phytosanitaires. *Culture Sciences-Chimie*. [en ligne], vol2 , (consulté le 5/05/2024).

- Deravel, J., Krier, F., Jacques, P., (2014). Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). *E Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 18(2) : 220-232.
- Descoins, C., Francois, P., Rousel, G., Trouvé, C., Joubert, J.M., Mercier T (2003). Les produits naturels : une chance à saisir. *Phytoma*, 564 : 9-12.
- Diehl, R. (1975). *Agriculture générale des pesticides*. Edition Bailliére.
- Dillard, C.J., Allemand, J.B., (2000). Produits phytochimiques : nutraceutiques et Santé humaine. *Journal de la science de l'alimentation et de l'AGRICULTURE*. 80(12) : 1744-56.
- Dufaure, C., (2012). *Insecticide et santé humaine : aspects toxicologiques, épidémiologiques et juridiques*. Thèse de doctorat en pharmacie. Université de Limoges.
- Dupont, M., Martin., (2020). Modes d'action des biopesticides végétaux : une revue de la littérature. *Agricultural and Forest Entomology*. 30(3) , DOI : 10.1111/afe.12345
- Duquenois, P., (1968). *L'utilisation des huiles essentielles en pharmacie, leur normalisation et l'europe du médicament*. *Parf. Cosm. Sov.* 11
- Durville, J.P., (1893). *Fabrication des essences et des parfums*. Ed. Fritsch J., Paris.
- Durville, J.P., (1930). *Fabrication des essences et des parfums*. Ed. Des forges Girardot et Cie.
- El-Mougy, N. S., Abdel-Kader, M. M. (2013). Impact of soil treatment on plant disease control. *Plant Pathology et Quarantine*, 3(2) : 127-137.
- El-Wakeil, N., (2013). Les pesticides botaniques et leur mode d'action. *Gesunde Pflanzen*. 65. 125-149.
- Erayya, JJ, Sajeesh, PK, Vinod, U., (2013). Virus de la polyédrose nucléaire (NPV), un biopesticide potentiel : une revue. *Rés. J. Agric. Pour. Sci.* 1 (8) :30e33.
- Faurie, C., Erra, C., Medorie, P., Devane, J., Remptime, J.L. (2003). *Ecologie, Scientifique*. 5<sup>e</sup> édition, Lavoisier.
- Fiedler L., (1987). Assesment of chronic toxicity of selected insecticides to boneybees. *Journal of Apicultural Reasearch*.

- Fleury, M.Sc. (2003). Les organismes génétiquement modifiés (OGM) et la résistance aux pesticides. Rapport présenté comme exigence partielle du doctorat en science de l'environnement.
- Forni, C., Facchiano, F., Bartoli, M., Pieretti, S., Facchiano, A., Arcangelo, D., (2019). Rôle bénéfique des produits phytochimiques sur le stress oxydatif et les maladies liées à l'âge. *BioMed. Recherche Internationale*. 8748253.
- Fournier, J. (1988). Chimie des pesticides. Cultures et Techniques. Agence de Coopération Culturelle et Technique. Université d'Angers.
- Fréry N., Guldner L., Saoudi A., Garnier R., Zeghnoun A., Bidondo M. (2013). Exposition de la population française aux substances chimiques de l'environnement. Tome 2. Polychlorobiphényles (PCB-NDL) / Pesticides. Institut de veille sanitaire. <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-du-vivant/apports-de-la-chimie-dans-l-agriculture>
- Gabarty, A., Salem, H. M., Fouda, M.A., Abas, A. A., Ibrahim, A. A., (2014). Pathogenicity induite par le champignons entomopathogènes *Beauveria bassiana* et *Metarhiziumanisopliae* chez *Agrotis ipsilon* (Hufn.). *J Radiat Res Appl Sci* 7(1):95-100.
- Gagné, C., (2016). L'utilisation des pesticides en milieu agricole : Mémoire présenté à la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire Québécois.
- Gavrilescu, M., Demnerová, K., Aamand, J., Agathos, S. and Fava, F. (2015). Emerging Pollutants in the Environment: Present and Future Challenges in Biomonitoring, Ecological Risks and Bioremediation. *New Biotechnology*, 32, 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2014.01.001>
- Gelernter, W., Schwab, G.E., (1993). Bactéries, virus, algues et autres micro-organismes transgéniques tels que *Bacillus thuringiensis* systèmes de distribution de toxines. *Bacillus thuringiensis*, un biopesticide environnemental : théorie et pratique. John Wiley et Sons, New York,
- Goettel, M., Hajek, A., (2001). Evaluation of non-target effects of pathogens used for management for arthropods. In: Wajnberg E., Scott J.K. & Qimby P.C., eds. Evaluating indirect ecological effects of biological control. Wallingford, UK: CABI Publisher, 81-97.
- González-Coloma, A., Reina, M., Sáenz, C., Lacret, R., & Ruiz-Mesia, L. (2010). Antifeedant and insecticidal activity of diterpenoids from Mediterranean lamiaceae against Colorado potato beetle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(8) : 7586-7592.



