



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi -Tébessa-

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie Appliquée

MEMOIRE DE MASTER

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Sciences Biologiques

Option: Pharmaco-toxicologie

Thème

*Utilisation des biopesticides : avantages et
.inconvénients*

Présenté par :

AZZAZ Lamis

MESSAADI Assma

BOUKHACHEME Hibet alrahmen

Devant le jury:

Dr. BOUSSEKINE Samira	Pr.	Université Larbi Tébessi de Tébessa	Présidente
Dr. DJABRI Belgacem	Pr.	Université Larbi Tébessi de Tébessa	Rapporteur
Dr. GASMI Salim	MCB.	Université Larbi Tébessi de Tébessa	Examineur

Date de soutenance : 08/06/2022

Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement du Pr DJABRI Belgacem, nous le remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous tenons à vous remercier chaleureusement les membres de jury : Pr. BOUSSEKINE Samira, pour le grand honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider le jury et aussi pour ses encouragements durant notre travail.

Et Mr. Gasmi Salim, Maitre de conférences classe B, pour avoir accepté de faire partie de ce jury et examiner notre travail. Nous le remercions pour ses grandes qualités humaines et ses compétences scientifiques élevées.

Nous remerciment s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Dédicaces

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم:

(من لم يشكر الناس لم يشكر الله و من أهدى إليكم معروفا فكافنوه فإن لم تستطيعوا فادعوا له)

- ✚ A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.
- ✚ A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études
- ✚ A mes chères sœurs Naziha, Aya, qui n'ont jamais cessé de me conseiller, m'encourager et me soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leur accorde succès et bonheur.
- ✚ À la prunelle de mes yeux Mohammad, Sanad, Que Dieu les protège et leur accorde succès et bonheur.
- ✚ A mes meilleurs amis : Roumaïssa, Souad, Oumaima.
- ✚ Et tout qui m'aide et compulse ce modeste travail.
- ✚ En fin, je remercie mon Trinôme, Lamis, Hiba, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Assma

Dédicaces

Je dédie ce travail à

- ✚ À ma chère mère Malika pour son amour, son affection et sa patience. Le secret de mon bonheur et la source de ma force qui a sacrifié sa vie pour notre succès, que Dieu vous bénisse pour la vie.
- ✚ À mon père abd el-kader qui a toujours été pour moi un exemple du père respectueux. Je suis fier de porter ton nom -Allah yarhmo-
- ✚ À mes chers frères mon soutien dans la vie Amir, Isslem
- ✚ À mes chères sœurs amies de ma vie Chourouk, Salsabil
- ✚ À mon cher fiancé qui m'a donné tout l'amour et le soutien et c'était une certaine bienveillance Riyadh
- ✚ A ma deuxième famille Mes ami (e) s qui m'ont apporté la force, la joie, le bonheur, ils m'ont toujours comblé avec leurs présences, et Amour << Roumaissa - awatef - souaad - oumaima >>
- ✚ À ma chère tante Nadjet - Souraya - Nassima
- ✚ À ma chère tante que dieu leur donne une longue et joyeuse vie. Nadjet - Souraya - Nassima merci pour leurs amours et leurs encouragements.
- ✚ Sans oublier mon Trinôme Assma, Hiba pour leur soutien au cours de la morale de ce projet

Lamis

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

✚ *Mes chers parents*

*Les mots ne suffiront pas pour vous témoigner toute ma gratitude
pour votre entière disponibilité, votre assistance et votre
dévouement tout au long de mes études –Que dieu me les gardes*

✚ *Mes Frère dhiaa et achref chahinez et ibtihèl*

✚ *Sans oublier toute la famille boukhcheme sans exception.*

Hiba

RESUME

Les biopesticides sont des agents biologiques utilisés pour contrôler les populations de nuisibles. Ils comprennent l'utilisation de plantes, d'agents pathogènes microbiens tels que les champignons, les bactéries, les virus et les ennemis naturels des ravageurs tels que les parasitoïdes et les prédateurs, les nématodes et les produits sémiocchimiques. Les biopesticides jouent un rôle important dans la durabilité de la bioéconomie agricole. Ils sont utilisés dans le traitement des semences, du sol et des plantes. Les avantages écosystémiques rendus par les ressources biologiques importantes pour l'agriculture justifient l'inclusion des biopesticides dans les programmes de lutte intégrée contre les ravageurs. Les modes d'action des biopesticides sont très variables selon le type de biopesticide (libération d'endotoxines, d'antibiotique et d'enzymes ou création d'une infection fatale chez l'hôte). Beaucoup d'avantages sont liés à l'utilisation des biopesticides : la sécurité d'utilisation, la spécifique et la compatible avec d'autres méthodes. De plus, ils sont inoffensifs pour l'écosystème et s'auto-perpétuent. En revanche, les biopesticides peuvent présenter certains inconvénients limitant ainsi leur utilisation. Leur usage avec peu ou pas de connaissances professionnelles peut provoquer un déséquilibre écologique. De plus, ils se montrent parfois inefficaces sur certains nuisibles et présentent des exigences techniques et professionnelles.

ABSTRACT

Biopesticides are the biological agents used to control the pest population. It includes the use of botanicals, microbial pathogens such as fungi, bacteria, viruses and natural enemies of pests such as parasitoids and predators, nematodes and semiochemicals. Biopesticides play an important role in sustainability of agricultural bioeconomy. The ecosystem benefits rendered by the agriculturally important biological resources warrant inclusion of biopesticides in Integrated Pest Management Programmes. The modes of action of biopesticides vary greatly depending on the type of biopesticide (release of endotoxins, antibiotics and enzymes or creation of a fatal infection in the host). Many advantages are related to the use of biopesticides: the safety of use, the specificity and the compatibility with other methods. In addition, they are harmless to the ecosystem and self-perpetuating. On the other hand, biopesticides can have certain disadvantages limiting their use. Their use with little or no professional knowledge can cause an ecological imbalance. In addition, they are sometimes ineffective on certain pests and have technical and professional requirements.

ملخص

المبيدات الحيوية هي العوامل البيولوجية المستخدمة لمكافحة الآفات. ويشمل استخدام النباتات ومسببات الأمراض الميكروبية مثل الفطريات والبكتيريا والفيروسات والأعداء الطبيعية للآفات مثل الطفيليات والحيوانات المفترسة والديدان الخيطية والمواد الكيميائية شبه الكيميائية. تلعب المبيدات الحيوية دورًا مهمًا في استدامة الاقتصاد الحيوي الزراعي. تستدعي منافع النظام الإيكولوجي التي توفرها الموارد البيولوجية ذات الأهمية الزراعية إدراج مبيدات الآفات الحيوية في برامج الإدارة المتكاملة للآفات. تختلف طرق عمل المبيدات الحيوية اختلافًا كبيرًا اعتمادًا على نوع المبيد الحيوي (إطلاق السموم الداخلية والمضادات الحيوية والإنزيمات أو خلق عدوى قاتلة في المضيف). ترتبط العديد من المزايا باستخدام المبيدات الحيوية: سلامة الاستخدام ، التخصص والتوافق مع الطرق الأخرى. بالإضافة إلى ذلك ، فهي غير ضارة بالنظام البيئي ومستديمة الاستعمال. من ناحية أخرى ، يمكن أن يكون للمبيدات الحيوية عيوب معينة تحد من استخدامها. يمكن أن يسبب قلة أو انعدام المهنية في استخدامها اختلالًا بيئيًا. بالإضافة إلى ذلك ، فهي في بعض الأحيان غير فعالة على بعض الآفات وتتطلب مهارات فنية ومهنية خاصة.

TABLES DES MATIERES

Tables des matières

	page
Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des tableaux	
Listes des figures	
Liste des abréviations	
Introduction	05
I. Historie des biopesticides	06
II. Définition de biopesticides	09
III. Classification des biopesticide	10
III.1. Biopesticide d'origine microbienne	10
III.1.1. Bactéries	10
III.1.2. Virus	13
III.1.3. Champignons	14
III.2. Biopesticide d'origine végétale	15
III.3. Biopesticide d'origine Animale	18
IV. Technique d'extraction des biopesticides d'origine végétale	20
IV.1. Macération	21
IV.2. Hydrodistillation	22
IV.2.1. Distillation de l'eau	23
IV.2.2. Distillation de l'eau et de la vapeur	23
IV.2.3. Distillation à vapeur direct	24
IV.3. Expression	25
IV.4. Pressage à Froid	25
V. Métabolisme des biopesticides	28
V.1. Métabolisme de la thuringiensine	30
V.2. Métabolisme des souches de Trichoderma	30
V.3. Métabolites des spinosynes	31

TABLES DES MATIERES

Tables des matières

V.3.1. Métabolisme dans les plantes	31
V.3.2. Métabolisme chez les animaux	31
V.4. Métabolisme des fongicides à base de strobilurine	31
V.4.1. Métabolisme dans les plantes	33
V.4.2. Métabolisme chez les animaux et dans le sol	33
V.5. Métabolisme des biopesticides d'origine végétale	35
V.5.1. Métabolisme de Pyrèthre	35
V.5.2. Métabolisme de Pyrèthre Roténone	35
VI. Mode d'action de biopesticides spécifiques	37
VI.1. Biopesticides bactériens	37
VI.2. Biopesticides fongiques	37
VI.3. Biopesticides viraux	42
VI.4. Biopesticides dérivés de protozoaires et de nématodes	43
VI.5. Biopesticides dérivés de produits naturels	48
VII. Utilisation des biopesticides	50
VII.1. Traitement des semences	50
VII.1.1. Concernant les pesticides biochimiques	50
VII.1.2. Concernant les biopesticides microbiens	50
VII.1.3. Encapsulation des graines	51
VII.2. Traitement du sol	51
VII.2.1. En ce qui concerne les pesticides biochimiques	51
VII.2.2. En ce qui concerne les Biopesticides microbiens	51
VII.3. Traitement des plantes	52
VIII. Avantages de biopesticides	53
VIII.1. Avantages des biopesticides bactériens	53
VIII.2. Avantages des biopesticides viraux	54
VIII.3. Avantages des biopesticides à base de champignons	54
VIII.4. Avantages des Nématodes Entomopathogène EPN	54
VIII.5. Avantages des parasitoïdes dans la lutte biologique contre les parasites	55
VIII.6. Avantages des prédateurs dans la lutte biologique contre les ravageurs	55
VIII.7. Autres Avantages	55
IX. Inconvénients des biopesticides	57
IX.1. Inconvénients des insecticides microbiens	57
IX.2. Inconvénients des biopesticides viraux	58
IX.3. Inconvénients des biopesticides à base de champignons	58
IX.4. Inconvénients de l'EPN	59
IX.5. Inconvénients des parasitoïdes dans la lutte biologique contre les parasites	59
IX.6. Inconvénients des prédateurs dans la lutte biologique contre les parasites	60
IX.7. Autres inconvénients des biopesticides	60
X. Limite des Biopesticides	62

TABLES DES MATIERES

Tables des matières

XI. Réglementation des biopesticides	62
XI.1. Cadre juridique	63
XI.2. Règlements dans le monde entier	65
XII. Statut actuel des biopesticides	66
XIII. Progrès récents des biopesticides	68
XIV. Perspectives d'avenir	68
Conclusion	
Références bibliographiques	

LISTE DES ABREVIATIONS

Liste des abréviations

CE	Conseil de l'Europe ; Communauté européenne.
DDT	Dichlorodiphényltrichloroéthane
USEPA	United States Environmental Protection Agency.
USA	United States of American.
PCR	La régression en composantes principales
ANN	Les réseaux de neurones artificiels
IPM	Intergrated Pest management
MAE	Extraction assistée par micro-ondes
SEF	Extraction par fluide supercritique
ELP	Extraction par liquide sous pression
EAE	Extraction assistée par enzymes
EAAE	l'extraction aqueuse assistée par enzymes
EACP	la pression à froid assistée par enzymes
B	Bacillus
ADN	Acide désoxyribonucléique
HzSNPV	Helicoverpa zea single nucleocapsid nuclear polyhedrosis virus
BPPD	La Division of Biological and Pollution Prévention
OGM	organismes génétiquement modifiés
PILB	Organisation internationale de lutte biologique
OEPP	Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
BCC	Research british Chambers of commerce

LISTE DES ABREVIATIONS

Liste des abréviations

PGPR	Plant Growth Promoting Rhizobacteria
UV	Ultraviolet
FIFRA	Fédéral Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act
FFDCA	Fédéral Food, Drug, and Cosmétique Act
PT	<i>Bacillus thuringiensis</i>

LISTE DES FIGURE

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Chronologie des évènements important dans le développement des biopesticides microbiens	08
2	Origine des biopesticides	09
3	Cellules, spores et cristaux protéiques insecticides de <i>Bacillus thuringiensis</i> var. Microscopie à contraste d'interférence différentielle (XI600). Image modifiée avec le logiciel Adobe Photoshop de Adode Systems Inc. (É.-u.)	12
4	Mode d'action des baculovirus contre les insectes lépidoptères	14
5	<i>Coniothyrium Minitans</i> .	15
6	Sclerotinia.	15
7	L'huile de Neem	17
8	Insecticide poudre au pyrèthre	17
9	<i>Quassia amara</i>	18
10	Coccinelle <i>Rodolia cardinalis</i>	19
11	Coccinelle	19
12	Cycle de vie d'une coccinelle <i>Rodolia Cardinalis</i>	20
13	Nématodes	20
14	technique de macération	22
15	Technique distillation de l'eau et de la vapeur	24
16	technique d'expression	25
17	Métabolisme des spinosynes chez la chèvre.	32
18	Voies de dégradation de base des strobilurines	34
19	Métabolisme de l'azoxystrobine.	34
20	Bio-oxydation de la fraction isobutényle dans la voie	36

LISTE DES FIGURE

Liste des figures

	métabolique provisoire de la (S)-bioalléthrine chez l'homme.	
21	Mode d'action du <i>Bacillus thuringiensis</i> .	39
22	Mode d'action des champignons	44
23	Mode d'action des baculovirus.	45
24	Mode d'action des protozoaires.	47
25	Mode d'action des nématodes.	48
26	Utilisation des biopesticides	50
27	Types de biopesticides microbiens utilisés dans le monde entier.	53

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Quelques biopesticides commercialisés	11
2	Réaction phase I et de phase II du métabolisme des Xénobiotique	29
3	Biopesticides bactériens et leurs modes d'action	40
4	Biopesticides fongiques et leur mode d'action	43
5	Biopesticides viraux et leurs modes d'action	46
6	Aperçu de la réglementation sur les biopesticides	65
7	Aperçu de la réglementation sur les biopesticides (suite)	65

Introduction

Introduction

Le monde prend des mesures récentes pour appliquer des stratégies d'agriculture biologique afin de préserver la santé humaine et de préserver l'équilibre biologique et environnemental des dangers de l'utilisation de pesticides et d'engrais chimiques, dont l'utilisation excessive a conduit à la mort de nombreux organismes bénéfiques qui jouent un rôle important dans l'équilibre biologique et la fertilité des sols. Quant au cas humain, l'utilisation de pesticides chimiques nocifs a eu un grand impact sur sa santé. Elle a provoqué l'émergence de nombreuses maladies chroniques et mortelles telles que divers types de cancer, qui se sont récemment propagées dans le monde entier (Hashem, 2015).

