

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger



Département de Génie de l'Environnement

## Mémoire de master

**Option : Sciences et Techniques de l'Environnement**

### Thème :

Les pesticides : de la biodégradation à l'alternative biologique

**Présenté par : Othmane LAREDJ**

**Présenté et soutenu publiquement le 24/09/2017**

### **Composition du Jury :**

Président : N. BELHANECHÉ

Professeur (ENP)

Promoteur : Y. DJEMAI-ZEGHLACHE

MCB (ENP)

Examineur : S. AROUA

MCB (ENP)



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

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger



Département de Génie de l'Environnement

**Mémoire de master**

**Option : Sciences et Techniques de l'Environnement**

**Thème :**

Les pesticides : de la biodégradation à l'alternative biologique

**Présenté par : Othmane LAREDJ**

**Présenté et soutenu publiquement le 24/09/2017**

**Composition du Jury :**

Président : N. BELHANECHÉ

Professeur (ENP)

Promoteur : Y. DJEMAI-ZEGHLACHE

MCB (ENP)

Examineur : S. AROUA

MCB (ENP)

2017

## **DEDICACE**

*Louange à Allah Seul et que la prière et le salut soient sur  
l'ultime prophète Muhammad, sur sa famille et sur ses*

*Compagnons*

*Je dédie ce travail à ma très chère mère et à mon père, qui m'ont  
vraiment soutenu, à ma grande famille et à mes frères et sœurs,*

*ainsi qu'à mes amis et camarades d'études*

*Enfin, à tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans*

*l'élaboration de ce travail*

## **Remerciements**

*J'adresse mes sincères remerciements à ma promotrice **Mme Y. DJEMAI-ZEGHLACHE**, je voudrais également témoigner mon gratitude pour sa patience, et sa disponibilité et ses conseils avisés qui nous ont été précieux afin de mener ce travail à bon port.*

*Je tiens à remercier **Mme N. BELHANECHÉ**, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour l'honneur qu'elle nous fait de présider ce jury.*

*Mes remerciements s'adressent à **Mme S. AROUA**, Maître de conférences de classe B, pour le temps qu'elle a accordé à l'évaluation de ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.*

*Enfin, mes profondes reconnaissances à tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique et particulièrement ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation, avec beaucoup de compétence et de dévouement.*

## ملخص

تدابير الصحة النباتية لها آثار سلبية على البيئة وتعزز من تطوير سلالات مقاومة للمكونات النشطة المستخدمة. وفي مواجهة هذه المشاكل وأمام موقف المستهلكين من المشاكل الصحية المتعلقة بمتبقيات المبيدات في الأغذية و مطالبتهم بمنتجات ذات جودة عالية، هناك استراتيجيات جديدة للحماية وجها لوجه ضد آفات المحاصيل، تستند على استخدام المبيدات الحيوية وتهدف إلى ضمان الربحية للمزارعين وتجنب الآثار السلبية على البيئة.

**الكلمات المفتاحية :** مبيدات كيميائية، التحلل، السم، مبيدات حيوية

## Abstract

Phytosanitary interventions have harmful effects on the environment and favor the development of strains resistant to the active ingredients used. Faced with these problems and the attitude of consumers who are aware of the health problems linked to pesticide residues in foodstuffs and demanding quality products, new strategies to protect against crop pests based on the use of biopesticides are trying to emerge and aim to ensure a profitability for the farmer and avoid negative effects on the environment.

**Key words:** pesticides, biodegradation, toxicity, biopesticides.

## Résumé

Les interventions phytosanitaires présentent des effets néfastes sur l'environnement et favorisent le développement de souches résistantes aux matières actives utilisées. Face à ces problèmes et à l'attitude des consommateurs sensibilisés aux problèmes de santé liés aux résidus de pesticides dans les denrées alimentaires et exigeant des produits de qualité, de nouvelles stratégies de protection vis-à-vis des parasites des cultures, basée sur l'utilisation de biopesticides tentent d'émerger et visent à assurer une rentabilité pour l'agriculteur et éviter les effets négatifs sur l'environnement.

**Les mots clés :** pesticides, biodégradation, toxicité, biopesticides.

# Table de matière

## Liste des Figures

## Liste des Tableaux

<b>I. Introduction générale :</b> .....	<b>9</b>
<b>II. Généralités sur les pesticides</b> .....	<b>11</b>
II.1. Définition des pesticides :	11
II.2. Avantages des pesticides :	11
II.3. Historique :	11
II.4. Classification et nomenclature :	12
II.4.1. Par leur usage :	12
II.4.2. Par les organismes vivants visés :	13
II.4.3. Par leur caractéristique chimique :	13
<b>III. Devenir des pesticides dans l'environnement</b> .....	<b>18</b>
III.1. Introduction :	18
III.2. La dégradation .....	19
III.3. La biodégradation .....	19
III.4. Notion de biodisponibilité :	20
III.5. Phénomène de bioaccumulation .....	21
III.6. Notion de chaine trophique.....	21
III.7. Phénomène de bioamplification.....	21
<b>IV. Impact des pesticides sur la santé de l'homme</b> .....	<b>24</b>
IV.1. Introduction .....	24
IV.2. Toxicité des pesticides.....	24
IV.3. Propriétés cancérogènes des pesticides .....	25
<b>V. Alternative aux pesticides chimique : Les biopesticides</b> .....	<b>27</b>
V.1. Introduction.....	27
V.2. Définition des biopesticides .....	27

V.3. Historique.....	27
V.4. Les différents types de biopesticides.....	28
V.4.1. Biopesticides microbiens .....	28
V.4.1.1. Les bactéries.....	28
V.4.1.2. Les virus.....	30
V.4.1.3. Les champignons .....	31
V.4.2. Biopesticides d'origine végétale .....	32
V.4.3. Biopesticides d'origine animale.....	35
V.5. Avantages et inconvénients des biopesticides .....	36
V.6. Utilisation efficace des biopesticides.....	37
<b>VI. Conclusion générale : .....</b>	<b>39</b>
<b>VII. Référence bibliographiques : .....</b>	<b>41</b>

## Liste des Figures

Figure III.1 : Le devenir des pesticides après l'épandage .....	18
Figure III.2 : Schéma simplifié du métabolisme et du co-métabolisme d'un produit phytosanitaire par les microorganismes .....	20
Figure III.3 : la bioaccumulation des PCB( polychlorobiphenyles). .....	21
Figure III.4 : bioamplification des PCB(polychlorobiphenyles). .....	22
Figure V.1 : présentation de quelques biopesticides commercialisés .....	28
Figure V.2 : Structure des composés limonoïdes extraits de l'huile de neem. La ..... molécule a correspond à la structure de la salanine tandis que le composé b..... représente la nimbine.....	33
Figure V.3 : composé majoritaire extrait de l'huile de neem: azadirachtine.....	33

## **Liste des Tableaux**

Tableau II.1 : Historique de l'évolution des trois plus grandes classes des Pesticides de 1900 à 2000. ....	12
Tableau II.2 : Classification des pesticides en fonction de leur composition chimique.....	14

### I. Introduction générale :

Animaux ravageurs, plantes parasites, micro-organismes pathogènes (bactéries, champignons, mycoplasmes, virus), insectes et nématodes sont responsables, chaque année, de la perte de 20 à 40% du rendement des cultures avant récolte (selon l'Organisation Mondiale de la Santé), et entre 1 et 20% après récolte aux USA [Adam, 2008]. On estime de nos jours que 50% de la population mondiale ne reçoit pas une ration alimentaire suffisante [Gilles, 1991] ; l'Afrique étant le continent le plus touché. D'après la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), c'est jusqu'à 50% de la production de coton qui seraient détruits en l'absence de traitement [Fournier, 1988]. En effet, la production agricole mondiale subit une baisse de 40% dues aux dégâts des parasites et des ravageurs des cultures [El-Bakouri, 2002]. Ces pertes sont plus importantes dans les pays en voie de développement. En Afrique par exemple, la production agricole subit une perte annuelle de 42% dont 13% sont imputables aux insectes, 13% aux maladies fongiques et 16 % aux mauvaises herbes [Gilles, 1991].

L'utilisation de pesticides divers a permis de maintenir ou d'augmenter les rendements agricoles ainsi que de sauver des milliers de vies humaines et animales. En outre les pesticides provoquent des dangers sur l'homme et l'environnement donc la recherche des solutions alternatives est obligatoire. Ces alternatives, que l'on peut définir ici sous le vocable générique de **biopesticides**, tardent à s'implanter sur le marché et demeurent en grande partie des solutions de rechange souhaitées plutôt que réelles [van Lenteren, 2000].

Notre travail est structuré en quatre parties abordé par une introduction générale :

- La première partie concerne des généralités sur les pesticides et leurs classifications ainsi que leurs structures chimiques.
- La deuxième partie est consacrée au devenir des pesticides dans l'environnement notamment la biodégradation.
- Dans la partie trois, nous exposons l'impact des pesticides sur la santé de l'homme
- La quatrième partie définit les biopesticides et leur utilisation comme une solution alternative en faisant ressortir leurs avantages et inconvénients.

Enfin, ce mémoire se termine par une conclusion générale

# **Généralités sur les pesticides**

### II. Généralités sur les pesticides

#### II.1. Définition des pesticides :

Un pesticide est une substance qui est sensée prévenir, détruire, repousser ou contrôler tout ravageur animal et toute maladie causée par des microorganismes ou encore des mauvaises herbes indésirables. Les pesticides peuvent agir sur les ravageurs et sur les micro-organismes par le contact direct, l'ingestion ou par d'autres sortes d'exposition effective pendant les phases de croissance [Boland et al, 2004].

En général, un produit phytosanitaire est une préparation constituée d'une ou plusieurs matières actives responsables de l'effet du pesticide, auxquelles sont ajoutées d'autres substances n'ayant pas d'activité biologique telles que des solvants, des tensioactifs, des antimoissants. Ces adjuvants servent à améliorer l'efficacité des pesticides et à faciliter leur emploi [Fournier, 1988].

#### II.2. Avantages des pesticides :

Les pesticides aussi appelés **produits phytosanitaires**, **produits agro-pharmaceutiques**, ou bien même **produits antiparasitaires** à usage agricole, sont très utilisés actuellement pour :

- Augmenter les rendements des cultures ;
- Limiter les irrégularités de production agricole ;
- Protéger les réserves alimentaires contre les parasites ;
- Lutter contre les vecteurs de maladies ;
- Protéger certaines espèces, ect. [El Bakouri, 2006].