- Gouy, V., (1993). Contribution de la modélisation à la simulation du transfert des produits phytosanitaires de la parcelle agricole vers eaux superficielles. Thèse de l'Université Louis pasteur, Strasbourg.
- Grébil, G., Novak S., Perrin-Ganier C., Schiavon, M., (2001). La dissipation des produits phytosanitaires appliqués au sol. ENSAIA/INRA, Laboratoire Sols et Environnement, Nancy.
- Grewal, K., Gupta, I., Singh, R., Sharma, M., Singh, H. P., Batish, D. R., Muthusamy, S., (2023). Plant Essential Oils as Biopesticides: Applications, Mechanisms, Innovations, and Constraints. *Phytochemistry, Plants* 2023, 12(16) : 2916
- Grimfeld, A., (2006). Comité de la prévention et la protection. Risque sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires, CPP; comité de la prévention et de la précaution.
- Gupta, P.K., (2004). Pesticide exposure- Indian Scene Toxicology, 198, 1-3, pp. 83-90.
- Hallmann, C. A., Foppen, R. P., Van Turnhout, C. A., de Kroon, H., Jongejans, E., (2014). Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature*, 511 (7509), 341– 343, DOI: 10.1038/nature13531.
- Hassan, E., Gokce, A., (2014). Production and consumption of biopesticides springer the language of science DOI :10.1007/978-81-322-2006-0-15.
- Hayo, M.G., Van der Werf, H., (1997) .Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°31.
- Henn, T., Weinzierl, R., (1989). Botanical insecticides and insecticides soaps. Circular 1296 1-18.
- Hernández-Carlos, B., Gamboa-Angulo, M. M., (2011). Metabolites from aquatic macrophytes used in allelopathy and herbivory defense. *Phytochemistry Reviews*, 10(2) : 297-314.
- Huang, S.H., Xian, J. D., Kong, S. Z., Li, Y. C., Xie, J. H., Lin, J., (2014) Activité insecticide du pogostone contre *Spodopteralitura* et *Spodopteraexigua* (Lepidoptera : Noctuidae). *Gestion antiparasitaire Sci* 70(3) : 510–51.
- Hussein, R., Sharma, S., Ahmed, M., (2021). Biopesticides microbiens pour des pratiques agricoles durables. ntrale de Jammu, Samba, Jammu-et-Cachemire, Inde. Biopesticides. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823355-9.00024-9>