La mise en place de nouvelles réglementations dans le domaine de la sécurité alimentaire a entraîné le retrait du marché de nombreuses substances actives synthétiques, compte tenu de leurs effets nocifs potentiels ou réels inacceptables sur la santé humaine et animale. L'annexe II du règlement CE n° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques a introduit les critères dits d'arrêt, qui interdisent directement de nombreuses substances utilisées comme pesticides. Cela s'applique, entre autres, aux substances cancérigènes, mutagènes, toxiques (pour la reproduction), perturbatrices endocriniennes et persistantes. Par conséquent, le monde est devenu obligé de retourner à la nature et de profiter de ses nombreux avantages d'où la notion de biopesticide (Hashem, 2015).

Un élément supplémentaire qui motive la recherche de nouveaux outils de lutte contre les ravageurs est l'évolution croissante de la résistance des populations de ravageurs aux pesticides actuellement utilisés. Ces composés devraient être remplacés par d'autres substances présentant des caractéristiques plus sûres. Des alternatives aux pesticides de synthèse retirés sont donc développées sous forme de produits naturels, à savoir les biopesticide. (Almalah, 2015). On s'attend à ce que les biopesticides constituent une bonne alternative à la protection des cultures par remplacer même partiellement les pesticides chimiques, d'autant plus que les biopesticide sont des produits de matières naturelles dont la plupart sont d'une d'origine végétale, microbienne ou animale. (Almallah, 2015), et répondant simultanément aux intérêts de l'agriculture, de la sylviculture, et des secteurs industriels, les biopesticides offrent un potentiel considérable d'utilisation dans l'agriculture durable. (Nollet et Singh Rathore, 2015).

Méthodologie:

Les biopesticides constituent un groupe moderne de pesticides qui ont de nombreuses spécifications uniques qui en font les pesticides les plus sûrs, les plus respectueux de l'environnement et les plus largement utilisés dans le domaine de l'agriculture biologique (Almallah, 2015). Cependant, les biopesticides peuvent se révéler dangereuses sous certaines conditions. Comme tout xénobiotique, leur utilisation n'est pas dépourvue de dangers et de risques. En effet, L'utilisation de biopesticides avec peu ou pas de connaissances professionnelles peut provoquer un déséquilibre écologique. (Ashishie1 et Ashishie2, 2018), Et pour que les biopesticides puissent agir longtemps après leur pulvérisation, il faut qu'ils adhèrent aux feuilles et aux plantes le plus longtemps possible. Cependant, il arrive que la pluie entraîne par lessivage une partie des biopesticides déposés sur les feuilles, diminuant ainsi leurs potentiels insecticides. Il est montré qu'une pluie de 3 cm peut réduire de 20% l'efficacité des biopesticides (Nadao, 2018)

Ce groupe de pesticides est devenu aujourd'hui le centre d'attention des travailleurs dans le domaine de la lutte contre les insectes nuisibles et des chercheurs qui travaillent jour et nuit afin d'évaluer ce groupe de pesticides et d'essayer d'identifier les faiblesses et les forces les plus importantes en eux afin de les améliorer et les développer pour parvenir à un contrôle sûr des insectes sur l'environnement et les humains (Almallah, 2015).

L'objectif de ce travail bibliographique est de rapporter des informations de la littérature scientifique relatives aux biopesticides tout en insistant sur leurs avantages dans l'agriculture moderne et leurs éventuels effets nocifs par rapports à la santé humaine et animale et par rapport à l'équilibre des écosystèmes.

Méthodologie:

I. Histoire des biopesticides

Les premiers pesticides étaient peut-être des composés tels que la poudre de soufre élémentaire, utilisée à Sumer il y a environ 4 500 ans. Les références à l'utilisation de dérivés de plantes ou de pesticides botaniques remontent à au moins 2000 ans en Égypte, en Grèce, en Chine et en Inde. Les références à 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 remontant à 4000 ans. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Alors que les pesticides à base de plantes sont susceptibles d'avoir été utilisés au cours de notre histoire, les toxines chimiques de notre histoire, les toxines chimiques telles que l'arsenic, le plomb et le mercure étaient utilisées depuis le 15^{ème} siècle environ. On trouve des traces de l'utilisation de biopesticides à partir du 17^{ème} siècle, avec l'utilisation de certains extraits de plantes pour lutter contre les parasites. Le sulfate de nicotine a été utilisé pour lutter contre le scarabée des prunes dès le XVII^{ème} siècle et, au XIX^{ème} siècle, des substances plus naturelles comme le pyrèthre et la roténone, dérivée des racines de légumes tropicaux. La roténone, qui est dérivée des racines de légumes tropicaux, sont devenues couramment utilisées.

Le premier pesticide biologique introduit en Europe était un Rodenticide à base de *Salmonella enterica* (Ratin) a été utilisé en Suède et dans d'autres pays européens en 1904. La découverte que les microbes causent des maladies, attribuée à *Agostino Bassi*, en 1835 (**Figure 01**), a conduit à l'idée d'utiliser des microbes pour lutter contre les insectes nuisibles. Proposée pour la première fois par Louis Pasteur, c'est en Russie dans les années 1890 que les premiers efforts ont été faits pour utiliser des champignons contre un hanneton du blé. Un biopesticide commercialisé, basé sur la bactérie insecticide *B. thuringiensis*, a été vendu en France en 1938 (Nollet et Singh Rathore, 2015).

Dans les années 1950, le développement de l'insecticide DDT et d'autres méthodes de lutte chimique a eu un effet néfaste sur le développement et l'utilisation d'options de lutte biologique contre les parasites et les maladies dans le monde. Ces pesticides chimiques étaient des moyens de lutte bon marché et efficaces contre de nombreux problèmes de parasites dans le monde. Ce n'est que lorsque l'émergence de preuves d'impacts négatifs sur l'environnement et de problèmes de toxicité pour les mammifères que les options biologiques sont redevenues intéressantes. Malgré l'antipathie croissante du

Méthodologie:

public pour les pesticides chimiques, ceux-ci dominant toujours le paysage actuel de la lutte contre les ravageurs, les mauvaises herbes et les maladies.

Les biopesticides suscitent un regain d'intérêt à mesure que la pression sur les méthodes de lutte chimique augmente. De nombreux pesticides chimiques synthétiques standards ont été retirés par les organismes de réglementation et les nouveaux produits synthétiques sont moins nombreux à apparaître sur le marché. Alors que le nombre (Nollet et Singh Rathore, 2015).

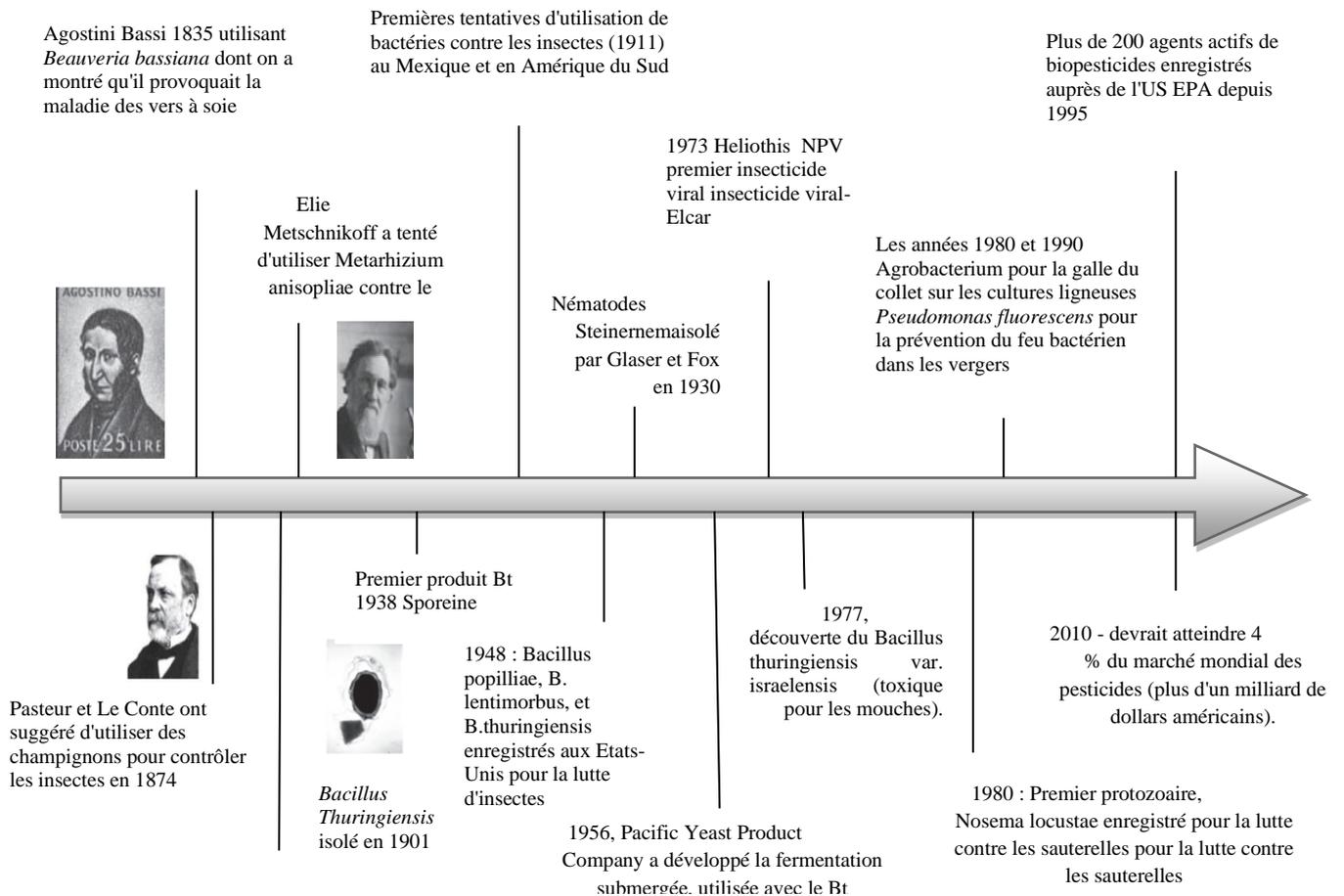


Figure 01 : Chronologie des événements importants dans le développement des biopesticides microbiens (Nollet et Singh Rathore, 2015).

Le nombre de biopesticides qui concurrencent les pesticides synthétiques actuels est relativement faible, mais la tendance est à l'augmentation, une tendance soutenue par la plupart des commentateurs et par les acquisitions récentes de petites entreprises de pesticides à base d'agents biologiques par des multinationales. Selon les estimations actuelles, plus de 1400 produits décrits comme des biopesticides sont vendus dans le monde (Nollet et Singh Rathore, 2015).

II. Définition

La biopesticide est une organismes vivants ou produits issus de ces organismes ayant la particularité de supprimer ou limiter les ennemis des cultures » sont utilisés depuis des siècles par les fermiers et paysans. De nos jours, ils sont classés en trois grandes catégories selon leur origine (microbienne, végétale ou animale) et présentent de nombreux avantages (**Figure 02**). Ils peuvent être aussi bien utilisés en agriculture conventionnelle qu'en agriculture biologique, certains permettent aux plantes de résister à des stress abiotiques et d'une manière générale, ils sont moins toxiques que leurs homologues chimiques. Même s'ils ont souvent la réputation d'être moins efficaces que ces derniers, les biopesticides sont l'objet d'un intérêt croissant de la part des exploitants, notamment dans le cadre de stratégies de lutte intégrée. La mise sur le marché des biopesticides est facilitée dans certaines régions comme les United States of American (USA), alors que dans d'autres pays de l'Europe de l'Ouest, les processus d'homologation sont longs et coûteux. Le développement futur des biopesticides est dépendant de nombreux facteurs, comme les politiques gouvernementales tant en matière de soutien à la recherche que de réglementation, les stratégies des grands industriels du secteur phytosanitaire et l'évolution des choix des consommateurs. Mots-clés. Biopesticides, lutte intégrée, réglementation. (Deravel et al., 2013)

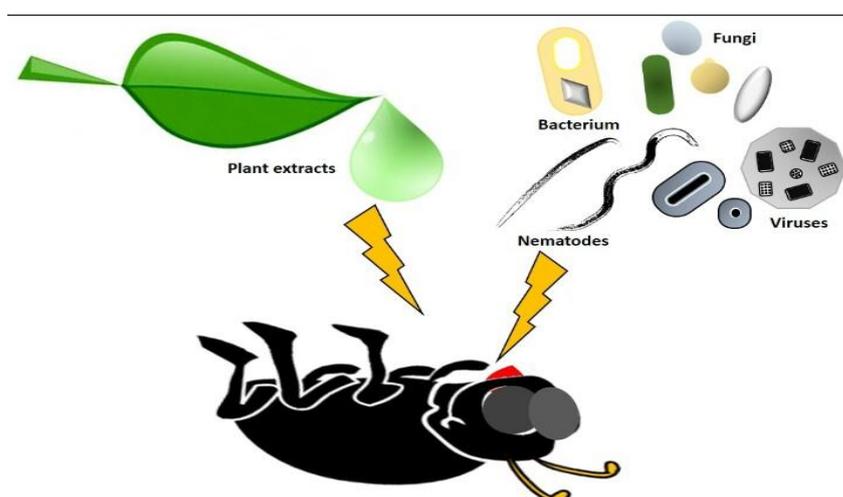


Figure 02: Origine des biopesticides (Graphique : Surendra Dara.)

III. Classification des biopesticides

Méthodologie:

Les biopesticides peuvent être classés en trois grandes catégories, selon leur nature : les biopesticides microbiens, les biopesticides végétaux et les biopesticides animaux (Deravel et al., 2013). Des exemples de biopesticides commercialisés, appartenant aux trois différentes catégories, sont présentés dans le **Tableau 01** (Deravel et al., 2013).

III.1. Biopesticides d'origine microbienne

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 (Deravel et al., 2013).

III.1.1. Bactéries

Les biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis* sont les plus commercialisés. Ils ont une action insecticide. *Bacillus thuringiensis* (**Figure 03**) 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. 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 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 (Deravel et al., 2013).