#### II.3. Historique :

Les pesticides ne sont pas une nouvelle invention. En fait, l'utilisation intentionnelle de pesticides existe depuis mille ans lorsque les Sumériens, les Grecs et les Romains ont essayé de lutter contre les ravageurs en utilisant divers composés tels que le soufre, le mercure, l'arsenic, le cuivre ou les extraits de plantes. Une apparition de pesticides synthétiques a commencé principalement après la Seconde Guerre mondiale avec l'introduction du DDT (Dichlorodiphényltrichloroéthane), BHC (hexachlorure de benzène), aldrine, dieldrine, endrine et 2,4-D (acide 2,4-dichlorophénoxyacétique). Ces nouveaux produits chimiques étaient efficaces, faciles à utiliser, peu coûteux et donc très

## Généralités sur les pesticides

populaire [Damalas, 2009]. Le tableau II.1 résume l'évolution de l'utilisation des fongicides herbicides et insecticides depuis le début du siècle dernier.

Tableau II.1 : Historique de l'évolution des trois plus grandes classes des Pesticides de 1900 à 2000. [Miguel La qualite de l'eau et l'assainissement en France <http://www.senat.fr> ]

	HERBICIDES	FONGICIDES	INSECTICIDES
Avant 1900	Sulfate de cuivre ● Sulfate de fer ●	Soufre ● Sels de cuivre ●	Nicotine ●
1900 - 1920	Acide sulfurique ●		Sels d'arsenic ●
1920 - 1940	Colorants nitrés ● ▼		
1940 - 1950	Phytohormones... ●		Organochlorés ● Organophosphorés ▼
1950 - 1960	Triazines, urées substituées ● carbamates ● ▼	Dithiocarbamates ● phthalimides ●	carbamates ● ▼
1960 - 1970	Dipyridyles, toluidines... ●	benzimidazoles ●	
1970 - 1980	Amino-phosphonates ● Propionates... ●	Triazoles ● Dicarboximides ● Amides, phosphites ● morholines ●	Pyréthriinoïdes ● Benzoyl-urées (régulateurs de croissance) ●
1980 - 1990	Sulfonyl urées... ●		
1990 - 2000		Phenylpyrroles ● strobilurines ▼▼▼▼▼	

### II.4. Classification et nomenclature :

Il existe trois façons de classer les pesticides : par leurs usages, par les organismes vivants visés et par leurs caractéristiques chimiques.

#### II.4.1. Par leur usage :

Actuellement, les pesticides sont séparés en deux groupes, selon leurs utilisations:

- **Les pesticides à usage agricole :** ou produits **phytopharmaceutiques** qui sont des substances chimiques minérales ou organiques, de synthèse ou naturelles. Elles sont utilisées pour la protection des végétaux contre les maladies et contre les organismes nuisibles aux cultures.
- **Les pesticides à usage non agricole ou biocides** qui sont similaires aux premiers, utilisés par exemple en hygiène publique (lutte anti-vectorielle) et dans d'autres

applications comme la conservation du bois, la désinfection, ou certains usages domestiques [Idrissi et al., 2010].

### II.4.2. Par les organismes vivants visés :

Il existe trois principales classes

**Les herbicides** qui représentent les pesticides les plus utilisés dans le monde toutes cultures confondues. Ils sont destinés à éliminer les végétaux rentrant en concurrence avec les plantes à protéger en ralentissant leur croissance. Les herbicides possèdent différents modes d'action sur les plantes :

- Les perturbateurs de la régulation d'une hormone 'l'auxine' principale hormone agissant sur l'augmentation de la taille des cellules,
- Les perturbateurs de la photosynthèse,
- Les inhibiteurs de la division cellulaire,
- Les inhibiteurs de la synthèse de cellulose,
- Les inhibiteurs de la synthèse des acides aminés.

**Les fongicides** permettent quant à eux de combattre la prolifération des maladies des plantes provoquées par des champignons. Les fongicides peuvent agir différemment sur les plantes :

- Les perturbateurs de la biosynthèse des acides aminés ou des protéines,
- Les perturbateurs du métabolisme des glucides,
- Les inhibiteurs respiratoires,

**Les insecticides** sont utilisés pour la protection des plantes contre les insectes. Ils interviennent en les éliminant ou en empêchant leur reproduction avec des effets neurotoxiques ou régulateurs de croissance [BOLAND, 2004].

Outre, ces trois grandes familles, d'autres peuvent être citées en exemple :

- **Acaricides**: Ils servent à détruire les acarides et l'araignée rouge.
- **Rodenticides**: Ils sont utilisés contre les taupes
- **Nematicides**: Ils agissent contre les vers
- **Corvicides**: Attaquent les oiseaux ravageurs.

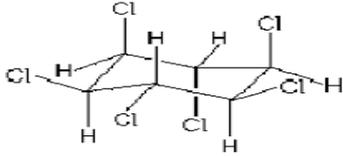
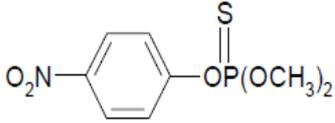
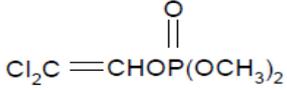
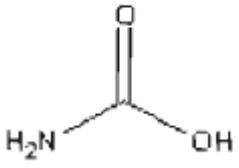
### II.4.3. Par leur caractéristique chimique :

C'est l'une des classifications les plus utilisées, ce qui permet de regrouper les pesticides de façon uniforme et scientifique et établir une corrélation entre structure, activité, toxicité et

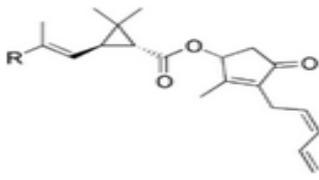
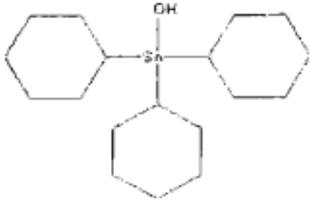
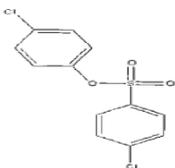
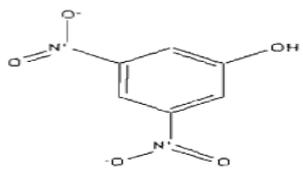
## Généralités sur les pesticides

mécanismes de dégradation entre autres. Le tableau II.2 montre les pesticides les plus importants selon leur composition chimique

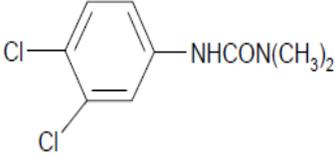
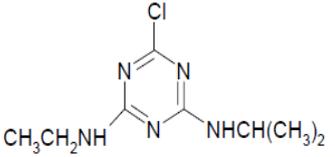
Tableau II.2 : Classification des pesticides en fonction de leur composition chimique  
[Ortiz-Hernández, 2002].

Groupe	composition principale	Exemple
Organochlorés	Les atomes de carbone, le chlore, l'hydrogène et parfois l'oxygène.  Ils sont apolaires et lipophile	 <p style="text-align: center;"><b>LINDANE (γ-HCH)</b></p>
Organophosphate	Possède un atome de phosphore central dans la molécule.  En ce qui concerne les organochlorés, ces Composés sont plus stables et moins toxiques dans l'environnement. L'organophosphate peut être aliphatiques, cycliques et hétérocycliques.	 <p style="text-align: center;"><b>METHYL PARATHION</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>DICHLORVOS</b></p>
Carbamates	Structure chimique basée sur une plante alcaloïde <i>Physostigma venenosum</i> .	 <p style="text-align: center;"><b>ACIDE CARBAMIQUE</b></p>

## Généralités sur les pesticides

<p>Pyréthroïdes</p>	<p>Des composés similaires aux pyréthrines synthétiques (alcaloïdes obtenus à partir de pétales de <i>Chrysanthemum cinerariifolium</i>).</p>	 <p style="text-align: center;"><b>PYRETHRINES</b></p>
<p>Organostannane</p>	<p>Présence d'organoétain de l'étain en tant qu'atome central de la molécule.</p>	 <p style="text-align: center;"><b>PLICTRAN</b></p>
<p>Organosulfure</p>	<p>Ils ont un atome de soufre dans la molécule, très toxique pour les acariens ou les insectes</p>	 <p style="text-align: center;"><b>OVEX</b></p>
<p>Dinitrophénols</p>	<p>Ils sont reconnus par la présence de deux groupes nitro (NO<sub>2</sub>) liés à un noyau phénolique</p>	 <p style="text-align: center;"><b>L'ACIDE 2,4-DINITROPHENOL</b></p>

## Généralités sur les pesticides

Dérivés de l'urée	Les composés dérivés d'urée qui comprennent l'urée liés à des composés aromatiques.	 <p style="text-align: center;"><b>DIURON</b></p>
Composition diverse	Des dérivés de triazines, de talimides, de carboxyamides, de trichloroacétiques et d'acides trichloropicoliniques, guanidines et naphtoquinones.	 <p style="text-align: center;"><b>ATRAZINE</b></p>
Origine botanique	Les produits dérivés directement à partir de plantes. Non synthétisé chimiquement.	
Biologique	Les virus biologiques, micro-organismes ou de leurs produits métaboliques.	
Cuivre	composés inorganiques du cuivre.	
Thiocarbamates	des carbamates dans leur structure moléculaire contenant un groupe-S- dans sa composition.	

**Devenir des pesticides dans l'environnement**

### III. Devenir des pesticides dans l'environnement

#### III.1. Introduction :

Les pesticides ont été depuis près d'une cinquantaine d'années mis en évidence dans tous les compartiments environnementaux. Aussi bien, dans les eaux de rivières, les nappes phréatiques, l'air, les eaux de pluie, mais aussi dans les fruits, les légumes, les céréales et les produits d'origine animale. Le non respect des bonnes pratiques agricoles peut entraîner la contamination des trois compartiments de la biosphère, à savoir : l'eau, le sol et l'air. Ainsi, le cycle géochimique des pesticides est très complexe car ils peuvent être retrouvés à tous les niveaux. Le schéma suivant (figure III.1), très simplifié, représente les différentes utilisations et dérives possibles lors de l'utilisation de pesticides.