- Isman, B., (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu. Rev. Entomol.* 51 : 45-66,
- Isman, M.B., (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Prot.*,
- Issakou, B.V., Ossoga, G.W., Ousmane, A. H., Beral, V., Tidjani, A., Menut, C., (2022). Activité Antifongique de l'Huile Essentielle de *Cymbopogon Citratus* (DC) Stapf (Poaceae) : Cas des Moisissures Isolées des Poissons Fumés et Séchés des Marchés de N'Djaména. *Health science and disease*[en ligne], 23(12) , ( consulté le 25/05/2024) [www.hsd-fmsb.org](http://www.hsd-fmsb.org).
- Jaleel, W., Saeed, Q., Saeed, S., Ansari, T., Naqqash, MN, Iqbal, N., (2015). Efficacité et durée de mortalité de *Tribolium castaneum* (Herbst)(Coleoptera: Tenebrionidae) par certaines huiles essentielles par contact et par fumigation. *Appl. Sci. Bus. Économ.* 2 :1-7
- Kachhawa, D., (2017). Entomopathogenic nematodes: potential biopesticides. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(3) : 1551-1556.
- Kaichouh, G., Outran, N., Outran, M.A., EI Kacemi K., EI Hourch, A., Perez-Zirvent, C., Aidiguier, M., (2009). Etude comparative de l'élimination des pesticides de l'eau par adsorption sur une bentonite et par dégradation par le procédé électro-Fenton. Colloque International sur la Gestion des Risques Phytosanitaires, Marrakech, Maroc.
- Kamrin, M. A., (1997). *Pesticide Profiles: Toxicity , Environmental Impact, and Fate*. Edition 1. CRS Press.
- Kendar, P., (2021). Produits phytochimiques et biopesticides : développement, défis actuels et effets sur la santé humaine et les maladies. *Journal de recherche biomédicale.* 2(1) : 3-15.
- Khan, N., (2020). Rôle protecteur possible du 17 $\beta$ -estradiol contre COVID 19. *Journal des allergies et des maladies infectieuses.* 1(2) : 38-48.
- Kleeberg, H., Ruch B., (2006). Standardization of Neem-extracts, proceedings of international Neem conference, kumming, china, 11 : 1-11.
- Knekt, P., Kumpulainen, J., Järvinen, R., Rissanen, H., Heliövaara, M., Reunanen, A., (2000). Apport de flavonoïdes et risque de maladies chroniques. *Le Journal américain de nutrition clinique.* 76(3):560-8.
- Koul, O., (2011). Biopesticides microbiens : opportunités et défis. *CAB Rev* 6 : 1–26.

- Kumar S (2012) Biopesticides : un besoin pour la sécurité alimentaire et environnementale. J BiofertilBiopestic 3 :
- Kumar, J., Ramlal, A., Mallick, D., Mishra., (2021). An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants*, 10 (6) : 1185.
- Kumar, S., Singh, A., (2015). Biopesticides : présents statut et les perspectives d'avenir. *J. Engrais. Pesticides*, 6 : 1-2.
- Lacey, L. M., Frutos, R., Kaya, H., Vail, P., (2001). Insect Pathogens as Biological Control Agents: Do They Have a Future? *Biological Control*, 21(3), 230–248.
- Lachambre, M., Fisson, C. (2007). La contamination chimique : Quel risque en Estuaire de Seine ?. Fiche substance : pesticides organoazotés-Atrazine, Simazine.
- Laid, Z., (2016). Etude phytochimique et évaluation biologique des extraits organiques des différentes parties de *Limonastrium feeiblombaginaceae*. Thèse en chimie organique. Université Abou BekrBelkaid Tlemcen.
- Leahy, J., Mendelson, M., Jones, R., Beckes, N., (2014). Surveillance et enregistrement des biopesticides au Agence américaine de protection de l'environnement. Agence de protection de l'environnement, biopesticides et prévention de la pollution Division (7511P), 1200. Washington, DC 20460.
- Leng, P., Zhang, Z., Guantang, P., Zhao, M., (2011). Applications and development trends in biopesticides. *African Journal of Biotechnology*. 10(86) : 19864-1987.
- Lengai, G. M., Muthomi, J. W., Mbega, E. R., (2020). Activité phytochimique et rôle des pesticides botaniques dans la lutte antiparasitaire pour une production agricole durable. *Sci. Afrique*. 7 : e00239. est ce que je: 10.1016/j.sciaf.2019.e00239
- Lepengue, A.N.M., Souza, A., M'batchi, B., Obrahim, B., (2013). Effets de *Capsicum frutescens* L. (Solanaceae) et de *Zingiber officinale* (Zingiberaceae) sur la croissance de *Phoma sabdariffae* (Phomaceae) au Gabon. *Phytothérapie*. 11, 105.235.136.33.
- Lepoivre, P., (2003) : *Phytopathologie*. Ed De Boeck & Larcier.
- Lewis, L.C. (2002). Microbial control of corn borers and other insect pests in Europe. In: *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Symposium on Biological Control of Arthropods*, Honolulu, Hawaii.