Tableau 1 : Quelques biopesticides commercialisés (Deravel et al., 2013)

Méthodologie:

	Catégorie	Type	Organisme	Produit commercial	Cible	Culture
Microbiens	Bactérie	Fongicide	<i>B. subtilis</i>	Serenade ®	Botrytis spp	Légumes, fruits
		Fongicide	<i>Bacillus subtilis</i>	HiStick ®	<i>Fusarium, Rhizoctonia, Apergillus.</i>	Soja, arachide
		Fongicide	<i>Bacillus licheniformis</i>	EcoGuard ®	<i>Sclerotinia spp,</i> anthracnose	Gazon
		Fongicide	<i>B. amyloliquefaciens.</i>	Taegro ®	Rhizoctonia, Fusarium	Arbustes, plantes ornementales.
		Fongicide	<i>Pseudomonas chlororaphis.</i>	Cerall ®	Tilletiacaries, Fusarium nivale, Septoria nodorum.	Blé
		Insecticide	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Rona Eco ®	Chenille, larves de lépidoptères.	Pelouse et jardin
		Insecticide	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Biobi ®DF	Lépidoptères	Vignes, arbres fruitiers, maraichage
	Virus	Insecticide	<i>Cydia pomonella granulosus virus</i>	Carpovirusine ®	Carpocapse (<i>Cydia pomonella</i>)	Pommiers, poiriers.
		Larvicide	<i>Helicoverpa zea</i> HzSNPV	Gemstar®	<i>Heliothis et Helicoverpa larvæ</i>	Maïs, cultures maraichères, coton, blé,...
		Larvicide	<i>Spodoptera exigua</i> nucleo-polyhedrosis virus	SpodX®	Larves de <i>Spodoptera exigua</i>	Cultures maraichères, pomme de terre, tabac, tournesol.
	Champignon	Fongicide	<i>Coniothyrium constans</i>	Constans® WG	clerotinia spp.	Endives
		Fongicide	<i>Trichoderma atroviride.</i>	Esquive® WG	<i>Eutipa lata</i>	Vignes
		Nématicide	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	BioAct® WG	<i>Meloidgyne spp, Rodopholus similis, Heterodera spp., Globodera spp., Protylechus spp.</i>	Cultures maraichères, bananiers
Bi Végétaux	Extrait végétal	Insecticide	<i>Chrysanthemum Cinerariaefolium</i>	Trounce®	Pucerons, cochenilles, aleurodes	Arbustes, plantation en serre, pépinières
		Insecticide	<i>Quassia amara</i>	Quassam®	<i>Hoplocampa testudinea</i>	Pommiers
		Insecticide	<i>Azadirachta indica</i>	TotalCare®	± 400 espèces d'insectes ravageurs	Toutes cultures
		Insecticide	<i>Brassica napus</i>	VegOil®	Pucerons et acariens	Maraichage, arbres fruitiers, plantes ornementales
Bi	Insecte	Insecticide	Acariens	Bioline®	Insectes, ravageurs	Cultures sous abris

Méthodologie:

		Insecticide	Coccinelle	Adaline b®	Pucerons	Cultures sous abris
	Sémio- chimiques issus	Lutte par confusion sexuelle	Phéromones naturelles de <i>Cydia pomonella</i>	Ginko®	<i>Cydia pomonella</i>	Vergers de pommiers, poiriers, noyers
	Nématode	Anti limace	Nématodes entomopathogènes	Bioslug®	<i>Derocecas reticulatum</i> , <i>Arion distinctus</i>	Légumes, fraises, plantes ornementales

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. *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 (Deravel et al., 2013).



Figure 03 : Cellules, spores et cristaux protéiques insecticides de *Bacillus thuringiensis* var (Adjallé, 2009).

Microscopie à contraste d'interférence différentielle (XI600). Image modifiée avec le logiciel Adobe Photoshop de Adode Systems Inc. (É.-u.).

III.1.2. Virus

Méthodologie:

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. 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. Les nucleopolyhedrovirus infectent les larves de lépidoptères selon un mode atypique (**Figure 04**). 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 (Deravel et al., 2013)

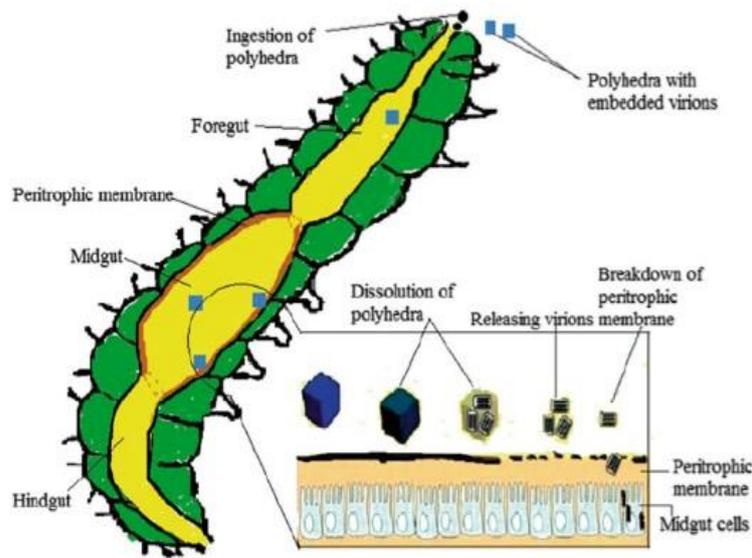


Figure 04 : Mode d'action des baculovirus contre les insectes lépidoptères (Senthil-Nathan, 2015)

III.1.3. 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* (**Figure 06**). 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* (**Figure 05**) est connu pour pénétrer dans les sclérotes 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 β -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 macrophelide A 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* (Deravel et al.,2013)

Méthodologie:

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. *Trichoderma* 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 (Deravel et al.,2013)

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. 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 œufs de nématodes en sécrétant des chitinases et protéases. Il peut également infester les nodules racinaires où se trouvent ces œufs. 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-desplantes/anti-nematicide/mode-operatoire/). (Deravel et al., 2013)



Figure 05 : *Coniothyrium Minitans.*

Figure 06 : *Sclerotinia.*

III.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 (**Figure 07**), un insecticide extrait des graines *d'Azadirachta indica*. Plusieurs molécules dont l'azadirachtine, la nimbidine, la nimbidinine, la solanine, le déacétylazadirchtinol et le méliantriol ont été identifiées comme biologiquement actives dans l'huile extraite des graines de neem. L'azadirachtine, un mélange de sept isomères de tétranortritarpiñoïde, est le principal ingrédient actif de cette huile et à la propriété de perturber la morphogénèse et le développement embryonnaire des insectes (Deravel et al., 2013)

D'autres extraits de plantes ont des activités insecticides ; ainsi, *Tanacetum* (*Chrysanthemum*) *cinerariaefolium*, plus communément appelé pyrèthre (**Figure 08**), est une plante herbacée vivace cultivée pour ses fleurs dont une poudre insecticide est extraite. Ses principes actifs, appelés pyréthrine, 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 pyréthroïdes de synthèse qui sont beaucoup plus stables que leurs homologues naturels. *Quassia amara* (**Figure 9**) 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. (Deravel et al., 2013)

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

Méthodologie:

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. 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 (Deravel et al., 2013).



Figure 07 : L'huile de Neem



Figure 08: Insecticide poudre au pyrèthre



Figure 9 : Quassia amara

III.3. Biopesticides d'origine animale

Ces biopesticides sont 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 (Deravel et al.,2013)

La coccinelle est l'insecte auxiliaire le plus connu (**Figure 11**). La coccinelle *Rodolia cardinalis* (**Figure 10**) prélevée en Australie est couramment utilisée comme prédateur de la cochenille *Icerya purchasi*. Même si elle a été introduite dès le 19e siècle en Californie pour enrayer la destruction des agrumes, les îles Galápagos n'ont autorisé son introduction qu'en 2002. Les effets des biopesticides d'origine animale et plus particulièrement des insectes auxiliaires sur la faune locale sont minutieusement étudiés avant leur utilisation. (Deravel et al.,2013)

Comme les coccinelles, les acariens utilisent la prédation pour se nourrir de certains insectes ravageurs des plantes. C'est l'activité parasitique des nématodes (**figure 13**) 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 (Deravel et al.,2013).

Méthodologie:

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. (Deravel et al.,2013).



Figure 10: Coccinelle *Rodolia cardinalis*



Figure 11 : Coccinelle

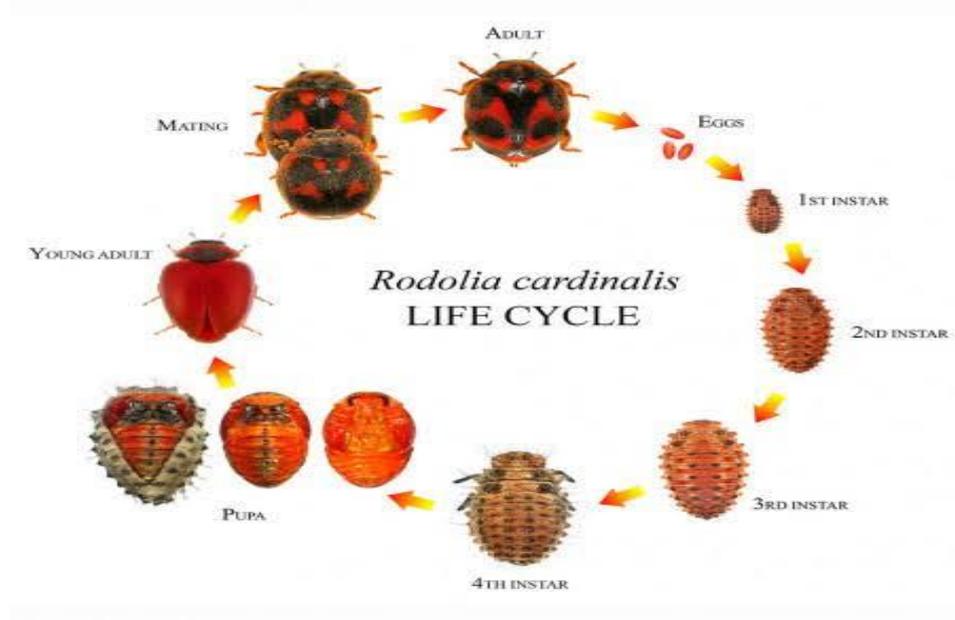


Figure 12 : Cycle de vie d'une coccinelle *Rodolia Cardinalis* (Villaverde et al., 2016)



Figure 13 : Nématodes

IV. Techniques d'extraction des biopesticides d'origine végétale

L'extraction végétale est la séparation ou l'isolement de substances chimiques particulières à partir d'un tissu végétal à l'aide de solvants sélectifs, selon diverses procédures. Ces techniques d'extraction séparent les métabolites solubles de la plante et laissent derrière elles le matériel cellulaire insoluble. L'extraction est une étape critique pour le maintien de la bioactivité des substances photochimiques. Les plantes produisent des mélanges complexes de nombreux métabolites, notamment des alcaloïdes, des glycosides, des terpénoïdes, des flavonoïdes et des lignanes. Diverses techniques de

Méthodologie:

fractionnement sont disponibles pour isoler une fraction ou un composé individuel à partir des extraits bruts. La qualité d'un extrait végétal est déterminée par les parties de la plante, les solvants d'extraction, les techniques d'extraction (technologie d'extraction) et le type d'équipement utilisé. Un certain nombre de méthodes sont disponibles pour l'extraction photochimique et le choix entre elles est déterminé par les propriétés physicochimiques et la stabilité des phytoconstituants à obtenir. Pour l'extraction des composés volatils tels que les huiles essentielles, les méthodes les plus simples sont l'hydrodistillation et la distillation à la vapeur, tandis que pour les composés non volatils, il s'agit de l'extraction par le froid, l'expression, la macération et l'extraction par solvant. De nos jours, des technologies d'extraction plus avancées sont disponibles, comme l'extraction par fluide supercritique. (Hassan et Gokce,2014)

IV.1. Macération

La macération est un moyen peu coûteux d'extraire les huiles essentielles et autres composés bioactifs. Cette technique d'extraction comporte plusieurs étapes :

- les matières végétales sont broyées en petites particules afin d'augmenter la surface pour un mélange optimal avec le solvant
- un solvant approprié est ajouté dans un récipient fermé
- le récipient est maintenu à température ambiante pendant au moins trois jours ou jusqu'à ce que la matière soluble soit dissoute (une agitation constante est souvent nécessaire)
- le liquide est filtré et le marc (la matière solide résiduelle) est pressé
- le liquide combiné est filtré. Pour augmenter l'efficacité du solvant, une chaleur douce peut être utilisée pendant le processus d'extraction si cela ne détruit pas les composés bioactifs. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte lors de l'extraction par macération :
- l'extraction continue à chaud doit être évitée lorsque les composés photochimiques sont sensibles aux hautes températures
- la sélection des solvants dépend de la solubilité des composés photochimiques visés
- le solvant utilisé peut être récupéré sous pression réduite pour minimiser les températures d'évaporation afin que les composés thermolabiles puissent être conservés
- pour une extraction à grande échelle, il est très important d'améliorer l'efficacité de l'extraction afin que le volume de solvant utilisé dans le processus puisse être minimisé

Méthodologie:

pour réduire le coût de l'évaporation du solvant. L'extraction circulaire est un exemple des procédures de macération améliorées.

Dans l'extraction circulaire, le solvant doit circuler en continu à travers les matériaux végétaux en le pompant depuis le fond du récipient (par une sortie), puis être distribué sur la surface des matériaux végétaux. (Hassan et Gokce, 2014)

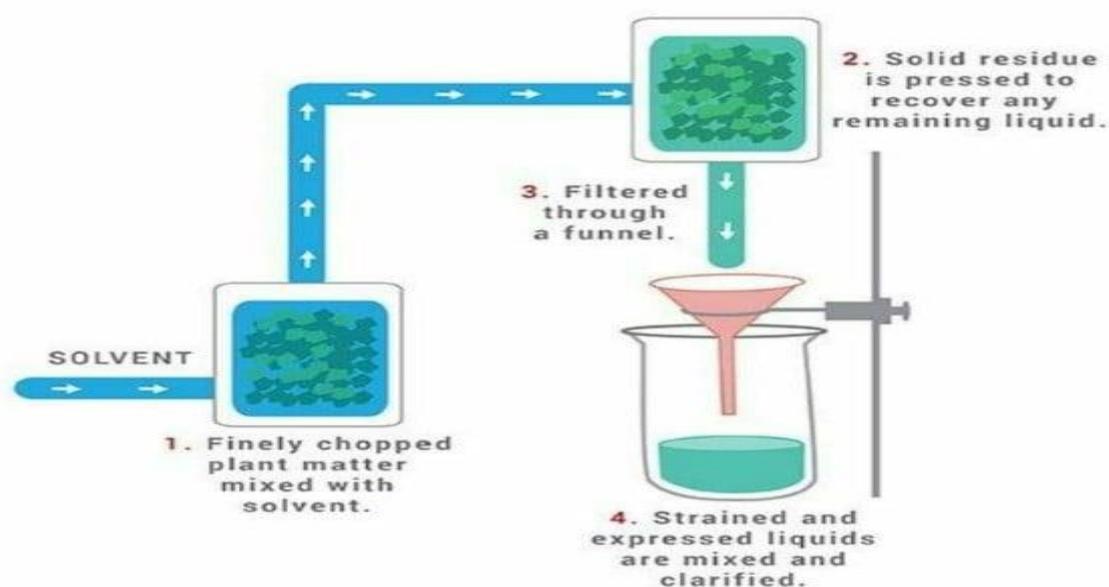


Figure 14 : technique de maturation

3.2. Hydrodistillation

L'hydrodistillation est une méthode courante pour isoler les huiles essentielles à partir de matières végétales. Il existe trois types d'hydrodistillation : la distillation à l'eau, la distillation à l'eau et à la vapeur et la distillation directe à la vapeur (Hassan et Gokce, 2014)

IV.2.1. Distillation de l'eau

Dans la distillation de l'eau, le matériel végétal est immergé dans l'eau à l'intérieur d'un compartiment d'alambic, puis l'eau est portée à ébullition en chauffant l'alambic par feu direct ou par d'autres moyens de chauffage. Ce procédé permet de libérer les

Méthodologie:

substances biochimiques végétales, en particulier les composés volatils (huiles essentielles), du tissu végétal. La vapeur est ensuite condensée par refroidissement indirect avec de l'eau. De là, le distillat passe par un séparateur pour séparer l'huile et l'eau de distillation. Les avantages de ce type de distillation sont les suivants :

- Il peut être utilisé pour des matières finement pulvérisées ou des matières végétales qui forment normalement des grumeaux au contact de la vapeur.
- les compartiments de l'alambic sont peu coûteux, faciles à construire et adaptés aux opérations sur le terrain.