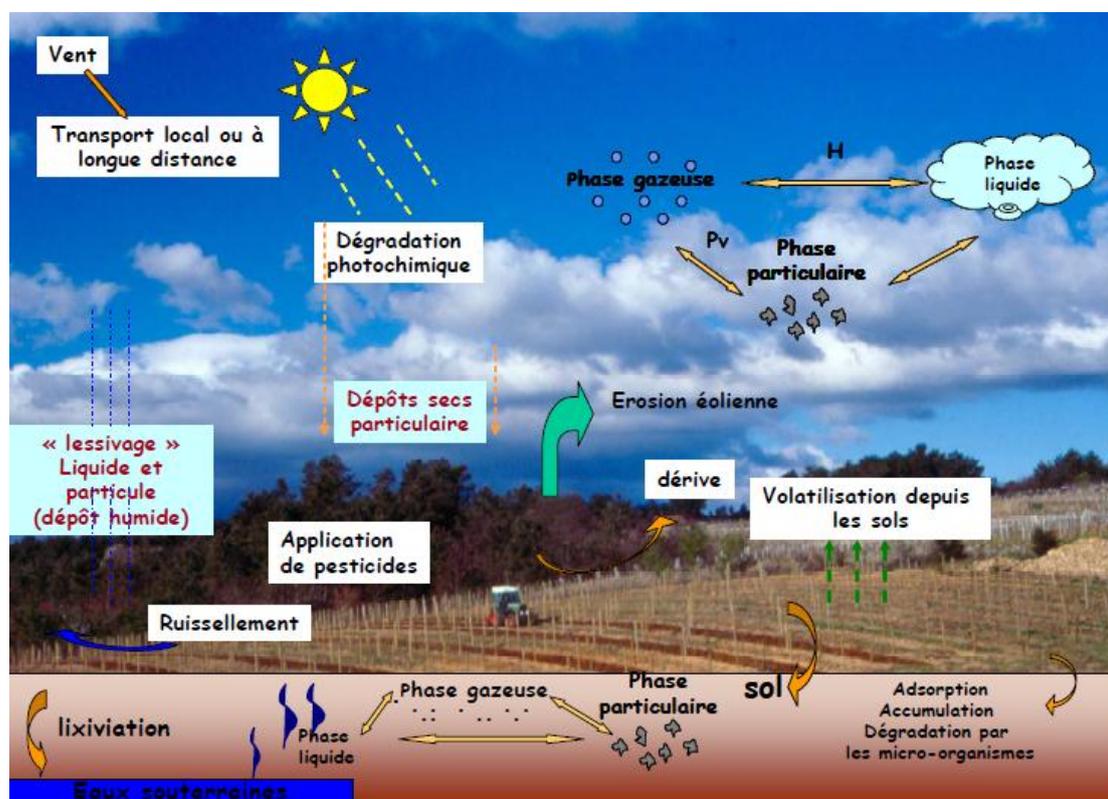


Figure III.1 : Le devenir des pesticides après l'épandage [SCHEYER, 2004]

Le devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement est conditionné par leur comportement dans le sol qui agit comme une zone de charge des aquifères et qui est l'interface avec l'atmosphère.

Dans le domaine de l'agriculture, lors de l'application de pesticides sur les cultures, divers phénomènes peuvent se produire. Néanmoins, de nos jours, la dispersion des pesticides est

## **Devenir des pesticides dans l'environnement**

---

très peu maîtrisée. D'autant plus que les mécanismes de dispersion de ces composés dans l'environnement dépendent non seulement des caractéristiques du sol, du fonctionnement hydrologique mais aussi des conditions climatiques. En effet, lors de la pulvérisation par exemple, les pertes peuvent atteindre 10 à 70 % vers le sol et entre 30 à 50 % vers l'air. Les substances actives peuvent alors être adsorbées par les plantes ou le sol. L'évaporation des composés peut aussi avoir lieu notamment lors des traitements par pulvérisation. Une fois évaporés, les pesticides peuvent être accumulés dans les nuages, entraînant ainsi la présence de substances actives dans les eaux de pluies. La dégradation photochimique de certains composés peut également se produire. La lixiviation, les pluies polluées et les dérives lors des applications peuvent être responsables de la contamination des milieux aqueux et entraîner une bioaccumulation des pesticides au niveau de la faune aquatique.

### **III.2. La dégradation**

La dégradation est un processus clé dans le devenir des pesticides dans le sol. Elle est due à de nombreuses transformations abiotiques (physico-chimique) ou biotiques (biologique). Ces modifications peuvent être partielles, par l'élimination d'un groupe fonctionnel ou complète jusqu'à la production de molécules minérales (la minéralisation). Lorsque la transformation est partielle elle se traduit par l'apparition de nouvelles molécules : les métabolites, aux propriétés différentes des molécules mères [Calvet et al., 2005].

Les transformations abiotiques sont dues à des réactions chimiques qui ne sont pas catalysées par des systèmes enzymatiques. Les principales transformations abiotiques sont des réactions d'oxydation, de réduction, de conjugaison, d'hydrolyse, et des photoréactions. Ces deux dernières sont majoritaires mais ce processus reste négligeable dans les sols au regard de la biodégradation [Marcheterre et al., 1988].

### **III.3. La biodégradation**

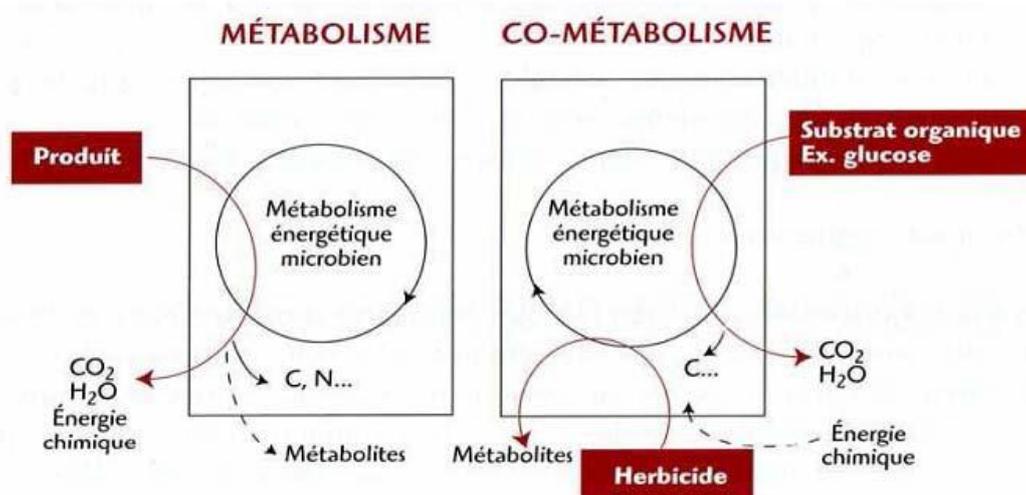
Malgré la présence de processus abiotiques, la dégradation est dominée par l'activité biologique qui joue un rôle important dans le devenir des matières actives. Parmi les nombreux microorganismes impliqués dans la dégradation des pesticides, les plus représentés sont les bactéries et les champignons [Singh & Walker, 2006]. Selon leur matériel enzymatique, les microorganismes vont pouvoir dégrader partiellement ou totalement les pesticides présents dans le sol. Parmi les différents mécanismes de

## Devenir des pesticides dans l'environnement

transformation, on distingue la dégradation métabolique et la dégradation co-métabolique [Van Eerd et al., 2003].

La dégradation métabolique concerne les organismes qui ont le matériel enzymatique nécessaire pour utiliser la matière active comme source de carbone et/ou d'azote entraînant la dégradation totale du pesticide [Soulas, 1985].

Dans le cas de la dégradation co-métabolique, les microorganismes utilisent un autre substrat dans le milieu pour dégrader la molécule. Ce processus génère une dégradation partielle du pesticide et entraîne la formation de métabolites [Soulas, 1985]. Indépendamment des processus impliqués dans la transformation des pesticides, ils vont être influencés par différents facteurs associés aux propriétés de la molécule, aux populations de microorganismes et aux conditions du milieu [Arias-Estevez et al., 2008].



*Figure III.2 : Schéma simplifié du métabolisme et du co-métabolisme d'un produit phytosanitaire par les microorganismes [BAILEY et al., 1974]*

### III.4. Notion de biodisponibilité :

La Biodisponibilité d'un polluant est la fraction de la quantité totale du polluant présente dans l'environnement qui peut être accumulée. Donc si un polluant se trouve dans le milieu naturel et qu'il est biodisponible, c'est à dire assimilable par les organismes, il est susceptible d'induire des effets sur les êtres vivants

La biodisponibilité est l'un des facteurs clé dans le devenir des matières actives. La disponibilité des matières actives aux microorganismes est le résultat d'une compétition

## Devenir des pesticides dans l'environnement

entre les mécanismes de dégradation et de rétention des matières actives dans le sol. La biodisponibilité des matières actives diminue avec le temps lorsque la stabilisation du pesticide se renforce [Walker et al., 2005].