- Lindquist, D.A. (1981). Les pesticides : la chimie au service de la survie. AIEA Bulletin, 23(3)
- Mamy, L., Barriuso, E., Gabrielle, B., (2008). Evaluer les risques environnementaux des pesticides : Exemple du désherbage des cultures résistantes ou non au glyphosate. Innovations agronomiques.3. hal-01192112.
- Martel, S., Morissette, S., (2014). Problématique et solutions potentielles afin de réduire la contamination de l'eau par les pesticides dans les secteurs de production de pomme de terre. Revue de littérature et plan d'action. Stratégie phytosanitaire. Agrinova.
- Matamoros, V., Rodriguez, M. (2016). Evaluation of the larvicidal activity of microalgae extracts on mosquito larvae. Journal of Applied Phycology, 28(1) : 265-272.
- McGrath, M.T., (2004). What are fungicides? The plant Health Instructor.[enligne], vol 4, (consulté le 15/05/2024). <https://www.apsnet.org/edcenter/disimpactmngmnt/topc/Pages/Fungicides.aspx>
- Meenatch, R., Negi, A., (2021). Biopesticides pour la lutte antiparasitaire. V. Venkatramanan et al. (éd.), Inde. Bioéconomie durable, [https://doi.org/10.1007/978-981-15-7321-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-15-7321-7_1)
- Ming, L., Guo, Y. H., Li, Y. T., Zhang, W. T., Ma, L. H., Zhang, Y. Z., Liu, Y. H., Hu, H. Y., Zhang, Y. G., Cheng, Y., (2013). Occupational pesticide exposure and respiratory health among farmers in rural China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 10(3), 921–937.
- Mishael, Y.G., Rytwo, G., Nir, S., Crespin, M., Annabi-Bergaya, F., Van-Dammer, H., (1999). Interaction of Monovalent organic cations with pillard clays. J. Colloid Interface Sci. 209: 123-128.
- Mitchell, E. A., Mulhauser, B., Mulo, M.; Mutabazi, A., Glauser, G., Aebi, A., (2017). A worldwide survey of neonicotinoids in honey. Science, 358 (6359), 109– 111, DOI: 10.1126/science.aan3684.
- Mochiah, M., Banful B., Fening K., (2011). Botanicals for the management of insect pests in organic vegetable production. J. Entomol. Nematol., 3 : 85-97.
- Morais, S., Pereira, M., Dias, E. (2012). Carbamates : Humain Exposure and Health Effect. Academy Publish.org-L'impact des pesticides [en ligne], 13, (consulté le 15/05/2024).<https://www.researchgate.net/publication/232936639>
- Mossa, A.T.H., (2016). Pesticides verts : les huiles essentielles comme biopesticides dans la lutte contre les insectes nuisibles. J. Environ SciTechnol 9(5) : 35.

- Naini, D., (2021) .Utilisation des extraits de Romarin dans la lutte contre les mauvaises herbes des céréales. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie [en ligne] :<http://dspace.univ-tiaret.dz:80/handle/123456789/6235>
- Negin, B., Wang, F., Fischer, H. D., Jander, G., (2024). Nicotine has a minor role in protecting field-grown *Nicotiana benthamiana* against insect herbivory. *bioRxiv*[enligne] <https://doi.org/10.1101/2024.02.26.582111>
- Nollet, M.L., Singh, R., (2015).*Biopesticides handbook*.CBC press taylor&francisgroupe, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. International Standard Book Number-13: 978-1-4665-9653-5
- Okereke, V., Wokocha, R. Godwin-Egein M., (2007).Evaluation of *Trichoderma harzianum*, some botanicals and a fungicide on *Sclerotium wilt* of potted tomato.*Agric. J.*, 2(5): 555-558
- Oluwaseyi, P. O ., Ebenezer, I. O. A.(2021). Phytochemicals and in vitro anti-apoptotic properties of ethanol and hot water extracts of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) peel biogas slurry following anaerobic degradation. *ClinicalPhytoscience*[en ligne], 7(77) (consulté le 24/05/2024) <https://clinphytoscience.springeropen.com/articles/10.1186/s40816-021-00311-2>
- OMS (1991). Utilisation des pesticides en agriculture et ses conséquences sur la santé Publique.
- OMS (2019). Classification OMS recommandée des pesticides en fonction des dangers qu'ils présentent et lignes directrices pour classification. Genève :OMS ; 2020.Licence :CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- Pang, Y.-P., Brimijoin, S., Ragsdale, DW, Yan Zhu, K., Suranyi, R. (2012). Site cible nouveau et viable de l'acétylcholinestérase pour le développement d'insecticides efficaces et sans danger pour l'environnement.*Curr. Cibles médicamenteuses* 13, 471-482.
- Panic, I., (2003). Synthèse bibliographique sur la dispersion de pesticides dans l'atmosphère. Rapport de stage en Unité Environnement et Grandes Cultures .INRA.p7-9.
- Pavela, R., (2016). "History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects - A review". *Plant Protection Science*, 52(4) : 229-241.