Les inconvénients de la distillation de l'eau :

- Impossible de faire une extraction complète
- Certains produits chimiques peuvent être hydrolysés (certains esters) ou polymérisés (aldéhydes)
- Un plus grand nombre d'alambics est nécessaire
- Plus d'espace
- Plus de carburant
- Un processus lent.

Par conséquent, la distillation à l'eau n'est utilisée que lorsque les autres techniques d'hydrodistillation (distillation à l'eau et à la vapeur, et distillation directe à la vapeur) ne peuvent être utilisées. (Hassan et Gokce, 2014)

IV.2.2. Distillation de l'eau et de la vapeur

L'équipement utilisé pour la distillation à l'eau et à la vapeur est similaire à celui utilisé pour la distillation à l'eau. La différence est que dans la distillation à l'eau et à la vapeur, le matériel végétal est placé au-dessus de l'eau bouillante sur une grille perforée. Les avantages de cette méthode par rapport à la distillation à l'eau sont les suivants :

- produire un rendement plus élevé d'huile.
- moins sensible à l'hydrolyse et à la polymérisation.
- plus rapide.
- plus économe en énergie.

Méthodologie:

- Cependant, cette technique de distillation réduit la capacité de l'alambic.

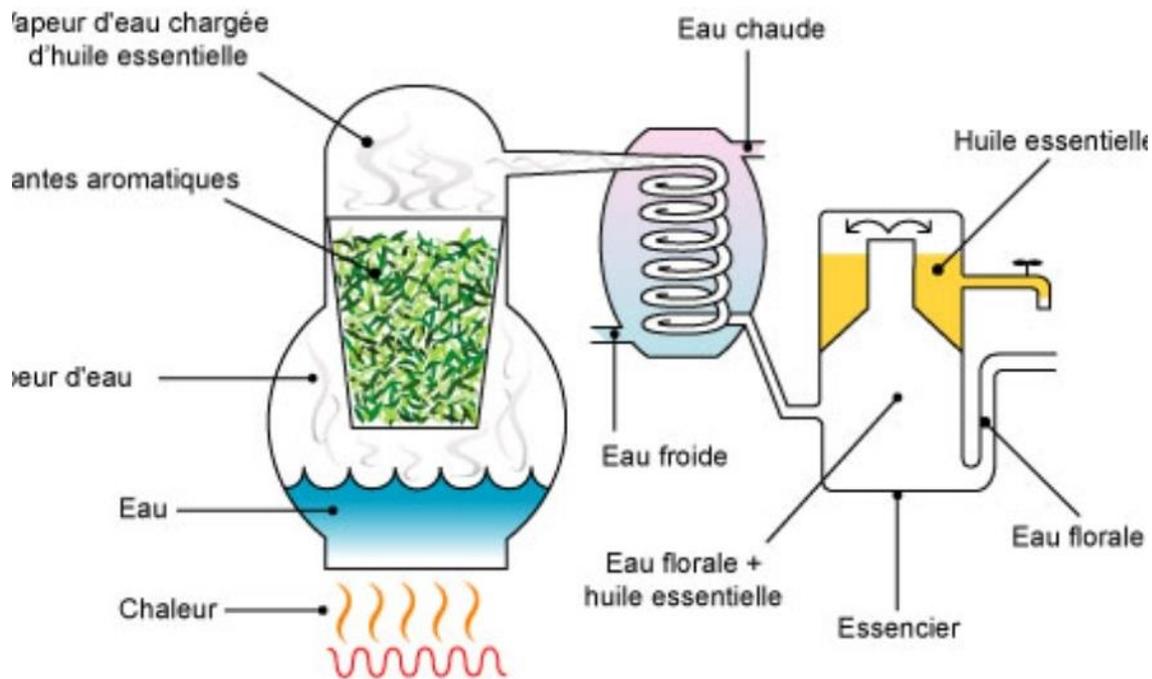


Figure 15: Technique distillation de l'eau et de la vapeur

IV.3. Distillation à vapeur directe

Dans la distillation à vapeur directe, la vapeur utilisée pour distiller les matières végétales est produite par une chaudière placée à l'extérieur de l'alambic. Les avantages de cette méthode de distillation est que la vapeur libérée peut facilement être contrôlée

La température générée ne dépassera pas 100°C, la dégradation thermique des substances photochimiques est donc moins susceptible de se produire. L'inconvénient est qu'elle est plus coûteuse à construire que les deux autres techniques de distillation. Cependant, comme elle permet une production d'huile à grande échelle, cette distillation est la plus largement acceptée. (Hassan et Gokce,2014)

IV.3. Expression

L'expression fait référence à un processus physique, généralement par une combinaison de broyage et de pressage, qui force le matériel végétal à libérer son huile. Cette méthode fonctionne bien pour les matières végétales qui contiennent une grande quantité d'huile, généralement les graines. L'huile de neem et de nombreuses huiles végétales peuvent être extraites par cette méthode. L'huile essentielle d'agrumes ou de citron peut également être extraite de la peau des fruits par expression. La méthode d'expression

Méthodologie:

génère souvent de la chaleur par friction qui peut endommager la qualité de l'huile. (Hassan et Gokce, 2014).



Figure 16 : technique d'expression

IV.4. Pressage à froid

Le pressage à froid est un type d'expression qui tente de maintenir la température pendant le processus aussi bas que possible afin de conserver la structure naturelle de l'huile et d'en préserver la qualité. Il n'y a toujours pas d'accord global sur la température maximale standard du pressage à froid. Certains suggèrent qu'elle ne devrait pas dépasser 27 °C, mais les autres ont une norme de pas plus de 49 °C. Dans cette méthode d'extraction, des presses en acier inoxydable sont généralement utilisées pour le pressage et le broyage. (Hassan et Gokce, 2014).

IV.5. Extraction continue à chaud (Soxhlet)

L'extraction par Soxhlet a été largement utilisée pour isoler les substances photochimiques. Les procédures générales sont décrites :

- une petite quantité de matériel végétal en poudre est placée dans un dé à coudre (un sac poreux), qui est placé dans une chambre désignée de l'appareil à Soxhlet
- Le solvant, placé dans un flacon en verre au fond de l'appareil à Soxhlet, est chauffé.

Méthodologie:

- La vapeur produite est alors condensée de sorte que le solvant s'égoutte dans le dé à coudre
- Lorsque la chambre du dé à coudre devient pleine, le solvant retourne dans le flacon de solvant

Le processus continue jusqu'à ce que le matériel végétal soit complètement extrait. (Hassan et Gokce, 2014).

IV.6. Extraction assistée par micro-ondes (MAE)

Dans l'extraction assistée par micro-ondes, le processus suivant se produit :

- Il y a un transfert direct de chaleur vers le matériel végétal qui provoque un chauffage instantané de l'humidité dans le solide
- L'humidité chauffée s'évapore et crée une pression de vapeur élevée
- Pression de vapeur brise les parois des cellules en libérant les huiles.

Les avantages de la MAE sont les suivants : dégradation thermique réduite, coût de traitement réduit, temps d'extraction réduit, consommation d'énergie beaucoup plus faible et utilisation de solvants beaucoup plus faible. (Hassan et Gokce,2014)

IV.7. Extraction par fluide supercritique

L'extraction par fluide supercritique (SFE) est une nouvelle alternative importante aux méthodes d'extraction conventionnelles telles que l'hydrodistillation et l'extraction par solvant organique. Cette nouvelle méthode d'extraction ne provoque pas d'hydrolyse ou de dégradation des composés thermolabiles, comme cela se produit souvent lors de l'hydrodistillation ou de l'extraction par solvant classique. Avec la SFE, il n'est pas nécessaire d'éliminer (évaporer) le solvant, ce qui est coûteux. Un fluide supercritique désigne toute substance se trouvant dans un stade où les phases distinctes liquide et gazeuse n'existent pas. Cela se produit lorsque la température et la pression de la substance sont supérieures à son point critique. Le CO₂ est le fluide supercritique le plus couramment utilisé. La température critique du CO₂ : est de 31°C et la pression critique est de 73,825 bars. Les avantages de l'extraction par fluide supercritique par rapport à l'extraction par liquide sont les suivants :

- Relativement rapide en raison des faibles viscosités et de la forte diffusivité

Méthodologie:

➤ Facilement récupérable car le fluide supercritique peut retourner en phase gazeuse (s'évaporer) par simple dépressurisation (il ne restera que peu ou pas de résidus de solvant).

Le principal inconvénient est que le coût d'investissement de l'EFS est plus élevé que celui de la technique traditionnelle d'extraction atmosphérique. Autre inconvénient, le dioxyde de carbone est peu polaire, ce qui le rend idéal pour les substances non polaires ; toutefois, cette limitation a été corrigée par l'utilisation de modificateurs chimiques permettant d'augmenter la polarité. Les modificateurs courants sont les alcools (1-10% du fluide supercritique) qui permettent aux mélanges de dissoudre des composés plus polaires. Le SFE est applicable à l'extraction de substances phytochimiques importantes telles que les pyréthrine, les azadirachtine, la roténone, ainsi que les huiles essentielles. (Hassan et Gokce,2014)

IV.8. Extraction par liquide sous pression (ELP)

L'extraction par liquide sous pression ou ELP est une nouvelle méthode d'extraction réalisée à température et pression élevées. Cette méthode a été rapportée pour la première fois par (Richter et al). La technique de l'ELP permet de réduire la consommation de temps et de solvant par rapport à l'extraction traditionnelle par solvant. L'ELP est également considérée comme une alternative potentielle à l'extraction par fluide supercritique pour l'extraction de composés polaires. Une étude menée par Sae-Yun et al. a révélé que l'ELP avait une efficacité d'extraction supérieure pour l'extraction de la roténone (de *Derris elliptica* Benth et *Derris malaccensis* Prain) par rapport à la méthode de macération traditionnelle. En outre, la ELP a réduit le temps et la consommation de solvant pendant l'extraction, passant de 72 h et 10 ml/g d'échantillon sec en macération à seulement 30 min et 3 ml/g d'échantillon sec. (Hassan et Gokce,2014)

IV.9. Extraction assistée par enzymes (EAE)

L'extraction assistée par enzymes (EAE) peut être utilisée pour extraire les huiles des parties de plantes telles que les graines. La cellulase, l'amylase et la pectinase sont parmi les enzymes les plus fréquemment utilisées pour l'extraction des huiles. Deux approches communes sont disponibles pour cette méthode d'extraction, à savoir l'extraction aqueuse assistée par enzymes (EAAE) et la pression à froid assistée par enzymes (EACP). Dans l'EAAE, les enzymes aident à dégrader les parois cellulaires des graines et à rompre le colloïde polysaccharide-protéine ; cependant, dans l'EACP, les enzymes ne font que faciliter l'hydrolyse. On sait peu de choses sur l'utilisation de l'extraction enzymatique

Méthodologie:

assistée pour les substances photochimiques ayant des propriétés antiparasitaires. Cependant, cette méthode d'extraction devrait jouer un rôle dans un avenir proche car de nombreuses huiles végétales et essentielles sont actuellement utilisées comme biopesticides. Plusieurs études ont révélé que la méthode d'extraction assistée par voie enzymatique peut augmenter le rendement de l'huile avec peu de changement sur la qualité. (Hassan et Gokce, 2014).

V. Métabolisme des biopesticides

Le métabolisme désigne les réactions chimiques qui ont lieu dans les organismes vivants. Ces réactions impliquent la conversion d'une molécule en une autre molécule via une voie définie. Le métabolisme peut être catabolique, c'est-à-dire qu'un composé est décomposé, généralement par des enzymes, pour produire de l'énergie et d'autres molécules essentielles nécessaires à d'autres processus biologiques. Il peut également être anabolique, lorsque des molécules plus petites réagissent pour donner des molécules plus grandes. Il est important de noter que ces deux processus, l'anabolisme et le catabolisme, sont interdépendants car les produits du catabolisme sont utilisés comme intermédiaires dans l'anabolisme. Ainsi, l'importance majeure du métabolisme est qu'il fournit l'énergie et la matière première nécessaires aux différents processus biologiques. Les processus métaboliques xénobiotiques impliquent deux voies principales appelées réactions de phase I et de phase II. Une réaction de phase I implique l'introduction d'un groupe polaire sur des molécules toxiques lipophiles. Par conséquent, le produit d'une réaction de phase I est généralement plus soluble dans l'eau que l'espèce mère. Les exemples de réactions de phase I comprennent l'hydroxylation, la N-oxydation et la désamination. Le tableau 3.2 résume certaines des réactions de phase I et de phase II dans le métabolisme des xénobiotiques, les enzymes impliquées et les réactions typiques. Les réactions de phase II impliquent des réactions de conjugaison telles que l'addition d'acide glucuronique, d'acides aminés, de sulfate, d'acétate. Les réactions de phase I et de phase II atténuent la toxicité des substances toxiques, tout en permettant l'excrétion des métabolites hydrosolubles par les voies d'excrétion normales de l'organisme. Cependant, certains toxiques inhibent les enzymes qui effectuent les réactions de phase I et de phase II, augmentant ainsi la toxicité de ces substances. En résumé, le métabolisme peut entraîner une augmentation ou une diminution de la toxicité du produit en fonction de la voie métabolique suivie. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Méthodologie:

Pour mieux comprendre le métabolisme des biopesticides chez les plantes ou les animaux, il faut planifier soigneusement les études. Dans la plupart des cas, le processus commence par le radiomarquage de l'ingrédient actif à l'aide de l'isotope ^{14}C . Cependant, d'autres isotopes tels que le ^3H peuvent également être utilisés. Les composés radiomarqués parents et les métabolites sont extraits de la matrice d'intérêt et analysés à l'aide de la chromatographie liquide à haute pression pour séparer les extrait, couplés à des détecteurs radio pour détecter la fraction contenant le parent radiomarqué ou ses métabolites, et de la spectrométrie de masse pour caractériser les métabolites dans une fraction particulière par la masse. La tendance actuelle est de passer des méthodes d'extraction traditionnelles, qui consomment plus de ressources, aux méthodes les plus récentes, qui consomment moins de ressources. En outre, une évolution importante est le passage de l'utilisation de détecteurs sélectifs tels que les détecteurs de fluorescence aux spectromètres de masse qui fournissent de meilleurs détails sur les structures des métabolites. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Tableau 02 : Réaction phase I et de phase II du métabolisme des Xénobiotiques

Réaction	Exemple pour les réactions	Enzymes responsable
Oxidation	Cytochrome P450 monooxygénase	$\text{RH} + \text{NADPH} + \text{H}^+ + \text{O}_2 \rightarrow \text{ROH} + \text{NADP} + \text{H}_2\text{O}$
Reduction	Aldéhydes et cétone	$\text{HO} + \text{NADPH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{RCH}_2\text{OH} + \text{NADP}$
Conjugation	UDP glucuronyle transférases	$\text{ROH} + \text{UDP glucuronic acid} \rightarrow \text{ROH glucuronide} + \text{UTP}$

V.1. Métabolisme de la thuringiensine.

La thuringiensine est un insecticide produit par le *B. thuringiensis*. Elle inhibe la production de l'ARN polymérase et donc la production de l'ARN ribosomal. Pour que l'insecticide soit efficace contre l'insecte cible, il doit d'abord être absorbé par la plante, puis transloqué vers les parties qui sont mangées par l'insecte.