### III.5. Phénomène de bioaccumulation

La bioaccumulation est le processus par lequel un organisme vivant absorbe une substance à une vitesse plus grande que celle avec laquelle il l'excrète ou la métabolise. Elle désigne donc la somme des absorptions d'un élément par voie directe

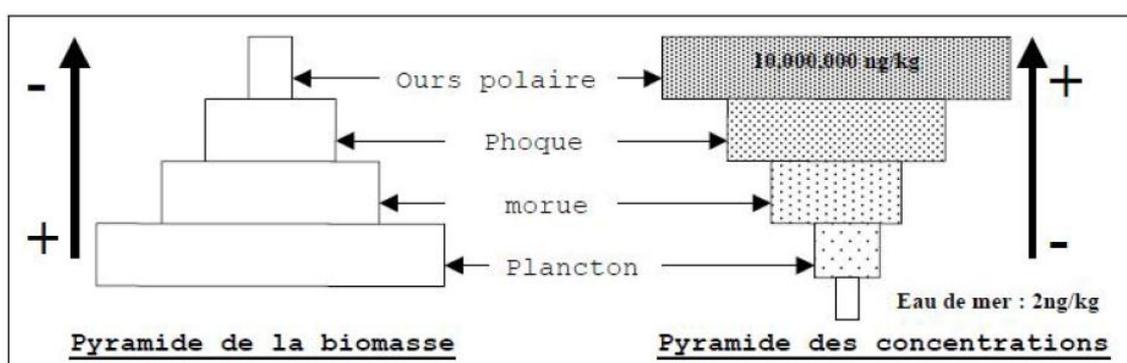


Figure III.3 : la bioaccumulation des PCB( polychlorobiphényles). Futura Science

On remarque que la concentration de polluant augmente au long de la chaîne trophique

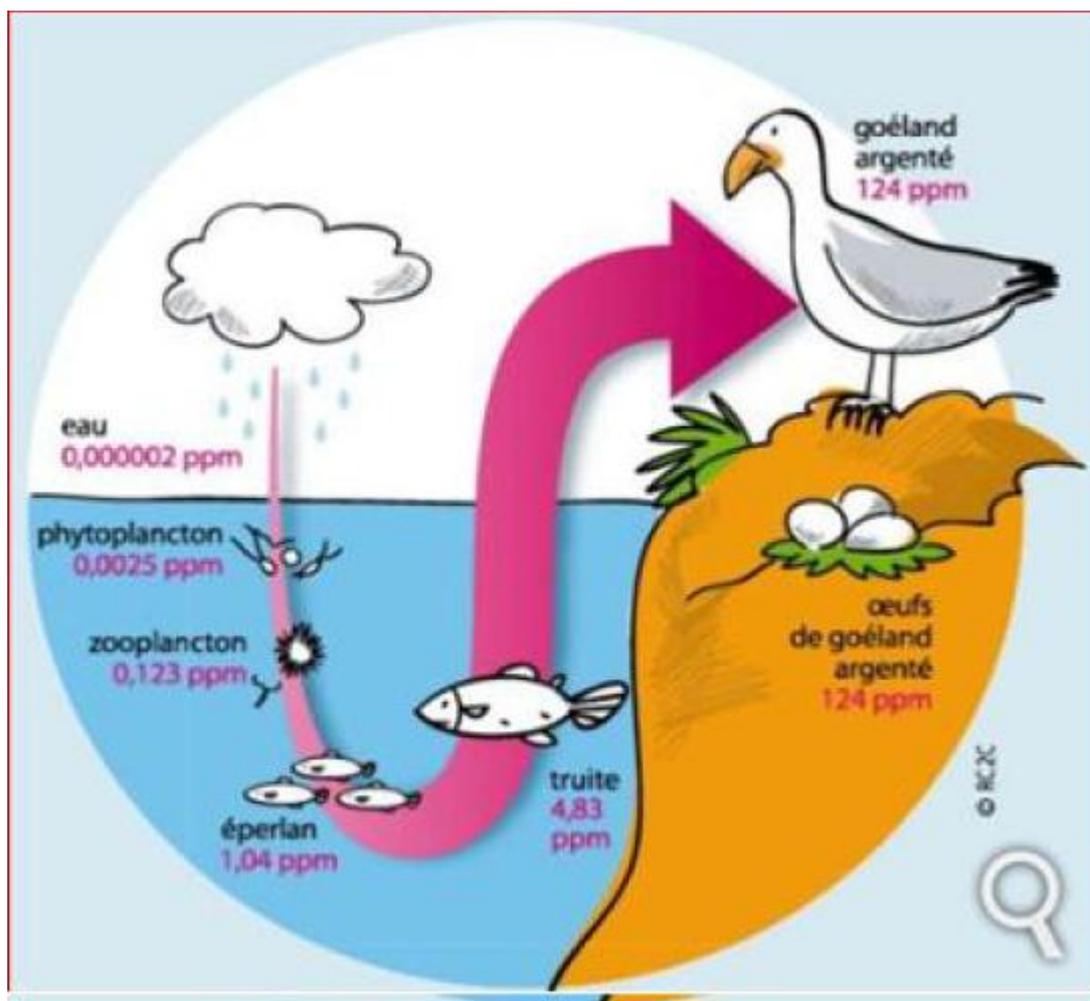
### III.6. Notion de chaîne trophique

Ensemble des relations qui s'établissent entre des organismes en fonction de la façon dont ceux-ci se nourrissent. Comprend des producteurs (algues, par exemple), des consommateurs primaires (herbivores, phytophages), des consommateurs secondaires (carnivores) et des décomposeurs (ou détritivores). Les polluants qui ne se dégradent pas ou peu (métaux lourds) vont se concentrer au sommet de la chaîne trophique, chez les prédateurs. Est également désignée par chaîne alimentaire.

### III.7. Phénomène de bioamplification

La bioamplification est le processus par lequel le prédateur concentre une substance (ou un élément) à un niveau supérieur à celui où il se trouve dans la proie

## Devenir des pesticides dans l'environnement



*Figure III.4 : bioamplification des PCB(polychlorobiphényles). Futura Science*

# **Impact des pesticides sur la santé de l'homme**

### IV. Impact des pesticides sur la santé de l'homme

#### IV.1. Introduction

La contamination de l'homme par les pesticides peut se faire par différentes voies. Il peut les absorber via les aliments et l'eau ou par contact avec la peau ou encore par inhalation. Certains produits qui présentent une toxicité aiguë importante peuvent être éliminés facilement par l'organisme. A l'inverse, d'autres substances de toxicité moindre sont susceptibles de s'accumuler dans l'organisme et d'induire des effets à plus long terme qui sont difficilement quantifiables. Par ailleurs ces produits sont transformés parallèlement en différents métabolites susceptibles d'engendrer d'autres répercussions sur l'organisme humain [BOLAND, 2004].

#### IV.2. Toxicité des pesticides

La toxicité des pesticides dépend d'un certain nombre de facteurs, parmi lesquels on cite la nature de la formulation (solide, liquide ou gaz), les moyens d'applications et d'emploi (pulvérisation, dispersion, etc) et les conditions d'utilisations. Mais le facteur principal qui conditionne la toxicité de ces produits concerne le mode de pénétration : Pénétration digestive, pénétration par voie respiratoire, par voie cutanée [Periquet, 1986].

Les risques de nuisance d'un pesticide ou de leurs métabolites dépendent de plusieurs facteurs comme leurs propriétés toxiques à court ou long terme, leur persistance et mobilité dans les systèmes et leur aptitude à former certaines combinaisons toxiques avec les autres substances chimiques. Aussi, on doit tenir compte des autres propriétés, comme la volatilité, la possibilité d'accumulation, la dégradation, et la potentialité catalytique des pesticides [Vettorazzi et al., 1982].

**Toxicité aiguë (ou à court terme)** : elle se manifeste généralement immédiatement ou peu de temps (quelques minutes, heures ou jours) après une exposition unique ou de courte durée à un pesticide. Les cas d'intoxication aiguë par les pesticides représentent une morbidité et une mortalité conséquentes dans l'ensemble du monde. Les pays en développement sont particulièrement vulnérables en raison d'un manque de réglementation, de systèmes de surveillance, d'application des règles et de formation et d'une insuffisance de Facès aux systèmes d'information. Des études antérieures ont mis en évidence une grande variabilité des taux d'incidence de ces intoxications aiguës [Bulletin de l'OMS, 2008].

**La toxicité chronique(ou à long terme)**, survient normalement suite à l'absorption répétée de faibles doses de pesticides. Le délai avant l'apparition de symptômes ou d'une maladie peut être très long. Dans certains cas, il peut être de plusieurs années. Les effets chroniques des pesticides sur la santé sont typiquement le cancer. D'autres effets ont été observés chez les mammifères tels que la perturbation du développement du fœtus et le dérèglement des systèmes reproducteurs, endocriniens, immunitaires et/ou nerveux central. Des études épidémiologiques ont aussi soulevé la possibilité de problèmes hépatiques, rénaux, immunologiques, cardio-vasculaires, endocriniens, respiratoires, hématologiques, oculaires, gastro-intestinaux ainsi que des modifications du comportement. Ces effets sont normalement observés après plusieurs mois ou plusieurs années d'exposition. Certaines études ont associé l'apparition de certaines formes de cancers (leucémie, lymphomes non-hodgkiniens et cancer des poumons) à l'utilisation des organophosphorés. Le nombre d'empoisonnements par les pesticides est estimé à trois millions de cas tous les ans avec environ 220000 décès. 95% d'empoisonnements mortels par les pesticides se produisent dans les pays en voie de développement [DUBUS, 2001].

### IV.3. Propriétés cancérigènes des pesticides

Plusieurs pesticides ont été identifiés comme cancérigènes reconnus ou probables pour l'homme par différents organismes internationaux d'après des études épidémiologiques ou expérimentales. Pour la population professionnellement exposée, il semblerait que la mortalité et l'incidence de certains types de cancers soient augmentées [Stoppelli et al., 2005]. Il s'agirait en général de cancers peu fréquents tels que les cancers des lèvres, des ovaires, du cerveau et de la peau. Plusieurs pathologies sont suspectées chez l'enfant dont les leucémies et les tumeurs cérébrales. Celles-ci semblent associées à l'exposition de la mère au moment de la grossesse. En revanche, concernant la population générale, les données demeurent controversées chez l'adulte à l'exception des lymphomes. En résumé, les connaissances demeurent insuffisantes et les études doivent être approfondies notamment sur la détermination des expositions aux pesticides et sur les mécanismes biologiques d'action des substances. Il n'est pas exclu que d'autres facteurs de risque puissent jouer un rôle important dans le déclenchement de certains cancers, notamment en milieu agricole [Kelley et Duggan, 2003].

# **Alternative aux pesticides chimique : Les biopesticides**

### V. Alternative aux pesticides chimique : Les biopesticides

#### V.1. Introduction

L'utilisation de pesticides a eu un impact négatif sur l'environnement en affectant le développement de la résistance aux insectes, la variation génétique dans les plantes, l'augmentation des résidus toxiques par la chaîne alimentaire et l'alimentation animale ainsi Problèmes de santé croissants [Dutta, 2015]. Puisque le contrôle d'usage des produits phytosanitaires chimiques reste toujours limité dans tous les pays du monde, ce problème est plus accentué dans les pays sous-développés. Le monde donc face à cette situation, a adopté des politiques agraires alternatives, parmi lesquelles, on note l'agriculture intégrée et l'agriculture biologique. La gestion intégrée (IPM, integrated pest management) des cultures implique l'adoption des techniques respectueuses de l'environnement qui vise à minimiser l'usage des produits chimiques. En revanche, la production biologique exclut l'utilisation des produits phytosanitaires chimiques. Dans ce type d'agriculture, on utilise des produits phytosanitaires naturels dits : Biopesticides [COLEACP, 2011].