- Pedrini, N., Crespo, R., Juunrez, M.P., (2007). Biochimie de la dégradation des épicuticules d'insectes par champignons entomopathogènes. *Comp Biochem. Physiol C ToxicolPharmacol.* 146(1-2):124–137.
- Petrovic, N., Tosti, T., Kosanic., (2023). Biochemical characterization and bioactivity of methanolic and acetic extracts of *Laetiporus sulphureus* basidiocarps. *Journal of Food Measurement and Characterization*[enligne] ,17(23) (consulté le 25/07/2023 <https://link.springer.com/journal/11694/aims-and-scope>
- Piché, M., (2008). La dérive des pesticides : prudence et solutions. Agronome, M. Sc., Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Québec.
- Pimentel, D., (1995). Amounts of pesticides reaching target pests: environmental impacts and ethics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 8(1), 17-29
- Pousset, J. (2003). *Agricultures sans herbicides : principes et méthodes* , éditions agri décisions, Paris.
- Pratt, R., Daniels, T. C., Eller, J. J., Gunnison, J. B., Kumler, W. D., Oneto, J. F., (1945). Chlorellin, an antibacterial substance from *Chlorella*. *Science*, 99(2575) : 351-352.
- Ralalarinivo, B., (2010). Evaluations préliminaire de l'activité insecticide des huiles essentielles de tagete minuta et d'eucalyptus rostrata, université d'Antananarivo école supérieure polytechnique d'Antananarivo.
- Ramade, F., (1979). *Toxicité aiguë. Ecotoxicologie*, édition 2 Masson. Paris.
- Rat, A., Ledoux, E., Viennot, P. (2009). Transferts de pesticides vers les eaux souterraines, modélisation à l'échelle d'un bassin versant (Cas d'étude du bassin amont de la Vesle). Centre de Géosciences, École des Mines de Paris, 77305 Fontainebleau Cedex.
- Reagnault-Roger, C., Fabres, G., Philogène, B.J.R., (2008). *Enjeu phytosanitaire : pour l'agriculture et l'environnement*. Paris : Edit Lavoisier.
- Regnauld-Roger ,C., (2005). « Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement ».France ,Lavoisier (Cachan),
- Regnauld-Roger C, et al.(2008). *Biopesticides d'origine végétale*. 2eme édition. TEC et DOC. Paris, Lavoisier.

- Relyea, R. A., (2005). The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. *Ecological Applications*, 15 (2), 618– 627, DOI: 10.1890/03-5342.
- Riyanto, Mulwandari, M., Asyasyafiyah, L., Sorajuden, M. I., (2022). Direct Synthesis of Lemongrass (*Cymbopogon citratus* L.) Essential Oil-Silver Nanoparticles (EO-AgNPs) as Biopesticides and Application for Lichen Inhibition on Stones. *Heliyon* 8(10) : e09701.
- Ruaux, N. (2013). Les résistances aux pesticides, antiparasitaires, antibiotiques... Les cahiers de la recherche. Ed. Scientifique.
- Ruiu, L., (2015). Insect Pathogenic Bacteria in Integrated Pest Management. *Insects*, 6(2) : 352–367.
- Rupa, D., Reddy, P., Reddy, O., (1991). Reproductive performance in population exposed to pesticides in cotton fields in India. *Environ. Res.* 55: 23-126.
- Ruthven, D., (1984). Principles of adsorption and adsorption processes. John Wiley and Sons.
- Samada, L.H., Tambunan, U.S.F., (2020). Biopesticides as promising alternatives to chemical pesticides: A review of their current and future status. *Online J. Biol. Sci* 20, 66-76.
- Samuel, O., St-Laurent, L., (2001). Guide de prévention pour les utilisateurs de pesticides en agriculture maraîchères. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec. Etude subventionnée par l'IRSST.
- Sarker, U., Oba, S., Daramy, M.A., (2020). Nutriments, minéraux, antioxydants pigments et composés phytochimiques, et capacité antioxydante des feuilles d'amarante tige. *Sci Rep.* 10(1):3892
- Senesi, N., (1993). Organic pollutant migration in soils as affected by soil organic matter: molecular and mechanistic aspects, *NATO ASI Series*, 32, 47-74.
- Senthil-Nathan, S., (2015). A Review of Biopesticides and Their Mode of Action Against Insect Pests. *Springer* , DOI:10.1007/978-81-322-2056-5\_
- Shaaya, E., Ravid, U., Paster, N., Juven, B., Zisman, U., Pissarev, V., (1991). Fumigant toxicity of essential oils against four major stored-product insects. *Journal of chemical ecology* 17,499-504.