Dans une étude de Mersie et Singh, on n'a pas observé de dégradation de la thuringiensine dans le maïs après traitement. Dans une étude distincte menée par le même groupe de recherche, le métabolisme de la thuringiensine radiomarquée a été étudié dans la pomme de terre dans des conditions contrôlées sans qu'aucun métabolite observable ne soit

Méthodologie:

détecté ; aucun métabolisme n'a donc été observé. Pour confirmer ces résultats, une étude similaire a été réalisée sur des haricots mange-tout, et il a été observé que le taux d'absorption et donc le métabolisme étaient minimes. Cela explique également la forte persistance de la thuringiensine dans des plantes telles que le coton. Cependant, chez les animaux, tels que les tordeuses du tabac, le métabolisme de la thuringiensine se produit par un processus de déphosphorylation qui est facilité par l'enzyme phosphatase dans des conditions acides, qui ne sont pas présentes dans les systèmes végétaux. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

V.2. Métabolisme des souches de Trichoderma.

Bien que des travaux considérables aient été réalisés sur le métabolisme des souches de Trichoderma, des progrès significatifs ont été réalisés sur les métabolites secondaires des souches. Les métabolites secondaires ont été classés en fonction de la voie d'accès. Les métabolites secondaires non liés à l'acétate et ceux du cycle de l'acide tricarboxylique en sont de bons exemples. Les autres sont regroupés en fonction de leurs classes chimiques, comme les acides gras, les polykétides et les composés hétérocycliques oxygénés, entre autres. Par exemple, l'harziandone, un diterpène, a été isolé de *T. harzianum*. En général, la plupart des souches de Trichoderma sont dérivées en utilisant le cycle de l'acide tricarboxylique. De plus, en fonction de la voie métabolique empruntée, les différents métabolites auront des activités biologiques différentes. Cependant, comme les souches de Trichoderma sont facilement métabolisées, même par des mécanismes différents, cela peut suggérer une faible toxicité. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

V.3. Métabolites des spinosynes

Les spinosynes sont une classe de nouveaux insecticides produits à partir de la fermentation aérobie de *Saccharopolyspora spinosa*. Le principal insecticide est le spinosad, qui est composé de deux éléments principaux, le spinosyn A et le spinosyn D. Ils sont très efficaces contre de nombreux insectes (Nollet et Singh Rathore, 2015)

V.3.1. Métabolisme dans les plantes

Le métabolisme des spinosynes a été étudié dans différentes plantes telles que les pommes, les tomates, le coton et le raisin. Plusieurs facteurs tels que la photolyse et la translocation ont été étudiés. Il a été observé que dans les pommes, la spinosyn A et la spinosyn D étaient principalement dégradées par photolyse, et que la translocation ne jouait pas un rôle majeur dans le métabolisme du spinosad. Des études sur les graines de

Méthodologie:

coton, les choux et les raisins ont montré que la spinosyn A et la spinosyn D se dégradent au soleil pour donner des métabolites hautement polaires. La voie métabolique dans les plantes comprend une dégradation rapide du composé à la lumière, suivie d'une désalkylation des sucres, d'une modification de la structure de la furosamine et enfin de la perte totale du 2,3,4-tri-O-méthyl rhamnose. Les spinosynes subissent un clivage macrolide pour former de petits fragments qui font partie des constituants de la plante. (Nollet et Singh Rathore, 2015).

5.3.2. Métabolisme chez les animaux

Des études de métabolisme ont été réalisées chez différents animaux tels que des rats, des chèvres et des poules. Les concentrations les plus élevées de spinetoram ont été trouvées dans le tractus gastro-intestinal, le foie et les graisses. Pour le spinosad, les concentrations les plus élevées ont été trouvées dans le foie, les reins et la thyroïde. Les voies métaboliques comprenaient des réactions de phase I et de phase II. Chez les rats, la voie comprenait la conjugaison du glutathion et la conjugaison de la cystéine du composé parent. Chez les animaux d'élevage, les recherches ont suggéré que pour le spinosad et le spinetoram, la voie était une désalkylation globale.

Plusieurs études ont été menées sur des chèvres en lactation, l'une recevant une dose de spinosyn A et l'autre une dose de spinosyn D. Le lait et les excréments ont été collectés et les chèvres sacrifiées dans la journée. Des échantillons de tissus ont été analysés. La spinosyn A et la spinosyn D étaient toutes deux prédominantes dans les tissus et le lait, et certains métabolites ont été identifiés mais n'ont pas été caractérisés. La voie métabolique s'est faite par hydroxylation de l'anneau macrolide. La (**Figure 17**) résume la voie métabolique chez la chèvre en montrant tous les principaux métabolites et les voies empruntées dans le métabolisme. Chez les poules, les résidus ont été déterminés dans les tissus, les œufs et les fèces. Les oiseaux ont été sacrifiés dans la journée et l'analyse des échantillons a été effectuée. Les plus grandes quantités de résidus ont été trouvées dans la graisse, dont le composé parent était prédominant. Le métabolisme a lieu dans le foie par N-déméthylation, O-déméthylation et perte de la partie sucre de la furosamine. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

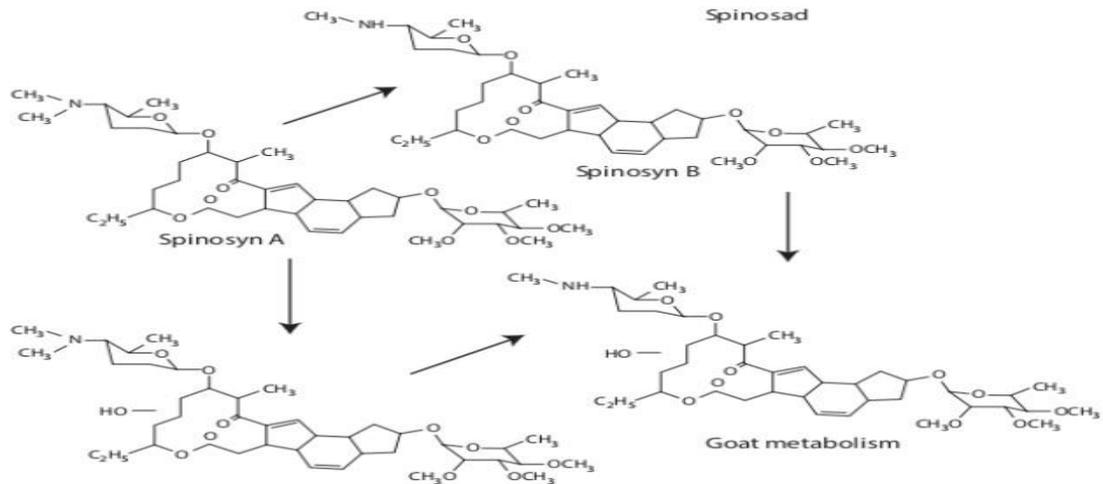


Figure 17: Métabolisme des spinosynes chez la chèvre (Nollet et Singh Rathore, 2015).

V.4. Métabolisme des fongicides à base de strobilurine

Les strobilurines sont des biopesticides naturels identifiés et isolés à partir du champignon *Strobilurus tenacellus*. Le pionnier dans ce domaine est Anke, qui a isolé la strobilurine A à partir de cultures liquides du champignon *Strobilurus tenacellus*. À la suite de son étude, de nombreux autres composés apparentés à la strobilurine ont été découverts. Ceux-ci sont connus sous les noms de strobilurine B, strobilurine C, strobilurine D, et ainsi de suite. En outre, plusieurs autres fongicides synthétiques ont été développés, comme l'azoxystrobine. En général, les fongicides à base de strobilurine ont une action protectrice, curative et éradicatrice. Cependant, c'est lors de la germination des spores qu'ils sont très efficaces. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

La littérature sur le métabolisme des fongicides de type strobilurine est limitée. De nombreux exemples de métabolisme s'attardent sur l'azoxystrobine, le kresoxim méthyl et la trifloxystrobine. Il est donc nécessaire d'approfondir les recherches sur les voies métaboliques des autres fongicides à base de strobilurine, notamment les fongicides naturels. Leur voie métabolique la plus importante est l'hydrolyse de l'ester méthylique. Cependant, d'autres voies de réaction telles que l'hydroxylation du cycle aromatique peuvent se produire. Elles sont illustrées dans la (Figur 18). (Nollet et Singh Rathore, 2015)

V.4.1. Métabolisme dans les plantes

Méthodologie:

Dans les plantes, l'azoxystrobine est métabolisée de manière biotique et abiotique pour donner 17 métabolites, le principal métabolite étant le cyanophénoxyypyrimidinol formé par clivage de la liaison éther. Ce produit est facilement converti en un conjugué N-glucoside. La **(Figure 19)** montre un schéma détaillé de la voie empruntée au cours du métabolisme de l'azoxystrobine dans les plantes. Dans une étude plus récente, le métabolisme des trois strobulines synthétiques a été étudié dans des cultures de suspension cellulaire de blé. La voie métabolique de la trifloxystrobine s'est déroulée par déméthylation suivie d'une hydroxylation, tandis que celle de la krésoxyméthyl s'est déroulée en grande partie par déméthylation. Les taux métaboliques dépendaient des quantités de composés et de cellules ajoutées au milieu. De plus, il a été observé que le taux métabolique de la trifloxystrobine et du krésoximéthyle était plus rapide que celui de l'azoxystrobine. (Nollet et Singh Rathore, 2015).

V.4.2. Métabolisme chez les animaux et dans le sol :

Chez les animaux, le métabolisme de l'azoxystrobine est rapide, de même que son excrétion. La voie métabolique était presque similaire à celle des plantes. La principale différence réside dans la conjugaison des cycles aromatiques hydroxylés. Chez les plantes, elle se faisait avec le glucose alors que chez les animaux, elle se faisait avec l'acide mercapturique. Le principal métabolite chez les mammifères était l'acide carboxylique de l'azoxystrobine, qui était ensuite converti en glucuronide pour être excrété. En outre, dans l'eau, le métabolisme de la 14C-azoxystrobine a également donné le même métabolite, l'acide azoxystrobine.

Dans le sol, le principal métabolite de l'azoxystrobine était l'acide azoxystrobine carboxylique. Les voies métaboliques de la krésoximéthyl et de la trifloxystrobine étaient similaires à celles de l'azoxystrobine dans le sol, les plantes et les mammifères. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

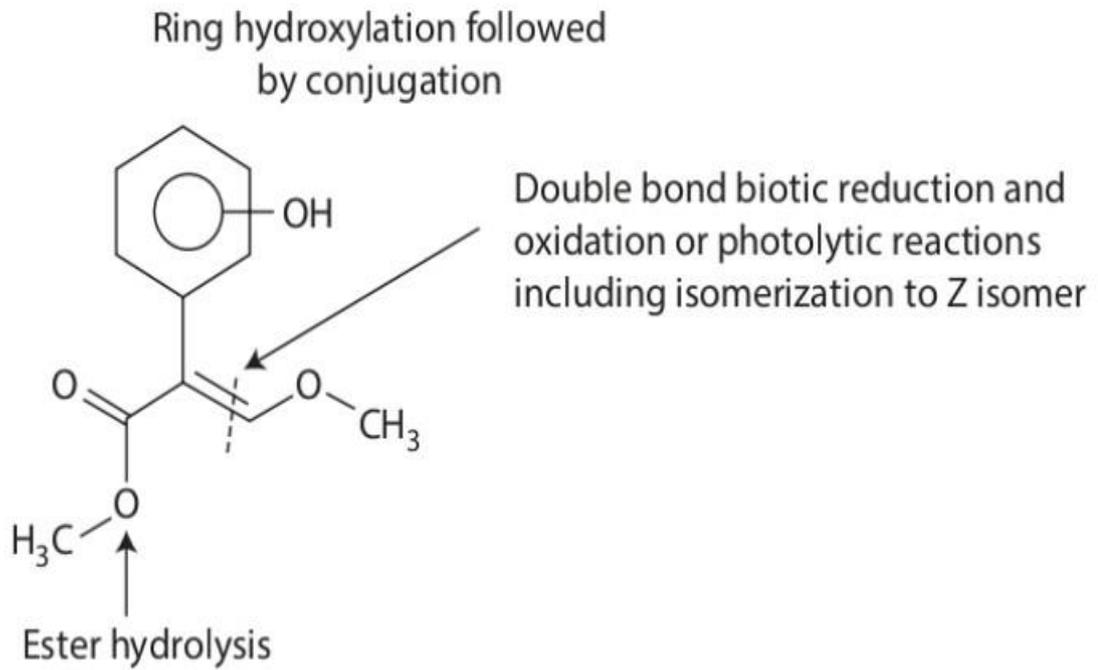


Figure 18 : Voies de dégradation de base des strobilurines. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

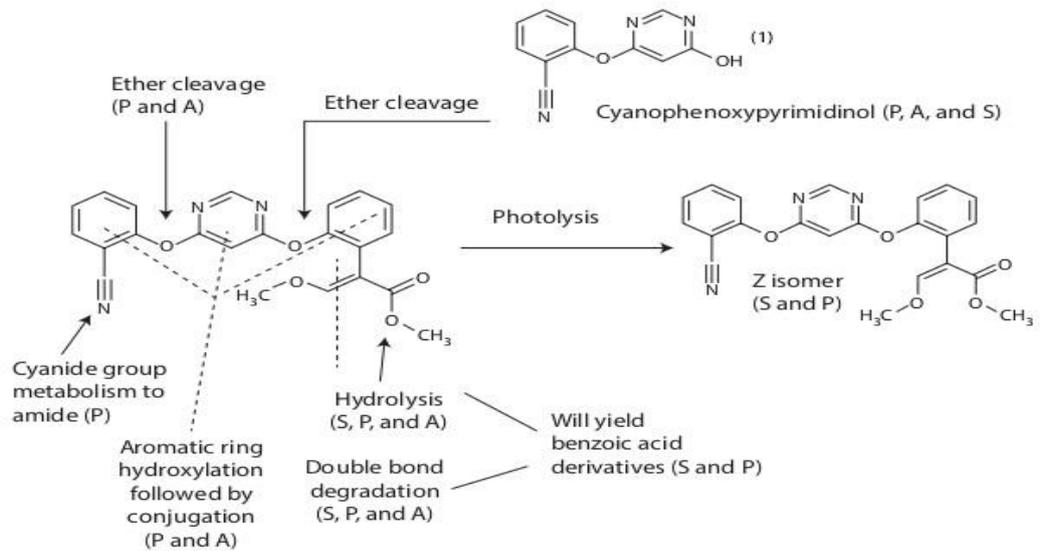


Figure 19 : Métabolisme de l'azoxystrobine (Nollet et Singh Rathore, 2015)

V.5. Métabolisme des biopesticides d'origine végétale

Méthodologie:

Les pesticides d'origine végétale sont mieux connus sous le nom de biopesticides botaniques. Les principaux biopesticides botaniques sont le pyrèthre, la roténone, le neem et d'autres huiles essentielles. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

V.5.1. Métabolisme de Pyrèthre

Le pyrèthre est extrait des fleurs séchées de la plante *Tanacetum cinerariae folium*. Les pyréthrinines les plus courantes sont la pyréthrine I et la pyréthrine II. Cependant, il peut y avoir d'autres pyréthrinines comme la cinérine I et II, la jasmoline I et II. Les pyréthrinines sont principalement utilisées comme insecticides et, à ce titre, elles produisent un effet d'abattement rapide sur les insectes volants tels que les moustiques et les mouches. Elles ne sont pas seulement utilisées sur les insectes volants, mais aussi comme agents de protection des céréales et pour lutter contre les poux et les puces chez les volailles et les chiens. Ils agissent en bloquant les canaux sodiques dans les axones des nerfs.