#### V.2. Définition des biopesticides

Les biopesticides sont certains types de pesticides dérivés de matériaux naturels tels que les animaux, Plantes, bactéries et certains minéraux. Par exemple, l'huile de canola et le bicarbonate de soude sont considérés comme des biopesticides.

#### V.3. Historique

Le concept de « biopesticide » n'est pas nouveau. Dès le 7<sup>e</sup> siècle av. J.-C., des fermiers chinois utilisaient des plantes comme *Illicium lanceolatum* pour protéger leurs cultures contre les insectes [Leng et al., 2011]. De même, au Moyen-Âge, des végétaux comme les aconits étaient utilisés contre les rongeurs et des récits indiens datant du 17<sup>e</sup> siècle rapportent l'utilisation de racines de Derris et de *Lonchocarpus* pour leurs propriétés insecticides. De nos jours, plusieurs biopesticides sont commercialisés. Une définition adéquate regroupant les diverses origines de ces produits et retraçant leur histoire s'impose. Ainsi, même s'il n'existe aucune définition officielle, dans le domaine de l'agriculture, les biopesticides pourraient être définis de la manière suivante : « Organismes vivants ou produits issus de ces organismes ayant la particularité de limiter ou de supprimer les ennemis des cultures. » [Thakore, 2006].



*Figure V.1 : présentation de quelques biopesticides commercialisés [Crédit : Desai, 1997]*

### V.4. Les différents types de biopesticides

Les produits considérés comme des biopesticides par les agences de réglementation européennes et mondiales sont d'origines diverses. Ils peuvent être classés en trois grandes catégories, selon leur nature : les biopesticides microbiens, les biopesticides végétaux et les biopesticides animaux [Leng et al., 2011].

#### V.4.1. Biopesticides microbiens

Cette catégorie comprend les **bactéries**, **champignons**, **oomycètes**, **virus** et **protozoaires**. L'efficacité d'un nombre important d'entre eux repose sur des substances actives dérivées des micro-organismes. Ce sont, en principe, ces substances actives qui agissent contre le bio-agresseur plutôt que le micro-organisme lui-même.

##### V.4.1.1. Les bactéries

Les biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis* sont les plus commercialisés. Ils ont une action insecticide. *Bacillus thuringiensis* est une bactérie à Gram+ qui produit, durant sa phase stationnaire de croissance, des protéines cristallines appelées delta-endotoxines ou pro-toxines Cry. Ces protéines sont libérées dans l'environnement après la lyse des parois bactériennes lors de la phase de sporulation et sont actives, une fois ingérées par les ravageurs, contre les lépidoptères, les diptères et les larves de coléoptères [Rosas-Garcia, 2009].

Des espèces bactériennes du genre *Bacillus* utilisant des mécanismes d'action autres que celui employé par *B. thuringiensis* peuvent également protéger les plantes. Il y a, parmi ces espèces, des souches de *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefaciens* ou *Bacillus subtilis*. *Bacillus amyloliquefaciens* et *B. subtilis* sont capables de coloniser les racines des

## Alternative aux pesticides chimique : Les biopesticides

---

plantes et de produire des molécules de nature lipopeptidique qui sont les surfactines, les iturines et les fengycines. Ces dernières peuvent soit activer les défenses des plantes, soit avoir un effet antibactérien ou antifongique direct [Pérez-Garcia et al., 20]

Des bactéries appartenant à d'autres genres que le genre *Bacillus* ont également été développées en tant que biopesticides. Ainsi, la souche *Pseudomonas chlororaphis* MA342 est utilisée dans la prévention et le traitement de certains champignons des graines de céréales comme *Drechslera teres*, agent de l'helminthosporiose de l'orge [Tombolini et al., 1999]. *Pseudomonas chlororaphis* MA342 protège également le blé et le seigle contre la fusariose et la septoriose. Plusieurs modes d'action sont proposés pour justifier son efficacité. Cette bactérie pourrait agir contre les champignons phytopathogènes par antibiose directe, par concurrence spatiale et nutritive ou en activant les défenses des plantes [Boulon, 2010].

Pour l'activité insecticide de *B.thuringiensis* la connaître des protéines insecticides produites par un isolat de *B.thuringiensis* ne suffit pas pour expliquer sa toxicité vis à vis d'une espèce d'insecte ou de nématode particulière. Plusieurs éléments autres que les endotoxines de *B.thuringiensis* contribuent à cette activité. Cependant, en raison du rôle majeur des protéines Cry, la plupart de ces autres facteurs ont été peu étudiés. Citons toutefois, parmi les plus importants, la spore elle-même, les exotoxines, les antibiotiques tels que la zwittermicine, les protéines insecticides végétatives, les phospholipases, les chitinases, et diverses protéases [Donavan et al., 2001]. Dans certains insectes cibles, les protéines Cry seules sont suffisantes pour intoxiquer les larves en détruisant assez de cellules épithéliales de l'intestin pour permettre au jus alcalin de l'intestin de s'écouler dans l'hémolymphe et augmenter le pH du sang, ce qui provoque la paralysie et l'arrêt de l'alimentation [Heimpel and Angus, 1960]. C'est généralement suivi de la mort en quelques jours comme dans le cas des moustiques et des mouches noires. Chez la plupart des espèces de lépidoptères, c'est la combinaison de l'effet de la protéine et de la colonisation et infection de la larve par *B.thuringiensis* qui est la cause de la mort. Ainsi, chez des espèces très sensibles, tels que les larves de lépidoptères de la famille *Pyralidae*, après paralysie due à l'intoxication par les protéines Cry, les spores germent dans l'intestin et les cellules végétatives envahissent la larve, colonisent l'hémolymphe et autres tissus, et se reproduisent dans une mesure telle que le cadavre devient pratiquement une culture pure de *B.thuringiensis*. Chez d'autres espèces, comme la plupart des espèces *Spodoptera*, la mort semble dépendre d'une combinaison de facteurs, comprenant des protéines Cry, Vip,  $\beta$ -exotoxines, diverses

enzymes qui aident à briser les barrières de l'intestin et l'infection par *B.thuringiensis* et d'autres bactéries présentes dans le lumen de l'intestin. Par exemple, la pathogénicité de *B.thuringiensis* contre les larves de *Agrotis ipsilon* et *Spodoptera frugiperda* a été sensiblement réduite quand le gène Vip 3 (codant une toxine protéique Vip 3 qui vise également les cellules épithéliales de l'intestin) a été supprimé [Donovan *et al.*, 2001]. Bien que ces facteurs soient importants pour l'activité insecticide de *B.thuringiensis*, quelque soit l'insecte cible, les protéines Cry sont les plus importantes des composantes présentes dans les formulations insecticides *B.thuringiensis* commerciales. En considérant la complexité des facteurs de toxicité de nombreux isolats *B.thuringiensis*, il semble que les différentes composantes autres que les protéines Cry permettent d'optimiser les chances de la bactérie à vaincre les défenses de l'hôte, tuer l'insecte, puis utiliser les insectes morts pour la reproduction [Federici *et al.*, 2010].

### V.4.1.2. Les virus

Les Baculoviridae sont des virus à double brins d'ADN circulaire, ayant un génome compris entre 100 et 180 kb, protégés par une paroi protéique [Chen *et al.*, 2002]. Ils infectent les arthropodes insectes ou larves. Ils représentent un faible risque sanitaire car aucun virus similaire n'a, à l'heure actuelle, été répertorié dans l'infection des vertébrés ou des plantes. Cette propriété les rend particulièrement intéressants pour une utilisation en qualité de bio-insecticide, d'autant plus qu'ils peuvent tuer leur hôte en quelques jours. Ces virus sont classés en fonction de la morphologie particulière de leur corps d'inclusion. Ainsi, on retrouve les Granulovirus, comme *Cydia pomonella granulosis*, inclus dans des granules de forme ovale ou ovoïde et les nucleopolyhedrovirus, comme *Helicoverpa zea* (HzSNPV) et *Spodoptera exigua nucleopolyhedrosis* qui sont inclus dans des polyèdres de forme arrondie, cubique ou hexagonale [Chen *et al.*, 2002]. Les nucleopolyhedrovirus infectent les larves de lépidoptères selon un mode atypique. En effet, deux formes virales, génétiquement identiques mais structurellement différentes, sont nécessaires pour avoir un cycle complet d'infection. La forme dite « virion inclus » infecte les cellules de l'intestin moyen après ingestion par l'hôte. Une forme dite « virion bourgeonnant » transmet l'infection de cellule en cellule. Les corps d'inclusions sont composés de protéines cristallines qui protègent les virions des dégradations pouvant être causées par l'environnement, mais sont dissoutes par le pH alcalin de l'estomac des larves. Une fois les protéines cristallines dissoutes, les virions sont libérés. L'infection primaire qui débute dans l'intestin moyen produit les formes

bourgeonnantes qui progressent de la membrane basale jusqu'aux tissus de l'hôte. Lors de cette progression, des formes virions bourgeonnants et virions inclus sont produites. La propagation dure environ 4 jours. Les tissus meurent et se liquéfient. Cette liquéfaction, caractéristique des maladies provoquées par une infection aux nucleopolyhedrovirus, libère des millions de formes incluses qui infectent les nouveaux hôtes [Washburn et al., 2003].

### V.4.1.3. Les champignons

Outre les bactéries et les virus, certains champignons présentent des activités contre les bio-agresseurs et sont exploités en tant que biopesticides. *Coniothyrium minitans* est connu pour parasiter les champignons du genre *Sclerotinia spp.* Ce genre fongique se retrouve dans le sol et est à l'origine de la maladie appelée pourriture blanche qui peut affecter de nombreuses cultures dont la carotte, le haricot, le colza ou le tournesol. *Coniothyrium minitans* est connu pour pénétrer dans les sclérotés de *Sclerotinia sclerotiorum* soit par des craquelures situées à l'extérieur de cette forme de conservation du champignon, soit en s'introduisant par l'écorce extérieure en suivant une voie intercellulaire. Il poursuit ensuite son chemin en intracellulaire en pénétrant le cortex et la médullaire. Le parcours intracellulaire de *C. minitans* est possible car il produit des enzymes de dégradation des parois telles que les chitinases ou les  $\beta$ -1,3 glucanases. En plus de ces enzymes extracellulaires, diverses molécules pouvant intervenir dans les mécanismes d'action contre *Sclerotinia spp.* ont été identifiées dans des cultures de *C. minitans*. Parmi ces molécules, il y a des 3(2H)-benzofuranones, des chromanes, des métabolites antifongiques ainsi que la macrosphelide connue pour inhiber l'adhésion des cellules de mammifères et qui, à de faibles concentrations, inhibe la croissance de *Sclerotinia sclerotiorum* et de *Sclerotinia cepivorum* [McQuilken et al., 2003].