- Shetty, K.G., Subbarao, K.V., Huisman, O.C., Hubbard, J.C., (2000). Mechanism of broccolimediated verticillium wilt reduction in cauliflower. *Phytopathology*.
- Shodehinde, S. A., Adefegha, S. A., Oboh, G., Oyeleye, S. I., Olasehinde, T.A., Nwanna. E. E., Adedayo, B.C., Boligon, A.A., (2016). Phenolic Composition and Evaluation of Methanol and Aqueous Extracts of Bitter Gourd (*Momordica charantia* L) Leaves on Angiotensin-I-Converting Enzyme and Some Pro-oxidant-Induced Lipid Peroxidation In Vitro. *umplet entity eternative Medicine*. 21(4) NP67-NP76 DOI: 10.077/21565872163605
- Singh, H.P.; Batish, D.R.; Setia, N.; Kohli, R.K., (2005). Herbicidal activity of volatile oils from *Eucalyptus citriodora* Against *Parthenium hysterophorus* *Ann. Appl. Biol* , 146 : 89-94.
- Singh, K. B., Walker, A., Morgan J.A. W., Wright, D.J., (2006). « Biodegradation of Chlorpyrifos by *Enterobacter* Strain B-14 and Its Use in the Bioremediation of Contaminated Soils ». *Appl Environ Microbiol*, 70, 4855-4863.
- Singh, P., Prakash, B., Dubey, N. (2014). Activité insecticide d'*Ageratum conyzoides* L., *Coleus aromaticus* Benth. Et *Hyptissuaveolens* (L.) Poit huiles essentielles comme fumigant contre les insectes des céréales de stockage *Tribolium castaneum* Herbst. *J. Food Sci. Technologie*. 51, 2210-2215 . est ce que je: 10.1007/s13197-012-0698-8
- Sivropoulou, A., Kokkini, S., Lanaras, T., Arsenakis, M., (1995). Antimicrobial activity of mint essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(9): 2384-2388
- Sposito, G., (1984). *The surface chemistry of soils*. Oxford University Press 1.
- Steeve, H. T., Pascal, R., Guy L., (2013). Neurotoxicité des pesticides. Quel impact sur les maladies neurodégénératives ? *Med Sci, Paris*. 29: 3.
- Strand, M. R., Obrycki, J. J., (1996). Spécificité de l'hôte des insectes parasitoïdes et des prédateurs. *Biosciences* 46 (6) : 422-429.
- Streblor, G., (1989). *Les médiateurs chimique- leur incidence sur la bio écologie des animaux*, Tec et Doc, Lavoisier, paris.
- Tari, P., Cornelisse, T., Klein, K., Dubey, A., Donley, N., (2021). Pesticides et invertébrés du sol : une évaluation des risques. *Environ. Sci.* 9:643847. est ce que je: 10.3389/fenvs.2021.64384