Métabolisme chez les animaux Les pyréthrinines, qui sont l'un des insecticides les plus couramment utilisés, ont fait l'objet de recherches sur divers aspects tels que la chimie des résidus et le métabolisme. Plusieurs études sur leur métabolisme chez les mammifères et chez certains insectes ont été réalisées. En général, chez certains animaux comme les mammifères, on a constaté que leur métabolisme était très rapide, d'où leur faible toxicité pour ces animaux. En revanche, chez les insectes, où ils produisent un effet d'abattement rapide, le taux de toxicité est plus élevé en raison d'un métabolisme plus lent.

Pour confirmer la faible toxicité des pyréthroïdes chez les mammifères, une étude a été menée sur le métabolisme de la pyréthrine I, de la pyréthrine II et de l'alléthrine. L'étude a confirmé les résultats de Yamamoto et al. selon lesquels les voies métaboliques s'effectuent par oxydation des fragments alcool et acide de la pyréthrine I et de l'alléthrine. En outre, l'hydrolyse minimale des groupes esters méthyliques chez les mammifères constitue également une autre voie métabolique. L'étude a conclu qu'en raison des réactions métaboliques sur de nombreux sites de pyréthrine, il était plutôt improbable qu'ils restent dans le système des mammifères, d'où la faible toxicité. De plus, une quantité importante de la dose administrée de pyréthrine II et I présente dans l'urine n'a pas été métabolisée, ce qui contribue également à sa faible toxicité.

Une étude similaire visant à confirmer la voie métabolique des pyréthrinines a été réalisée chez l'homme, et les résultats ont prouvé que le métabolisme des pyréthrinines, tout

Méthodologie:

comme chez les autres mammifères, se produit par hydrolyse et oxydation des fragments alcool et acide. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

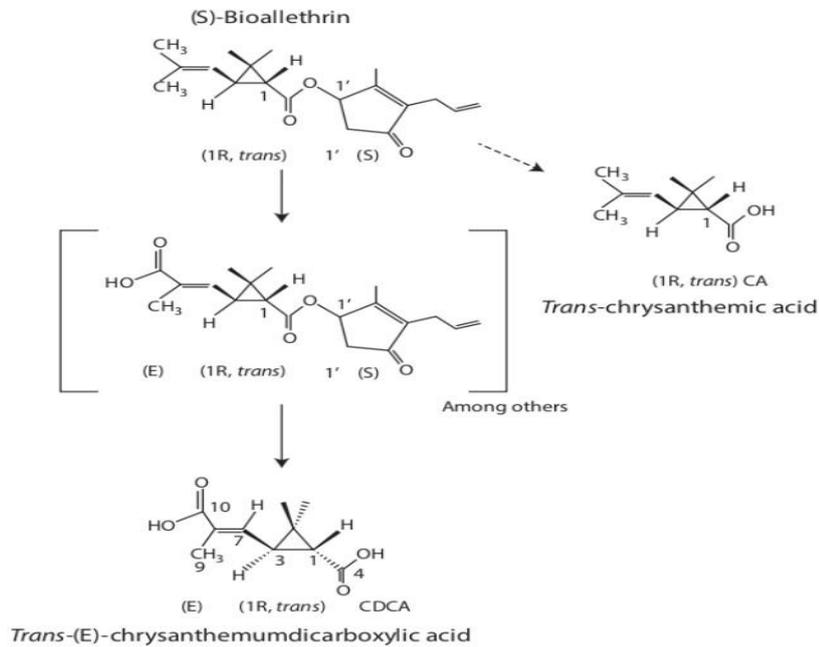


Figure 20 : Bio-oxydation de la fraction isobutényle dans la voie métabolique provisoire de la (S)-bioalléthrine chez l'homme ((Nollet et Singh Rathore, 2015).

Cependant, dans une étude plus récente visant à comparer le métabolisme de six pyréthrine dans les microsomes de souris et de rat, on a découvert que la sélectivité pour l'oxydation était plus grande à certains sites que d'autres dans les microsomes de rat que dans les microsomes de souris pour l'alléthrine. De plus, avec la cinérine I et la jasmoline I, on observe une hydroxylation considérable des groupes méthyle et méthylène.

Des études sur le métabolisme des pyréthrine dans les plantes ont été réalisées sur des cultures en cours de stockage. L'objectif de ces recherches était de déterminer les facteurs affectant la dégradation des pyréthrine naturelles dans les cultures entreposées. Il a été conclu que la température jouait un rôle majeur dans la dégradation des pyréthrine naturelles dans les cultures stockées. Contrairement à d'autres études antérieures, l'humidité et l'oxygène n'ont pas contribué à la dégradation des pyréthrine. (Nollet et Singh Rathore, 2015).

V.5.1. Métabolisme de Pyrèthre Roténone

Méthodologie:

La roténone est également l'un des principaux pesticides naturels qui ont des fonctions insecticides et acaricides. Elle contrôle les insectes tels que les poux et les tiques. La roténone arrête la respiration dans les mitochondries en bloquant la fonction NADH de la chaîne respiratoire. Le degré de toxicité de la roténone dépend de l'organisme ; c'est-à-dire qu'elle est extrêmement toxique pour les insectes, mais modérément toxique pour les mammifères. Apparemment, la toxicité de la roténone est liée au taux de métabolisme des organismes vivants. Ceci a été confirmé par une étude réalisée par Fukami et al. Des études de métabolisme ont été réalisées *in vitro* et *in vivo* sur des rats, des mouches domestiques et des cafards. Les principales voies métaboliques étaient l'hydroxylation pour obtenir les roténolones et l'oxydation pour obtenir la 8-hydroxy roténone. Les voies métaboliques étaient similaires dans tous les organismes étudiés. En outre, l'activité biologique des métabolites différait, certains étant plus toxiques pour les rats que d'autres. Ils ont conclu que la détoxification de la roténone dans les organismes était facilitée par sa grande spécificité lorsqu'elle inhibe des enzymes telles que la NADH oxydase. Ainsi, dans les systèmes où cette enzyme est présente, il y a forcément un métabolisme plus important et donc une toxicité moindre que dans les systèmes où elle est absente. (Nollet et Singh Rathore, 2015).

VI. Mode d'action de biopesticides spécifiques

IV.1. Biopesticides bactériens

Il s'agit de la forme la plus courante de pesticides microbiens. Généralement utilisés comme insecticides, ils peuvent servir à lutter contre des bactéries, des champignons ou des virus indésirables. Lorsqu'ils sont utilisés comme insecticides, ils agissent explicitement sur des espèces spécifiques de papillons de nuit, papillons, coléoptères, mouches, moustiques, etc. Pour être efficaces, il est essentiel que ces biopesticides entrent en contact avec le ravageur cible et soient ingérés. Les sous-espèces et souches de *Bacillus thuringiensis* représentent près de 90 % du marché des biopesticides et sont les pesticides microbiens les plus utilisés. Une souche spécifique de *B. thuringiensis* produit un mélange spécifique de protéines qui ciblent une espèce spécifique de larve d'insecte. Lorsqu'il est ingéré par les larves d'insectes, le *B. thuringiensis* libère des endotoxines (protéines) qui se fixent à la paroi intestinale de l'intestin moyen, créant des pores, paralysant ainsi le système digestif et provoquant finalement la mort de l'insecte, comme le montre la (**figure**

Méthodologie:

21). *B. thuringiensis* est surtout utilisé pour lutter contre les parasites lépidoptères qui causent le plus de dégâts aux cultures, notamment les papillons de nuit et les papillons de jour. *B. thuringiensis* 27, une souche spécifique de *B. thuringiensis*, est utilisé pour lutter contre un large éventail de parasites différents tels que certaines espèces de moustiques, de coléoptères et de mouches. Jusqu'à présent, environ 500 à 600 souches de *B. thuringiensis* ont été identifiées et environ 525 types différents d'insectes ont été trouvés infectés par les toxines de Bt. Les endotoxines de *B. thuringiensis* sont couramment utilisées dans la technologie de recombinaison de l'ADN pour modifier génétiquement et créer des variétés de cultures résistantes aux parasites. Les *Pasteuria* spp. sont utilisées pour lutter contre les nématodes qui causent des dommages importants aux cultures agricoles en se nourrissant des racines des plantes. Ces bactéries sont des parasites obligatoires qui ont besoin d'un hôte spécifique pour accomplir leur cycle de vie. Ce sont des bactéries à Gram positif, formant des endospores, qui parasitent les nématodes, se reproduisent à l'intérieur d'eux, ce qui entraîne leur mort. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Présent naturellement dans le sol et les plantes, *B. thuringiensis* produit une protéine cristalline qui est toxique pour certains insectes. De nombreuses souches de *B. thuringiensis* sont utilisées principalement pour lutter contre les larves d'insectes appartenant à l'ordre des lépidoptères (papillons de nuit et papillons) et sont de plus en plus utilisées pour lutter contre les moustiques. *B. thuringiensis* est le plus souvent appliqué, sous forme de spray, sur la face inférieure du feuillage en tant que

Méthodologie:

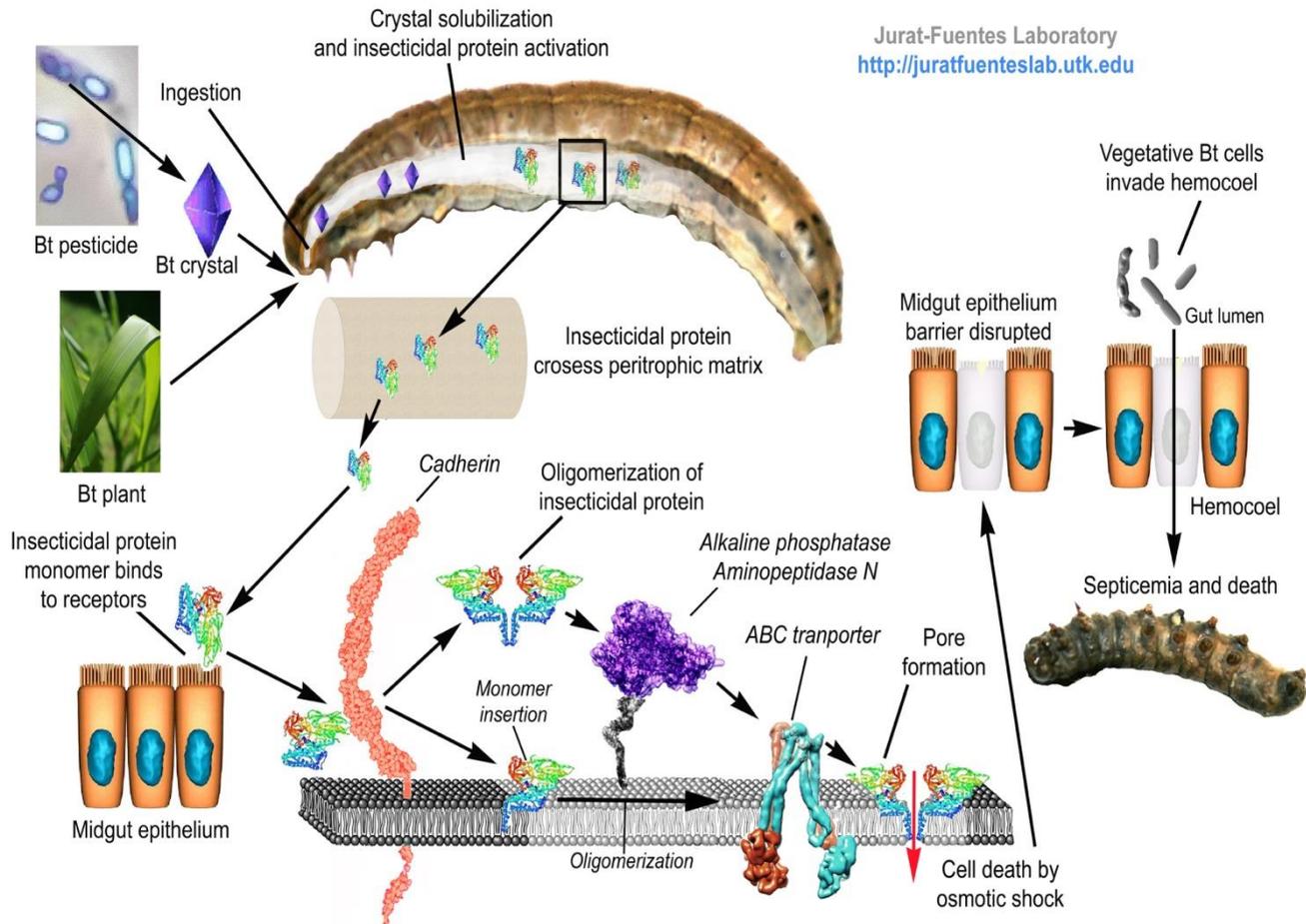


Figure 21: Mode d'action du *B. thuringiensis* (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Les larves se nourrissent essentiellement dans cette région. Il faut veiller à appliquer le *B. thuringiensis* à l'abri de la lumière directe du soleil, car il perdra son efficacité du fait qu'il a tendance à se décomposer facilement en présence de la lumière du soleil. Sur le plan commercial, le *B. thuringiensis* a été mis à disposition en tant que biopesticide il y a environ 100 ans, mais son utilisation s'est généralisée depuis les années 1980, lorsque les cultures génétiquement modifiées ont été développées en utilisant les toxines *B. thuringiensis* via la technologie de recombinaison de l'ADN. Malheureusement, l'utilisation excessive de la toxine *B. thuringiensis* a conduit à des rapports récents selon lesquels certains insectes ont développé une résistance au *B. thuringiensis* et à son mode d'action spécifique. Il est impératif que les chercheurs se penchent sur le développement de nouvelles souches de *B. thuringiensis*, avec un mode d'action différent, qui pourraient être moins sensibles à la résistance évolutive.

Méthodologie:

Les bactéries appartenant au genre *Bacillus* produisent un large éventail de molécules biologiquement actives qui inhibent la croissance des agents pathogènes des plantes. Dans le cas de *B. subtilis*, 4 à 5 % de son génome est responsable de la synthèse des antibiotiques et peut produire environ 25 types de molécules différentes. Ces bactéries sporulées sont d'excellents candidats pour des programmes de développement de biopesticides efficaces. Les spores formées par les représentants du genre *Bacillus* présentent un niveau élevé de résistance au manque d'humidité, ce qui est important pour le développement de produits secs et stables. Parmi les exemples d'espèces de *Bacillus* couramment utilisées dans le développement de biopesticides bactériens, citons *B. thuringiensis*, *Bacillus papilliae*, *Bacillus sphaericus*, etc. Les biopesticides sont généralement développés non seulement en utilisant les bactéries sporulées telles que celles appartenant à la famille des Bacillaceae, mais aussi celles appartenant aux familles non sporulées telles que monadaceae (par exemple, *Pseudomonas rhodesiae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*) et Enterobacteriaceae (par exemple, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter aerogenes*). Les pseudomonades contribuent à la lutte contre les phytopathogènes du sol car elles résident généralement dans la rhizosphère. *P. fluorescens*, qui colonise les racines du blé, est connu pour ses activités antifongiques.