Plusieurs souches du champignon filamenteux du genre *Trichoderma spp.* sont utilisées pour la protection biologique des plantes. Elles ont généralement une activité antifongique contre plusieurs pathogènes du sol ou contre des pathogènes foliaires [Dodd et al., 2003]. *Trichoderma atroviride* est notamment utilisée pour la protection biologique de la vigne. L'activité de bio-contrôle de cette souche est attribuée à plusieurs mécanismes d'action qui agissent en synergie. Parmi ces mécanismes d'action, il y a la compétition pour les nutriments, l'antibiose, ou la production

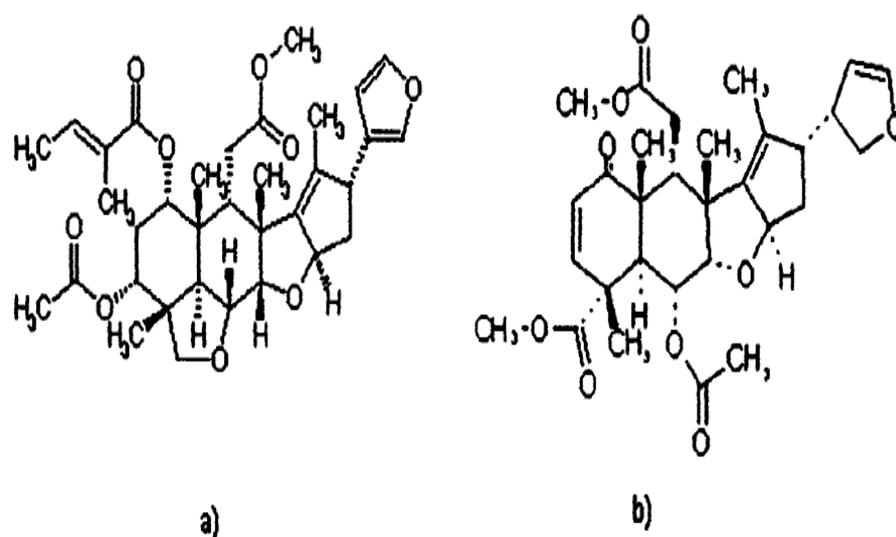
d'enzymes spécifiques de dégradation des parois cellulaires comme les chitinases ou protéases [Brunner et al., 2005].

En provoquant des pertes totales de cultures estimées à près de 10 %, les nématodes du genre *Meloidogyne spp.* sont les plus destructeurs au monde. Les nématicides chimiques les plus efficaces contre eux ont été progressivement retirés du marché à cause de leur impact sur l'environnement [Anastasiadis et al., 2008]. Le champignon *Paecilomyces lilacinus* est l'un des produits alternatifs les plus étudiés dans la lutte biologique contre ces nématodes. Il a la capacité d'infester plusieurs phases de développement du parasite. Il est particulièrement connu pour avoir des propriétés ovicides. *Paecilomyces lilacinus* pénètre dans les oeufs de nématodes en sécrétant des chitinases et protéases [Dong et al., 2007]. Il peut également infester les nodules racinaires où se trouvent ces oeufs. Les hyphes fongiques déjà formées peuvent s'introduire dans les nématodes adultes via leurs orifices naturels. Dans tous les cas d'infestation, *Paecilomyces lilacinus* se nourrit des tissus des nématodes pour pouvoir se développer ([www.prophyta.de/fr/protection-des-plantes/anti-nematicide/mode-operatoire/](http://www.prophyta.de/fr/protection-des-plantes/anti-nematicide/mode-operatoire/)).

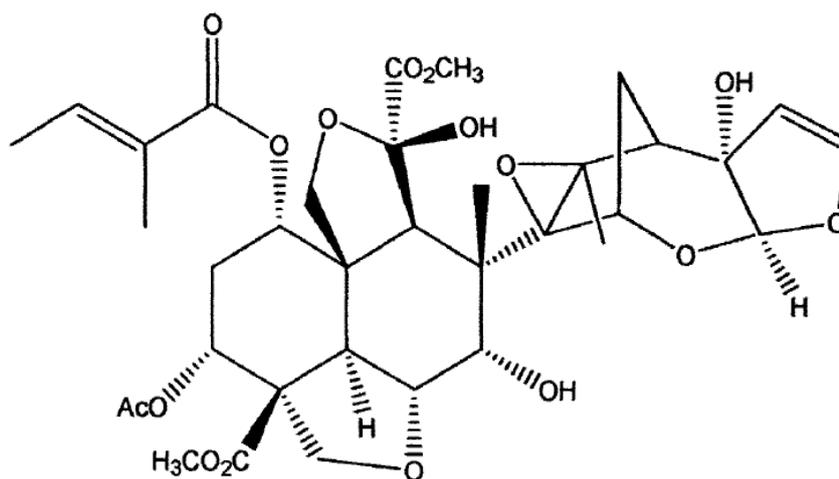
### V.4.2. Biopesticides d'origine végétale

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. Le biopesticide d'origine végétale le plus utilisé est **l'huile de neem**, un insecticide extrait des graines d'*Azadirachta indica* [Schmutterer, 1990]. L'huile de neem compte dans sa composition un minimum de trente-cinq composés biologiquement actifs. Tous ces composés ne présentent d'ailleurs pas la même activité. Le neem doit son pouvoir insecticide principalement à des composés limonoïdes comme la salanine, la nimbine (Figure V.2), et particulièrement l'azadirachtine (Figure V.3). La salanine et la nimbine sont des antiappétants. Seule l'azadirachtine agit aussi comme inhibiteur de croissance [Isman, 1997].

Outre son grand pouvoir insecticide, **l'azadirachtine** est très sélective envers certaines classes d'insectes. Ce bioinsecticide est également sans danger pour les mammifères et les oiseaux.



*Figure V.2 : Structure des composés limonoïdes extraits de l'huile de neem. La molécule a correspond à la structure de la salanine tandis que le composé b représente la nimbine [CHARBONNEAU, 2007]*



*Figure V.3 : composé majoritaire extrait de l'huile de neem: azadirachtine [CHARBONNEAU, 2007]*

## Alternative aux pesticides chimique : Les biopesticides

---

**Pyrèthre**, est une plante herbacée vivace cultivée pour ses fleurs dont une poudre insecticide est extraite. Ses principes actifs, appelés pyréthrinés, attaquent le système nerveux de tous les insectes. Cependant, ces molécules naturelles sont rapidement dégradées par la lumière. Il y a sur le marché des pyréthrinoïdes de synthèse qui sont beaucoup plus stables que leurs homologues naturels. **Quassia amara** est un arbre d'Amérique dont est extraite la quassine, un insecticide qui a montré une faible toxicité pour l'Homme, les animaux domestiques et les insectes utiles, Certaines huiles végétales, qui n'ont pas d'activité antiparasitaire intrinsèque, peuvent être retrouvées sur le marché en tant que biopesticide. Dans ce cas, ce sont leurs propriétés physiques qui sont exploitées. Ainsi, **l'huile de colza** est l'ingrédient principal de quelques produits comme le VegOil® car, aspergée sur les feuilles et les ravageurs, elle forme un film huileux qui asphyxie ces derniers.

**Les plantes à pesticides intégrés** (Plant Incorporated-Protectants, PIPs) sont des organismes modifiés par génie génétique, capables de produire et d'utiliser des substances pesticides afin de se protéger contre des insectes, des virus ou des champignons. Les PIPs les plus connues sont des plants de pommes de terre, maïs et coton ayant la particularité de produire la protéine Cry de *B. thuringiensis*. Pour l'agence américaine de protection de l'environnement (United States, Environmental Protection Agency, US.EPA), les PIPs sont une catégorie de biopesticides. Les premières PIPs ont été cultivées aux États-Unis d'Amérique en 1995/1996. Les surfaces agricoles mondiales cultivées en PIPs sont passées de 11,4 millions d'hectares en 2000 à plus de 80 millions en 2005 [Shelton et al., 2002]. Certains pays de l'Union européenne émettent des réticences quant à leur utilisation. En effet, pour des raisons qualifiées d'éthique, morale et des réserves sur leur sureté biologique, seuls 5 des 27 pays membres de l'Union européenne ont adopté leur utilisation. Ainsi, le maïs Bt (*Bacillus thuringiensis*) est couramment cultivé en Espagne, Portugal, Roumanie, Pologne et Slovaquie, alors que la lignée de maïs Bt MON810 est formellement interdite dans certains pays comme la France, l'Autriche, l'Allemagne, la Grèce, le Luxembourg et la Hongrie [Meissle et al., 2011].

### V.4.3. Biopesticides d'origine animale

Ces biopesticides sont issus des animaux comme les prédateurs ou les parasites, ou des molécules dérivées d'animaux, souvent d'invertébrés comme les venins d'araignées, de scorpions, des hormones d'insectes, des phéromones [Goettel et al., 2001]

Les biopesticides d'origine animale qui sont des signaux chimiques produits par un organisme et qui changent le comportement d'individus de la même espèce ou d'espèces différentes sont également répertoriés sous l'appellation « semio-chimiques ». Les semio-chimiques ne sont pas à proprement parler des « pesticides ». En effet, ils ne vont pas provoquer la mort des bio-agresseurs, mais plutôt créer une confusion chez ces derniers. Cette confusion les empêchera de se propager dans la zone traitée. Les phéromones d'insectes sont de bons exemples de molécules semio-chimiques utilisées comme alternative à l'utilisation des insecticides. Il s'agit de petites molécules naturellement produites par les insectes et qui sont détectées au niveau des antennes de leurs congénères. Ces molécules peuvent être éphémères ou persistantes, mais dans tous les cas véhiculent un message. Elles peuvent marquer un territoire, prévenir de la disponibilité de nourriture ou être un signal pour l'accouplement. Les phéromones d'insectes sont largement utilisées aussi bien pour limiter les insectes ravageurs via des techniques de piégeage ou de confusion sexuelle que pour surveiller leur nombre.