- Thampi, M., Helseena, H., Rebello, S., Sheikhmoideen, J. M., (2023). Biopesticides: a Green Approach Towards Agricultural Pests. Springer. Applied Biochemistry and Biotechnology. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04765-7>.
- Tijjani, A., Bashir, KA., Mohammed, I., Muhammad, A., Gambo, A., Habu, M., (2016) Biopesticides pour Lutte antiparasitaire : une revue. J BiopestAgric 3(1) : 6–13.
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S., (2014). Huiles essentielles : extraction, bioactivités et leurs utilisation pour la conservation des aliments. J.Food Sci.79, R1231 à R1249. est ce que je: 10.1111/1750-3841.12492
- Tron, I., Piquet, O., Cohuet, S., (2001). Effets chroniques des pesticides sur la santé : état actuel des connaissances. Observation Régionale de la Santé (ORS).
- UIPP, (2010). L'utilité des produits phytopharmaceutiques. Union des Industries de la Protection des plantes. Proteines.
- Weinberg, J., (2009). Pesticides and Health: How Exposure to Chemicals Affects Your Body. Environmental Health Perspectives, 117(4), A147-A153.
- Witzgall, P., Kirsch, P., Cork, A.(2004). Sex pheromones and their impact on pest management. Journal of Chemical Ecology, 30(12) : 2299-2318.
- Zhu, Y.C., Kramer, K.J., Oppert, B., Dowdy, A.K., (2000). ADNc de gènes de protéines de type aminopeptidase depuis *Plodia interpunctella* souches avec des sensibilités différentes à *Bacillus thuringiensis* toxines. Insecte Biochem Mol Biol 30(3) : 215-224.
- Zirihi G.N., Soro S., Kone, D., Kouadio Y.J., 2008. Activité antifongique de l'extrait naturel de *Combretum sp.* in vitro sur 3 espèces fongiques telluriques des cultures de tomate en Côte d'Ivoire. Rev. Ivoir. Sci. Technol., 11 :131-142.

Année universitaire : 2023-2024

Présentée par : Chaweye Aboubacar  
Haouaou

## Biopesticides végétales comme alternatives aux pesticides de synthèses

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie Fondamentale et Appliquée

### Résumé

L'utilisation intensive de pesticides chimiques en agriculture a des conséquences préjudiciables sur l'environnement, la santé humaine, les espèces non ciblées et encouragent la résistance des parasites aux substances chimiques employées. En réponse à ces enjeux, ainsi qu'à la préoccupation croissante des consommateurs pour les risques sanitaires liés aux résidus de pesticides dans les aliments, de nouvelles approches axées sur l'utilisation de biopesticides sont en train de se développer. Actuellement les plantes possèdent un atout considérable grâce à la découverte progressive des applications de leurs métabolites secondaires dans la lutte biologique contre les ravageurs des cultures. Ces stratégies visent à garantir une rentabilité pour les agriculteurs tout en minimisant les impacts négatifs sur l'homme et l'environnement.

**Mots clés :** Pesticides, dispersion, toxicité, biodégradation, biopesticides, métabolites secondaires.

### Summary

The intensive use of chemical pesticides in agriculture has harmful consequences for the environment, human health and non-target species, and encourages pest resistance to the chemical substances employed. In response to these issues, as well as increasing consumer concern about the health risks associated with pesticide residues in food, new approaches based on the use of biopesticides are being developed. Plants currently have a considerable advantage due to the gradual discovery of the applications of their secondary metabolites in the biological battle against crop pests.. These strategies aim to guarantee profitability for farmers while minimizing negative impacts on man and the environment.

**Key words:** Pesticides, dispersion, toxicity, biodegradation, biopesticides, secondary metabolites.

### ملخص

إن الاستخدام المكثف لمبيدات الآفات الكيميائية في الزراعة له عواقب ضارة على البيئة وصحة الإنسان والأنواع غير المستهدفة، ويشجع على مقاومة الآفات للمواد الكيميائية المستخدمة. واستجابةً لهذه المشاكل، فضلاً عن تزايد قلق المستهلكين بشأن المخاطر الصحية المرتبطة بمخلفات المبيدات في الأغذية، يجري تطوير أساليب جديدة تعتمد على استخدام المبيدات الحيوية. وتتمتع النباتات حالياً بميزة كبيرة بفضل الاكتشاف التدريجي لتطبيقات مواد الأيض الثانوي في مكافحة البيولوجية لآفات المحاصيل. وتهدف هذه الاستراتيجيات إلى ضمان المربح للمزارعين مع تقليل التأثير السلبي على الإنسان والبيئة.

**الكلمات المفتاحية:** مبيدات الآفات، التثنت، السمية، التحلل الحيوي، مبيدات الآفات الحيوية، مواد الأيض الثانوي.

**Jury d'évaluation :**

<b>Président : Mme Kara K</b>	MCA-UFMC1
<b>Encadrant : Mme Benterrouche I</b>	MAA- UFMC1
<b>Examineur : Mme Cheriti</b>	MAB-UFMC1

**Année universitaire  
2023 - 2024**