Tableau 03 : Biopesticides bactériens et leurs modes d'action

Type de bactérie	Catégorie	Ravageur cible	Mode d'action
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Insecticide	Papillons, papillons de nuit (Lépidoptères)	Perturbe le système digestif
<i>Bacillus subtilis</i> (Bs)	Bactéricide	Les pathogènes bactériens et fongiques pathogènes comme <i>Rhizoctonia</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Aspergillus</i>	Perturbe le système digestif
<i>Bacillus fluorescens</i> (Pf)	Fongicide Bactéricide	Plusieurs maladies fongiques, virales et bactériennes telles que les bactéries formatrices de givre (FFB)	Encerclé et contrôle la croissance des agents pathogènes des plantes

a. Le mode d'action des biopesticides bactériens varie considérablement en fonction du ravageur ciblé, comme le montre le (**tableau 03**). Chez les insectes, les bactéries perturbent le système digestif en produisant une endotoxine spécifique à un ravageur cible précis. Pour lutter contre les bactéries ou les champignons pathogènes, les biopesticides

Méthodologie:

bactériens colonisent la plante et évincent les espèces pathogènes (compétition pour l'espace et la nutrition). Le mode d'action du Bt, comme le montre se divise en trois étapes fixation de la protéine cristalline active à la spore de Bt, ingestion de cette combinaison par un ravageur cible et entrée dans le tube digestif et l'intestin.

b. détachement du cristal entourant la protéine, dissolution de celui-ci et activation de la toxine à un pH spécifique.

c. liaison de la toxine libérée aux récepteurs de l'intestin moyen et initiation du forage de trous dans la membrane de l'hôte conduisant à une perforation complète. (Nollet et Singh Rathore, 2015).

Après l'ingestion des spores de *B. thuringiensis* par les chenilles, les bactéries se reproduisent et produisent des toxines cristallines. Ces corps parasporaux renferment des toxines contenant des cristaux, qui sont activés par la conversion de protoxines monomères en endotoxines delta actives qui se lient aux récepteurs de l'intestin moyen, créant des pores qui interfèrent avec le système de transport ionique, provoquant une paralysie complète et la mort de l'insecte. Les toxines rompent la paroi cellulaire interne de l'intestin moyen, ce qui entraîne le déversement de son contenu dans le système circulatoire, provoquant des lésions tissulaires, une famine et finalement la mort. Cela peut prendre de 12 heures à 5 jours, selon la quantité et le type de Bt consommé, la taille et l'espèce de l'insecte en question. Outre les endotoxines delta, les autres toxines impliquées sont les hémolysines, les entérotoxines et les bêta-exotoxines. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Dans certains cas, les larves d'insectes endommagent les cultures comme le maïs, ce qui permet aux spores fongiques de pénétrer et de se loger dans les tissus du maïs et de produire des mycotoxines qui, lorsqu'elles sont consommées, peuvent avoir des effets néfastes sur les animaux et les humains. Les cultures de maïs hybride modifié par le Bt sont capables de résister aux insectes et aux maladies qu'ils peuvent provoquer. Des bactéries naturelles telles que le *Bacillus popilliae* provoquent la maladie laiteuse chez les larves du scarabée japonais et sont couramment utilisées pour contrôler leur propagation. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

VI.2. Biopesticides fongiques

Les biopesticides fongiques, ou mycobiopesticides, constituent le plus grand groupe de micro-organismes pathogènes pour les insectes et agissent assez rapidement, décimant

Méthodologie:

leurs proies. Lorsqu'ils sont disséminés dans l'environnement, ils provoquent des infections fongiques principalement chez les lépidoptères, les homoptères, les coléoptères, les diptères et les hyménoptères. Les biopesticides fongiques agissent comme des parasites sur les insectes, les bactéries, les nématodes, les mauvaises herbes et d'autres champignons en produisant des molécules biologiquement actives, notamment des enzymes qui digèrent et dissolvent les parois cellulaires des plantes, provoquant leur mort. Les champignons couramment utilisés dans le développement des biopesticides fongiques comprennent *Beauveria metarhizium*, *Paecilomyces nomuraea* et *Entomophaga zoophthora*.

Contrairement aux biopesticides bactériens et viraux, l'efficacité des biopesticides fongiques ne dépend pas de leur consommation, même s'ils nécessitent une gamme spécifique de conditions favorables comme l'humidité et la température pour se propager. En tant que substitut du bromure de méthyle, le *Muscodor albus* est utilisé dans l'ingénierie et la technologie post-récolte comme traitement pour l'alimentation humaine et animale, les plantes ornementales et l'industrie florale. La souche QST 20799 de *Muscodor albus* est présente à l'état naturel et produit des composés volatils tels que des alcools, des esters et des acides qui contribuent à inhiber et à détruire divers micro-organismes à l'origine de maladies post-récolte et de maladies transmises par le sol. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Les champignons entomopathogènes régulent diverses populations d'insectes en pénétrant leurs hôtes à travers la cuticule, en accédant à l'hémolymphe, en produisant des toxines et en se propageant en utilisant les nutriments de l'hôte présents dans l'hémocèle. Ces fongicides sont appliqués sous forme de conidies ou de mycéliums qui sporulent lors de l'application. Ils peuvent également être utilisés en combinaison avec d'autres biopesticides pour obtenir de meilleurs résultats contre les parasites des cultures. Parmi les exemples, citons *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii*, *Nomurae arileyi*, *Metarhizium anisopliae* et *Paecilomyces spp.*

Les *Trichoderma spp.*, présents dans la plupart des sols, sont utilisés comme biopesticides et agents de croissance pour de nombreuses cultures agricoles. Ils s'établissent facilement dans différents types de sol et deviennent une partie intégrante de l'écosystème du sol pendant plusieurs mois. Ils sont polyvalents et agissent à la fois comme antagonistes, colonisateurs de la rhizosphère, promoteurs de la croissance des plantes et neutralisateurs des infections induites par les agents pathogènes des plantes. (Nollet et Singh Rathore, 2015).

Méthodologie:

Tableau 04 : Biopesticides fongiques et leur mode d'action

Type fongique	Catégorie	Ravageur cible	Mode d'action
<i>Beauveria bassiana</i>	Insecticide	Insectes se nourrissant du feuillage	Maladie de la muscadine blanche
<i>Trichoderma viride</i> <i>Trichoderma harzianum</i>	Fongicide	Maladie fongique transmise par le sol	Mycoparasites
<i>Muscodor albus</i>	Fongicide	Bactéries et parasites du sol	Libère des toxines volatiles

Le mode d'action des biopesticides fongiques est complexe, ce qui rend très improbable le développement d'une résistance à ces produits. Ils utilisent différents modes d'action comme le mycoparasitisme, la compétition pour les nutriments avec les phytopathogènes du sol, la production de métabolites solubles, les interactions hyphales et la production de composés volatils et non volatils. Le mode d'action dépend du champignon pesticide ainsi que de l'organisme nuisible cible, comme le montre le **(tableau 04)** Les spores de *B. bassiana* germent et prolifèrent dans l'intestin de l'insecte en produisant des toxines, en drainant les nutriments et en provoquant finalement la mort. Les *Trichoderma* spp. sont des antagonistes fongiques qui se logent dans les tissus principaux des champignons pathogènes et consomment leurs nutriments et génèrent leurs propres spores tout en désintégrant les parois cellulaires des champignons hôtes en libérant des enzymes hydrolytiques. Ces enzymes nécessitent la libération d'un facteur diffusible par les champignons hôtes qui facilite le contact physique entre eux. Les lectines présentes dans la paroi cellulaire de l'hôte incitent les champignons à s'enrouler autour des hyphes de l'hôte en formant des appressoria qui pénètrent et détruisent le pathogène, comme le montre la figure 4.2. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

VI.3. Biopesticides viraux

Les biopesticides viraux ou baculovirus sont des agents pathogènes qui attaquent et tuent les insectes et autres arthropodes. Contrairement à d'autres micro-organismes utilisés dans la mise au point de biopesticides, ils ne sont pas classés comme des organismes vivants, mais plutôt comme des particules microscopiques à réplication parasitaire. Les baculovirus sont composés d'ADN double brin, le matériel génétique nécessaire à leur établissement et à leur reproduction. Comme ce matériel génétique peut être facilement

Méthodologie:

détruit par l'exposition à la lumière du soleil ou par des conditions défavorables dans l'intestin de l'hôte, les baculovirus (virion) sont protégés par une enveloppe protéique appelée polyèdre. Les baculovirus sont classés en deux grandes familles appelées virus de la granulose (GV) et virus de la nucléopolyédrose (NPV). Leurs différences émanent de la structure complexe et du nombre d'enveloppes protéiques protectrices. Les baculovirus sont très spécifiques de l'hôte, en particulier des insectes, et n'ont pas été signalés comme ayant des effets néfastes sur les autres organismes vivants ou les écosystèmes environnants ce qui en fait des candidats de choix pour le développement de biopesticides (Nollet et Singh Rathore, 2015)

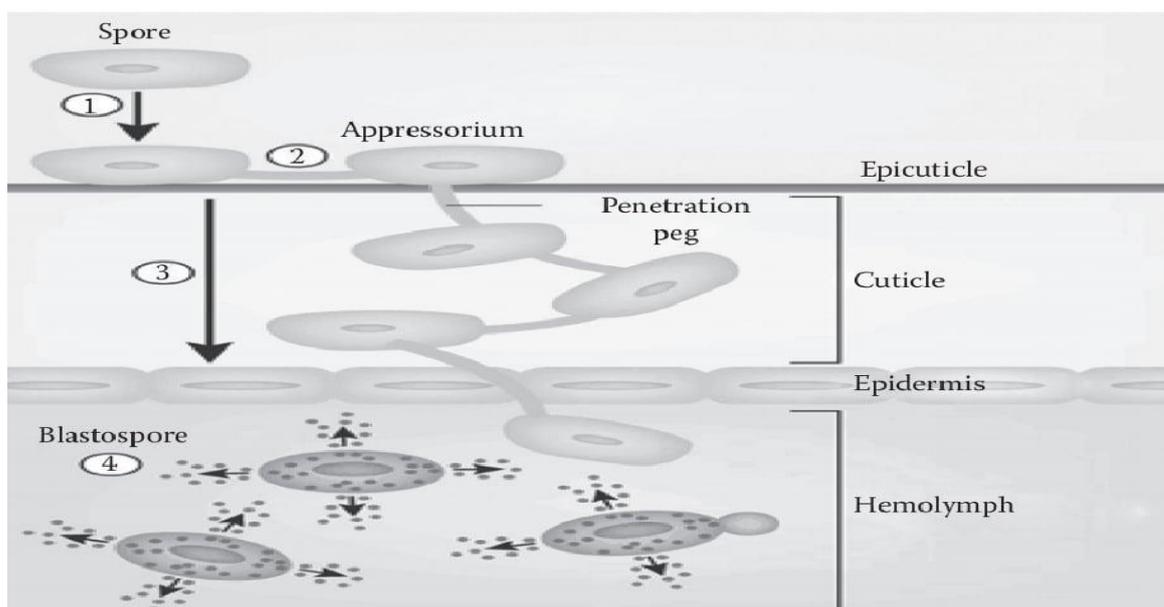


Figure 22 : Mode d'action des champignons(Nollet et Singh Rathore, 2015)

Les baculovirus peuvent être utilisés à la place des antibiotiques, et ils aident également à contrôler la population hôte en provoquant des épidémies sévères et soudaines chez leurs hôtes, ce qui conduit à un contrôle complet. Pour être efficaces, les baculovirus doivent être ingérés par l'hôte, ce qui entraîne une moindre efficacité. Les baculovirus sont produits en masse in vivo, d'où leur coût de production élevé.

Le virus *Cydia pomonella* granulosa (CpGV), qui appartient à la famille des Baculoviridae, est utilisé pour lutter contre le carpocapse, un ravageur qui endommage les arbres fruitiers tels que les poiriers et les pommiers, dont les larves, lorsqu'elles entrent en contact avec les fruits, se nourrissent du virus au cours du stade initial de leur développement. Le CpGV est hautement spécifique à sa cible et ne nuit pas aux autres

Méthodologie:

organismes. Une seule particule de CpGV peut être efficace, mais elle a tendance à être très sensible aux UV, ce qui nécessite de multiples réapplications avec une faible absorption. Pour être efficaces, ces virus doivent être encapsulés pour ne pas se désintégrer en présence d'humidité (pluie) et sont pulvérisés sur les œufs avant qu'ils n'éclosent et soient ainsi infectés, entraînant leur mort éventuelle. Le CpGV est utilisé tant dans les pratiques de gestion des cultures biologiques que conventionnelles et peut remplacer les organophosphates et les pyréthroïdes. Les bactériophages sont une autre catégorie de virus qui infectent les bactéries responsables des maladies des plantes et sont donc utilisés comme pesticides. La bactérie pathogène, *Xanthomonas* spp. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

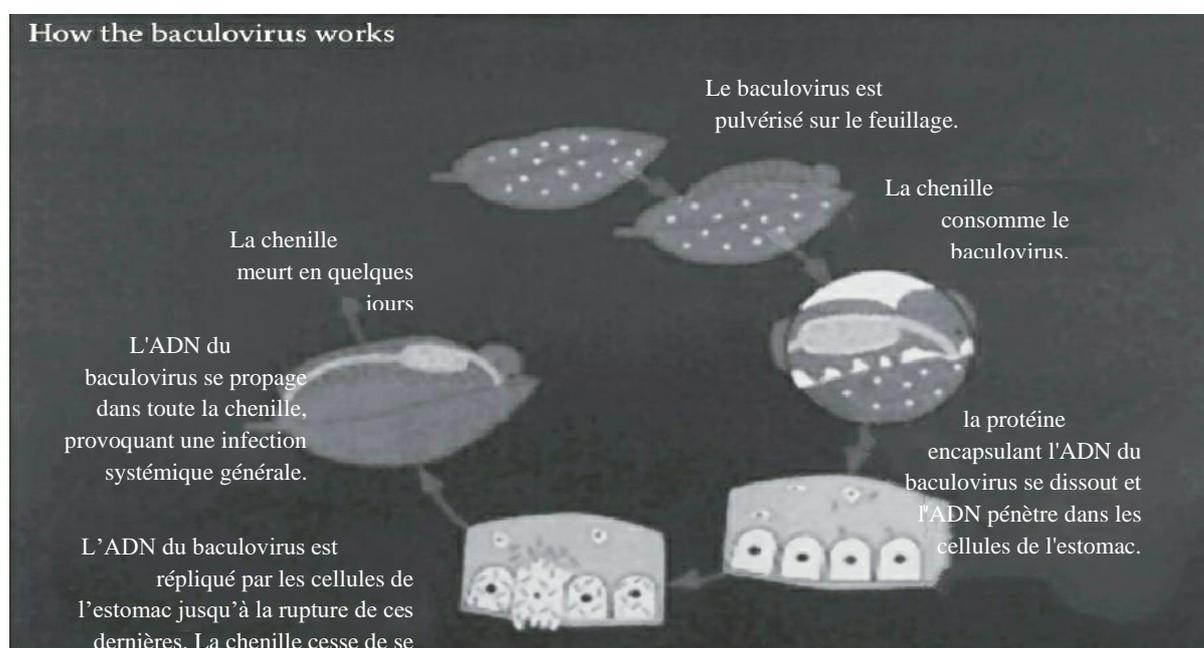


Figure 23 : Mode d'action des baculovirus. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Sont éradiqués efficacement par les bactériophages, qui peuvent être utilisés efficacement en remplacement d'antibiotiques tels que la streptomycine ; toutefois, les bactéries pathogènes ont tendance à développer une résistance aux antibiotiques. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Les baculovirus ont une cible spécifique lorsqu'ils agissent sur les insectes, comme le résume le **(tableau 05)** Les virus de la nucléopolyédrose (NPV) sont efficaces contre les lépidoptères (papillons et mites), les hyménoptères (fourmis, abeilles et guêpes) et les diptères (mouches), tandis que les virus de la granulose (GV) ne ciblent que les