**Les nématodes** sont principalement utilisés pour contrôler les larves d'insectes. Les nématodes entrent dans un ennemi cible par des ouvertures corporelles et libèrent des bactéries toxiques qui tuent les hôtes. Exemples: *Heterorhabditis bacteriophora* et *Steinernema puertoricense* (Les deux bioinsecticides)

C'est l'activité parasitique des nématodes comme *Phasmarhabditis hermaphrodita* qui est utilisée pour la lutte contre les limaces et les gastéropodes en général. Les nématodes juvéniles de troisième stade de *P. hermaphrodita* vont initier l'infection en pénétrant par les cavités des coquilles sous le manteau de leur hôte. Après cette pénétration, les nématodes juvéniles vont transmettre leurs bactéries associées qui vont se multiplier et libérer des endotoxines qui provoqueront la mort des gastéropodes entre 4 et 7 jours. Les nématodes juvéniles vont acquérir leur forme hermaphrodite dans cette cavité et s'y reproduire. Ils continueront à se développer jusqu'à ce que tout le corps du gastéropode soit consommé et que la prochaine génération de nématodes trouve de nouveaux hôtes à parasiter [Grewal et al., 2003].

**Les insectes :** La coccinelle est l'insecte auxiliaire le plus connu. La coccinelle *Rodolia cardinalis* prélevée en Australie est couramment utilisée comme prédateur de la cochenille *Icerya purchasi*. Même si elle a été introduite dès le 19<sup>e</sup> siècle en Californie pour enrayer la destruction des agrumes, les îles Galápagos n'ont autorisé son introduction qu'en 2002 [Calderón Alvarez et al., 2012]. Les effets des biopesticides d'origine animale et plus particulièrement des insectes auxiliaires sur la faune locale sont minutieusement étudiés avant leur utilisation.

**Les acariens** comme les coccinelles, les acariens utilisent la prédation pour se nourrir de certains insectes ravageurs des plantes.

### V.5. Avantages et inconvénients des biopesticides

L'utilisation de biopesticides en agriculture comporte des avantages et des inconvénients. Voici une liste non exhaustive des bienfaits d'une telle lutte et les inconvénients qui s'y rattachent [Rochefort et al., 2010].

#### Avantages

- Restreindre ou éliminer l'utilisation d'insecticides chimiques
- Moins toxique que les pesticides chimiques
- Favoriser lors d'une utilisation en serre (culture serricole de haute valeur économique)
- Diminuer les risques de développer de la résistance
- Favoriser par le nombre restreint d'insecticides homologués en serre
- Plus grande spécificité d'action
- Améliorer la qualité de vie des travailleurs agricoles
- Prévoir aucun délai avant la récolte
- Offrir aux consommateurs des produits sains
- Avoir une meilleure presse auprès des consommateurs
- Dégradation rapide des biopesticides, diminuant les risques de pollution
- Maintenir la biodiversité des biotopes

#### Inconvénients

- Lutte souvent faite en prévention et moins efficace lorsque curative

- Effet moins drastique que les pesticides (plus d'applications)
- Seuil de tolérance très bas pour les ravageurs
- Efficacité pas toujours constante d'une production à l'autre
- Activité restreinte lors d'une grande pression du ravageur
- Conditions d'entreposage des produits biologiques (demi-vie et température plus fraîche)
- Excellente connaissance dans la relation proie – prédateur.

### V.6. Utilisation efficace des biopesticides

Les biopesticides ne sont généralement pas conçus comme « remède miracle » et devraient toujours être utilisés parallèlement avec d'autres stratégies de lutte contre les ennemis de cultures. Ainsi, les biopesticides jouent un rôle important et sont largement utilisés dans le cadre de l'agriculture intégrée (IPM: integrated pest management). La lutte intégrée combine plusieurs pratiques comme l'utilisation de variétés de plantes résistantes aux maladies et aux ravageurs identifiés, une irrigation des cultures appropriée, la rotation ou l'inter-culture, le désherbage manuel ou encore l'utilisation de barrières physiques de prévention contre les ravageurs.

Pour illustration, la gestion de la production des fleurs de «lys» au Brésil est montrée ci-dessous. La culture des fleurs de «lys» est menacée par plusieurs genres de champignons phytopathogènes. Parmi lesquels, les genres, *Botrytis*, *Phytophthora*, *Fusarium*, *Sclerotinia*, *Penicillium*, *Rhizoctonia* et *Pythium*. En 2000, pour résoudre ce problème, 30 produits phytosanitaires chimiques ont été utilisés pour 10.00 USD/m<sup>2</sup>. L'augmentation des doses de ces produits chimiques au cours des années est indispensable au bon contrôle de cette culture. Face à cette situation, un autre programme de production a été proposé dans le but de minimiser l'usage des pesticides chimiques. En fait, l'utilisation de ces derniers a été graduellement remplacée par des méthodes de contrôle biocompatibles. Dans un premier temps les pesticides les plus dangereux ont été éliminés progressivement, pendant deux ans. Ensuite, des procédures de fertilisation ont été mises en place, pour adapter le sol aux besoins des agents microbiens de biocontrol. Le traitement biologique était principalement basé sur l'utilisation des suspensions de *Trichoderma*, *Metarhizium*, *Clonostachys*, *Beauveria* et *Bacillus*, appliquées chaque semaine pour lutter contre *Botrytis* et autres pathogènes.

## Alternative aux pesticides chimique : Les biopesticides

---

Quand c'est nécessaire, l'huile de neem, la propolis, le phosphite et autres biopesticides biochimiques sont utilisés. Un programme d'assainissement est maintenu dans la serre par élimination des parties de plantes malades. Les pièges à phéromones et le contrôle d'humidité sont aussi utilisés. Actuellement, aucun pesticide chimique n'est utilisé, exception faite pour l'insecticide «imidaclopride». Les coûts de contrôle sont estimés à 3.00 USD/m<sup>2</sup>. Le succès de ce programme n'était pas seulement grâce à la substitution des pesticides chimiques par des biopesticides, mais également par considération de différentes pratiques culturelles [Wit *et al.*, 2009].

Une application efficace d'un biopesticide nécessite d'autres facteurs qu'ils doivent être respectés et qu'on trouve dans l'étiquette du produit. Ceci inclut, le pH et température de la solution microbienne préparée, les conditions de stockage, le temps d'application et le nombre de répétitions, la durée de conservation et la compatibilité avec d'autres produits [Filotas, 2010].

### VI. Conclusion générale :

L'utilisation généralisée et la dépendance aux produits phytosanitaires chimiques a conduit à l'apparition de bio-agresseurs résistants. La mauvaise réponse pour lutter contre ceux-ci est d'augmenter la quantité et la fréquence d'application du produit phytosanitaire le moins efficace. Cette réponse est généralement contraire à la législation qui encadre l'emploi des produits phytosanitaires et aux « Bonnes Pratiques Agricoles » définies par la réglementation, imposant un nombre maximal d'applications et une dose maximale à ne pas dépasser. L'alternative est de développer de nouvelles molécules chimiques. Ce système à double réponse, identifié dans les années 1970 et nommé « *pesticide treadmill* » par les entomologistes, est toujours d'actualité [Weddle et al., 2009]. Malgré tous les effets indésirables sur l'environnement et la santé, il est prévu que ce cycle ne prendra fin que lorsqu'il ne sera plus possible de développer de nouveaux pesticides chimiques.

Les biopesticides représentent une des alternatives à cette dépendance. Même si, employés seuls, ils sont généralement moins efficaces à court terme que leurs homologues chimiques, ils présentent de nombreux avantages écologiques qui ne peuvent pas être ignorés. Utilisés dans une stratégie de lutte intégrée en combinaison avec les pesticides chimiques, ils permettent de limiter la quantité d'intrants ainsi que l'apparition de nuisibles résistants.

Le développement de l'utilisation des biopesticides est variable d'une région du monde à l'autre. Ils dépendent fortement de plusieurs facteurs dont :

- les agriculteurs : leur méfiance vis-à-vis de l'efficacité de ce type de produits, leur niveau de formation ainsi que les moyens dont ils disposent en main-d'oeuvre et appareillage ;
- l'environnement : l'efficacité des biopesticides est souvent conditionnée par les contraintes climatiques ;
- la recherche et le développement de nouveaux biopesticides plus efficaces que ceux déjà disponibles ;
- la mise en place d'un processus d'homologation et d'une législation dédiés à ce type de produit ;

## Conclusion générale

---

- la logistique pour le stockage et la distribution des organismes vivants qui les composent ;
- les préférences des consommateurs (agriculteurs, distributeurs et consommateurs finaux) ;
- les politiques nationales comme la ratification de projets de lois sur la diminution des quantités de pesticides chimiques utilisées, la promotion des stratégies de lutte intégrée par des actions comme l’octroi de crédits d’impôts en faveur de l’agriculture biologique.

### VII. Référence bibliographiques :

#### A

ADAM, A., 2008. Elicitation de la résistance systémique induite chez la tomate et le concombre et activation de la voie de la lipoxigénase par des rhizobactéries non pathogènes. Thèse de doctorat : Université de Liège.

ANASTASIADIS, I., GIANNAKOU, I., PROPHETOU-ATHANASIADOU, D. & GOWEN, S., 2008. The combined effect of the application of a biocontrol agent *Paecilomyces lilacinus*, with various practices for the control of root knot nematodes. *Crop Prot.*, 27, 352-361.

#### B

BAILEY, G.-W., SWANK, R.-R., NICHOLSON, H.-P., 1974. Predicting pesticide runoff from agricultural land : a conceptual model. *Journal of environmental quality* N° 3, p: 95-102.

BOLAND, J. KOOMEN, I. LIDTH DE JEUDE, J. OUDEJANS, J., 2004. Les pesticides : composition, utilisation et risques, *Agrodok* 29, ISBN : 90-77073-01-9

BOULON J.-P., 2010. Qu'est-ce que ? *Pseudomonas chlororaphis* souche MA342 bio-fongicide en traitement de semences de blé, triticale et seigle. *Phytoma Défense Végétaux*, 632, 10-12.

BRUNNER K. ET AL., 2005. Improvement of the fungal biocontrol agent *Trichoderma atroviride* to enhance both antagonism and induction of plant systemic disease resistance. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71, 3959-3965.

#### C

CALDERON-ALVAREZ C. ET AL., 2012. Monitoring the effects of *Rodolia cardinalis* on *Icerya purchasi* on the Galapagos Islands. *BioControl*, 57, 167-179.

CALVET, R., BARRIUSO, E., BEDOS, C., BENOIT, P., CHARNAY, M.- P., COQUET, Y., 2005. Les pesticides dans le sol : conséquences agronomiques et environnementales. France Agricole Editions.

CHARBONNEAU, A., 2007. Effets *in vivo* et *in vitro* de l'azadirachtine et de molécules Époxy-alcool simples sur coléoptères, diptères et Lépidoptères. Mémoire présenté à l'Université du Québec à trois-rivières.

CHEN X. ET AL., 2002. Comparative analysis of the complete genome sequences of *Helicoverpa pazea* and *Helicoverpa armigera* single-nucleocapsid nucleopolyhedroviruses. *J. Gen. Virol.*, 83, 673-684.

COLEACP, F., 2011. Lutte biologique et protection intégrée, Source : [Fpip.coleacp.org/files/documents/COLEACP\\_Manuel\\_10\\_FR.pdf](http://Fpip.coleacp.org/files/documents/COLEACP_Manuel_10_FR.pdf).

### D

DAMALAS, CA., 2009. Comprendre les avantages et les risques de l'utilisation des pesticides. Recherche scientifique et Essai, vol 4, n° 10, p. 945-949.

DESAI, S. T., 1997. Chemical industry in the post independence era: a finance analysis point of view. Chemical Business, 11(1): 25 - 28

DODD, S., LIECKFELDT, E. & SAMUELS, G., 2003. *Hypocrea atroviridis* sp. nov., the teleomorph of *Trichoderma atroviride*. Mycologia, 95(1), 27-40.

DONAVAN, W.P., DONAVAN, J.C., ENGLEMAN, J.T., 2001. Gene knockout demonstrates that vip3A contributes to the pathogenesis of *Bacillus thuringiensis* toward *Agrotis ipsilon* and *Spodoptera exigua*. Journal of Invertebrate Pathology 78: 45-51.

DUBUS, E., BARRIUSO, R., CALVET, J., CHEMOSPHERE, 45(2001) 767-774

DUTTA, S., 2015. Biopesticides: an ecofriendly approach for pest control, World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, Vol 4, numéro 06, p. 250-265

### E

EL BAKOURI, H., 2006. Développement de nouvelles techniques de détermination des pesticides et contribution à la réduction de leur impact sur les eaux par utilisation des substances organiques naturelles (S.O.N). Thèse de doctorat : Faculté des sciences et technique : Tanger, Maroc, Université Abdelmalek Essaadi.

EL-BAKOURI, H., 2002. "Etude de l'adsorption de l'endosulfan sur certaines matrices végétales," Rapport de stage de recherche à l'université Abdelmalek Essaâdi de Tanger, Réf : UFR/02-01,

### F

FEDERICI B.A., PARK H.W., AND BIDESHI D.K., 2010. Overview of the Basic Biology of *Bacillus thuringiensis* with Emphasis on Genetic Engineering of Bacterial Larvicides for Mosquito Control. The Open Toxinology Journal 3: 83-100.

FILOTAS, M., 2010. Les biopesticides en agriculture biologique. Source: <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/organic/news/2010-04a6.htm>.

FOURNIER, J., 1988. Chimie des pesticides. Cultures et Techniques. Agence de Coopération Culturelle et Technique, Université d'Angers, pp. 350.

### G

GILLES, F., 1991. Pesticides and the third world. Journal of Toxicology and Environmental Health, Vol. 32, pp. 11-31.

## Référence bibliographiques

---

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.

GREWAL, P., GREWAL, S., TAN, L. & ADAMS, B., 2003. Parasitism of molluscs by nematodes: types of associations and evolutionary trends. *J. Nematol.*, 35(2), 146-156.

### H

HEIMPE, L. A.M., ANGUS, T.A., 1960. Bacterial insecticides. *Bacteriology Reviews* 24: 266.

### I

IDRISSI, M. AÏT DAOUD, N. SOULAYMANI BENCHEIKH, R., 2010. PESTICIDES, DEFINITION ET CLASSIFICATION, Le laboratoire du Centre Anti Poison du Maroc Fonctionnement et utilité, *Toxicologie Maroc - N° 4* -

ISMAN, M.B., 1997. Neem insecticide, *Pesticide Outlook* 8: 32-38.

### K

KELLEY, J.R AND DUGGAN, J.M., 2003. Gastric cancer epidemiology and risk factors. *Journal of Clinical Epidemiology*, 56, p.9.

### L

LENG, P., ZHIMING, Z., GUANGTANG, P., MAOJUN, Z., 2011. Applications and development trends in biopesticides. *Afr. J. Biotechnol.*, vol 10, n° 86, p.19864-19873.

### M

MARCHETERRE L., CHOUDRY G.G., WEBSTER G.R.C., 1988, Environmental photochemistry of herbicides, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 10, 61-126.

MCQUILKEN M. ET AL., 2003. Production of macrospheride A by the mycoparasite *Coniothyrium minitans*. *FEMS Microbiol. Lett.*, 2009, 27-31.

MEISSLE M., ROMEIS J., BIGLER F., 2011. Bt maize and integrated pest management - a European perspective. *Pest Manage. Sci.*, 67, 1049-1058.

### O

ORTIZ-HERNÁNDEZ, M.L., 2002. Biodegradación de plaguicidas organofosforados por nuevas bacterias aisladas del suelo. Thesis. *Biotechnology PhD*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México,

### P

PEREZ-GARCIA A., ROMERO D., DE VICENTE A., 2011. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of Bacilli in agriculture. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 22(2), 187-193.

PERIQUET, A., 1986 Toxicologie des résidus de pesticides, In R Derache (Ed), toxicologie et sécurité des aliments. 1ère édition, Technique et documentation, Paris.

### R

ROCHEFORT, S., LALANCETTE, R., LABBE, R., BRODEUR, J., Recherche et développement de biopesticides et pesticides naturels à faible toxicité pour les organismes non ciblés et respectueux de l'environnement, Projet PARDE # 3333.52.02.01, Université Laval

ROSAS-GARCIA, N.M., 2009. Biopesticide production from *Bacillus thuringiensis*: an environmentally friendly alternative. *Recent Pat. Biotechnol.*, 3(1), 28-36.

### S

SCHEYER, A., 2004. Développement d'une méthode d'analyse par CPG/MS/MS de 27 pesticides identifiés dans les phases gazeuse, particulaire et liquide de l'atmosphère. Application à l'étude des variations spatio-temporelles des concentrations dans l'air et dans les eaux de pluie. Thèse de doctorat : Faculté des sciences et technique : Université LOUIS PASTEUR DE STRASBOURG.

SCHMUTTERER, H., 1990. Properties and potentials of natural pesticides from neem tree. *Annu. Rev. Entomol.*, 35, 271-298.

SHELTON, A.M., ZHAO, J.-Z., ROUSH, R.T., 2002. Economic ecological, food safety, and social consequences of the deployment of BT transgenic plants. *Annu. Rev. Entomol.*, 47, 845-881

SINGH, B.K., WALKER, A., 2006. Microbial degradation of organophosphorus compounds. *FEMS Microbiology Reviews*, 30(3), 428-471.

SOULAS, G., 1985. La dégradation dans le sol aspects microbien et cinétiques, *Science du sol*, vol 2, p.43-57.

STOPPELLI, I.M., DE BRITO, S.A., CRESTANA, S., 2005. Pesticide exposure and cancer among rural workers from Bariri, Sao Paulo State, Brazil. *Environment International*, 31, p.731.

### T

THAKORE Y., 2006. The biopesticide market for global agriculture use. *Ind. Biotechnol.*, 2, 194-208.

## Référence bibliographiques

---

TOMBOLINI, R., VAN DER GAAG, D., CERHARDSON, B., JANSSENI, J., 1999. Colonization pattern of the biocontrol strain *Pseudomonas chlororaphis* MA 342 on barley seeds visualized by using green fluorescent protein. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65(8), 3674-3680.

### V

VAN EERD, L., HOAGLAND, R. E., ZABLOTOWICZ, R. M., HALL, J. C., 2003. Pesticide metabolism in plants and microorganisms. *Weed Science*, 51(4), 472–495.

VAN LENTEREN, J.C., 2000. A greenhouse without pesticides : fact or fantasy? *Crop Prot.* 19:375-84.

VETTORAZZI, G., RADAELLI-BENBENUTI, B., 1982. *International Regulatory Aspects for Pesticides Chemicals. Vol II: Toxicological data profiles.* CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.

### W

WALKER, A., RODRIGUEZ-CRUZ, M., MITCHELL, M., 2005. Influence of ageing of residues on the availability of herbicides for leaching. *Environmental Pollution*, 133(1), 43–51.

WASHBURN, J., TRUDEAU, D., WONG, J., VOLKMAN, L., 2003. Early pathogenesis of *Autographa californica* multiple nucleopolyhedrovirus and *Helicoverpa zea* single nucleopolyhedrovirus in *Heliothis virescens*: a comparison of the ‘M’ and ‘S’ strategies for establishing fatal infection. *J. Gen. Virol.*, 84, 343-351.

WEDDLE, P., WELTER, S., THOMSON, D., 2009. History of IPM in California pear-50 years of pesticide use and the transition to biologically intensive IPM. *Pest Manage. Sci.*, 65(12), 1287-1292.

### Webographie :

Web 1 : Miguel La qualite de l'eau et l'assainissement en France

<http://www.senat.fr/rap/102-215-2/102-215-21.pdf>.

Web 2: [www.prophyta.de/fr/protection-des-plantes/anti-nematicide/mode-operatoire/](http://www.prophyta.de/fr/protection-des-plantes/anti-nematicide/mode-operatoire/)

Web 3: [http://www.dictionnaire-environnement.com/chaine\\_trophique\\_ID1436.html](http://www.dictionnaire-environnement.com/chaine_trophique_ID1436.html)

Web 4: <http://www.futura-sciences.com/sante/defenitions/ biologie-bioamplification-12837/>