Méthodologie:

lépidoptères. Les baculovirus se développent dans les noyaux des cellules de l'insecte hôte. Dans le cadre de leur mode d'action, les baculovirus envahissent l'organisme du ravageur par l'intestin, provoquant une infection qui interfère avec la physiologie, la reproduction et la mobilité, ce qui entraîne la mort du ravageur. Après avoir été ingérée, l'enveloppe protéique virale se désintègre dans le corps de l'hôte et les particules d'ADN deviennent physiologiquement actives. Rapidement, l'hôte a du mal à absorber les nutriments et succombe finalement à la mort. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Dans le cas du virus de la polyédrose cytoplasmique (CPV) ou des cypovirus, en revanche, lorsqu'ils sont ingérés par l'insecte nuisible, les polyèdres sont dissous, libérant les particules virales qui pénètrent dans l'intestin moyen de l'insecte. Une fois dans le cytoplasme de l'hôte, les processus de transcription et de réplication sont initiés dans les cellules épithéliales cylindriques. Après l'assemblage complet, les virus de la progéniture sont excrétés sur le feuillage, infectant mortellement d'autres insectes et le cycle entier se répète. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Tableau 05 : Biopesticides viraux et leurs modes d'action

Type de virus	Catégorie	Ravageur cible	Mode d'action
Virus de la nucléopolyédrose (NPV)	Insecticide	Spécifique aux espèces de Lépidoptères (88%), d'Hyménoptères (6%) et de Diptères (5%)	Inquiète les cellules digestives de l'intestin des larves.
Virus de la granulose (GV)	Insecticide	Spécifique aux espèces de lépidoptères	Infection des cellules digestives de l'intestin des larves

6.4. Biopesticides dérivés de protozoaires et de nématodes

Les micro-organismes comme les protozoaires et les nématodes sont également utilisés comme biopesticides dans les pratiques de lutte intégrée contre les ravageurs. Les protozoaires sont des organismes unicellulaires microscopiques qui sont mobiles à l'aide de pseudopodes. Ils sont utilisés comme d'excellentes sources de biopesticides, notamment contre de nombreuses espèces de sauterelles. Cependant, au cours de la dernière décennie, seul un protozoaire insecticide, *Nosema* spp., a été enregistré auprès de l'United States Environmental Protection Agency (l'USEPA). Les nématodes, quant à eux, sont des

Méthodologie:

organismes parasites microscopiques et environ trois douzaines sont utilisés comme insecticides. Ces biopesticides ne sont pas adaptés aux résultats à court terme et à action rapide et sont surtout efficaces contre les moustiques et les sauterelles. Selon leur mode d'action (**figure 24**), lorsqu'ils sont ingérés par un ravageur, ces micro-organismes se propagent dans tous les tissus et organes via l'intestin moyen et se multiplient rapidement, provoquant une septicémie et finalement la mort de l'insecte. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

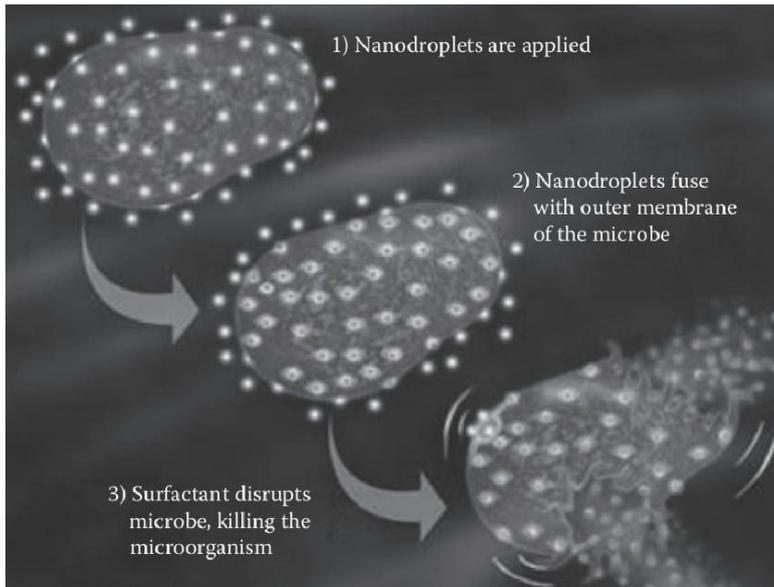


Figure 24 : Mode d'action des protozoaires. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

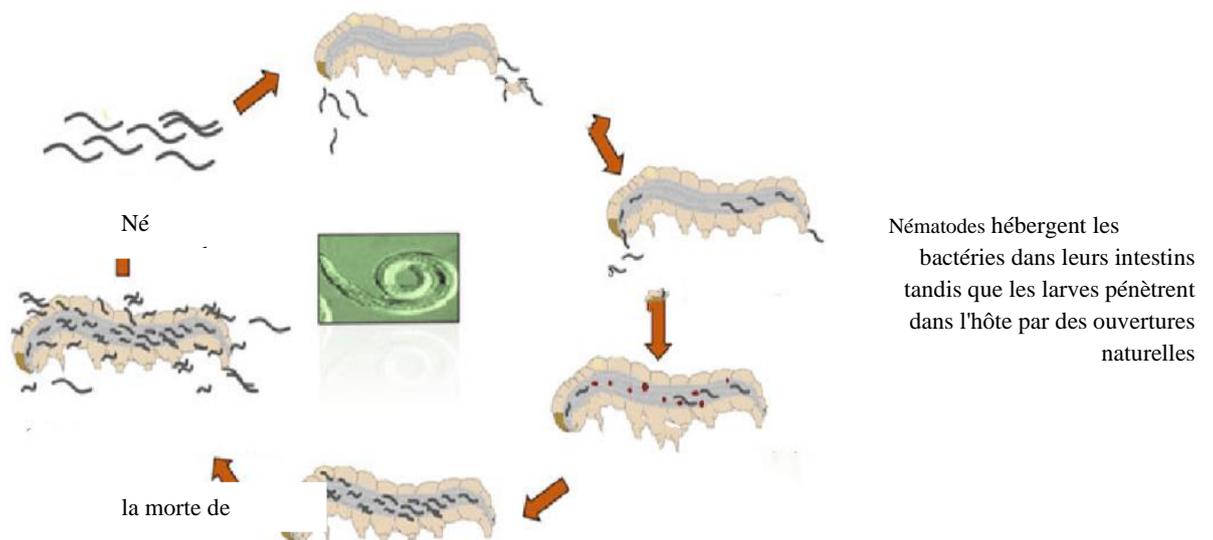


Figure 25: Mode d'action des nématodes. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

Méthodologie:

Ils peuvent interférer avec les cycles de reproduction ou d'alimentation des insectes (compétition pour l'espace et les nutriments) plutôt que de tuer le ravageur immédiatement. Pour des résultats efficaces, ces biopesticides doivent être appliqués avant l'apparition de la maladie. Parmi les protozoaires couramment utilisés comme biopesticides figurent *Nosema* et *Thelohania vairimorpha*. De même, les nématodes appartenant aux familles *Steinernematidae* et *Heterorhabditidae* sont utilisés comme biopesticides mais en association avec des bactéries appartenant au genre *Xenorhabdus*. Le mode d'action (**figure 25**) est tel que les nématodes hébergent les bactéries dans leurs intestins tandis que les larves pénètrent dans l'hôte par des ouvertures naturelles et pénètrent dans l'hémocoèle. Les nématodes se nourrissent de la bactérie, liquéfiant les insectes tout en se transformant en adultes. Les bactéries sont ensuite libérées dans l'intestin de l'insecte, provoquant une septicémie et la mort rapide de l'insecte. *Radopholus similis* est un nématode endoparasite des racines qui infecte et endommage le cytoplasme tout en interférant avec l'absorption de l'eau et des nutriments. (Nollet et Singh Rathore, 2015)

6.5. Biopesticides dérivés de produits naturels

Ces biopesticides comprennent diverses huiles et extraits naturels dérivés de sources végétales et peuvent être utilisés comme bioinsecticides et bioherbicides. Leur mode d'action varie considérablement d'un produit à l'autre. Contrairement aux phéromones sexuelles des insectes, qui ne tuent pas elles-mêmes le ravageur ciblé, mais interrompent plutôt son cycle de reproduction, les huiles et extraits de plantes agissent indirectement et de manière non spécifique. Les extraits de plantes, comme les essences florales, attirent les insectes dans des pièges. Parfois, ils sont utilisés comme répulsifs et dissuasifs (par exemple, la cayenne) en générant des odeurs nauséabondes qui éloignent les parasites. Les huiles de citronnelle provoquent la déshydratation en éliminant le revêtement cireux des feuilles des plantes, tandis que d'autres extraits provoquent la suffocation. D'autre part, certains produits naturels aident les cultures à renforcer leur système immunitaire en développant une résistance systémique acquise. Le cycle d'accouplement des insectes est perturbé essentiellement en raison de la présence de concentrations plus élevées de phéromones sexuelles dans l'environnement qui peuvent détourner les mâles de l'odeur des femelles, réduisant ou limitant ainsi leur capacité à s'accoupler.

Les régulateurs de croissance des insectes issus de produits naturels peuvent être réglementés en tant que biopesticides ou pesticides conventionnels. Le margousier (*Azadirachta indica*), originaire d'Inde et d'autres pays d'Asie du Sud, et son constituant,

Méthodologie:

l'azadirachtine, sont considérés comme des biopesticides. Les produits à base de neem offrent un large spectre d'activité puisqu'ils infectent les insectes, les acariens, les nématodes, les champignons, les bactéries et les virus. L'azadirachtine (limonoïde) est un régulateur de croissance des insectes très efficace et son mode d'action consiste à tuer indirectement le ravageur en modifiant le cycle de vie de l'insecte qui ne peut plus se nourrir, se reproduire ou se métamorphoser. L'azadirachtine perturbe également la mue en inhibant la biosynthèse et le métabolisme de l'hormone de mue juvénile, l'ecdysone.

La roténone est un autre biopesticide à base de produits naturels. Il s'agit d'une cétone incolore, inodore et cristalline récoltée à partir de la tige et des graines de la vigne jicama (*Pachyrhizus erosus*) et des racines de Fabaceae. La roténone se comporte comme la pyréthrine, mais elle est plus puissante et persistante. C'est une neurotoxine efficace contre les insectes tels que les pucerons, les suceurs et les thrips qui infestent les fruits et légumes en interférant avec leur cycle de reproduction. Lorsqu'elle est ingérée par les larves d'insectes lépidoptères, la roténone interfère avec l'absorption des nutriments, ce qui entraîne leur mort. La roténone est également utilisée dans la gestion des pêches, y compris le traitement des rivières et des systèmes fluviaux pour exterminer des parasites comme *Gyrodactylus salaris*, un parasite commun du saumon et de la truite de l'Atlantique Nord. (Nollet et Singh Rathore, 2015).

VII. Utilisation des biopesticides

La production des biopesticides sous la même forme que la préparation des pesticides chimiques traditionnels a conduit à des modes d'utilisation très proches des pesticides chimiques traditionnels avec une certaine spécificité pour le groupe des pesticides microbiens (Almalah, 2015) (Figure 23).



Figure 26 : Utilisation des biopesticides (Almalah, 2015)

VII.1. Traitement des semences

VII.1.1. Pour les pesticides biochimiques

Ces pesticides ne diffèrent pas beaucoup des pesticides chimiques traditionnels en termes de préparation et de modes d'utilisation en traitement des semences, car ils peuvent être utilisés en saupoudrant les semences s'ils sont disponibles sous forme de poudres à saupoudrer ou par trempage des graines avec celles-ci avant la plantation, si disponibles, sous forme de poudres mouillables ou sous forme de concentrés émulsifiables ou d'autres formes de préparation liquide. (Almalah, 2015)

VII.1.2. Concernant les Biopesticides microbiens

Avec ce groupe de pesticides, la protection des semences contre les ravageurs dépend de la délivrance de pesticides microbiens d'une manière qui permette à l'organisme pathogène présent dans le pesticide microbien de coloniser la zone racinaire en développement à une concentration suffisante Ceci est réalisé par l'une des méthodes suivantes : (Almalah, 2015)

VII.1.3. Encapsulation des graines

Les graines sont enrobées de pesticides microbiens mélangés à des adhésifs tels que la gomme xanthane et la gomme arabique pour augmenter l'adhérence du pesticide microbien aux graines une image de la gélatine, où ces matériaux prolongent la survie des

Méthodologie:

pesticides microbiens sur les graines, et il existe aujourd'hui des produits courants pour l'emballage des graines, y compris Gel-Cont, qui est un engin hydrogel pour délivrer des nématodes pathogènes pour les insectes au cas où ces derniers attaqueraient les graines enrobées d'eux. Le procédé de conditionnement des semences présentes de nombreux avantages, à savoir : (Almalah, 2015)

- Un haut degré de sécurité pour l'utilisateur.
- Ses dégâts environnementaux sont très limités.
- Mélanger des pesticides microbiens avec des semences lors de la plantation.
- Mettre des pesticides microbiens dans des rainures ou des fosses pour planter des graines. (Almalah, 2015).

VII.2. Traitement du sol

Le traitement du sol est généralement utilisé dans le cas où le traitement des semences est une procédure peu pratique ou si la pollinisation directe des semences avec des pesticides microbiens est nocive avec des pesticides microbiens en raison de la sécheresse ou en raison de la présence de composés inhibiteurs dans le sol. (Almalah, 2015)

VII.2.1. En ce qui concerne les pesticides biochimiques

Ils peuvent être utilisés en pulvérisation ou en saupoudrage sur le sol ou en injection dans le sol, et s'apparentent ainsi aux pesticides traditionnels utilisés en traitement des sols. (Almalah, 2015)

VII.2.2. En ce qui concerne les Biopesticides microbiens

Le traitement du sol avec des Biopesticides microbiens est plus efficace après avoir traité le sol par fumigation ou fumigation, car dans un sol stérilisé, les organismes microbiens pesticides agissent pour coloniser rapidement le sol car il n'y a pas d'organismes nuisibles ou inhibiteurs, et le processus de traitement du sol avec des pesticides microbiens se fait par les moyens suivants : (Almalah, 2015).

- **Mélanger le sol avec des pesticides microbiens** : Par exemple, le produit *Contans*, qui est une préparation dispersible dans l'eau préparée à partir du champignon *Conithyrium minitans*, est mélangé au sol pour réduire le nombre de corps pierreux de *Sclerotinia sclerotiorum* dans le sol. (Almalah, 2015).

Méthodologie:

- **Injection directe dans les systèmes d'irrigation :** C'est une bonne méthode pour un contrôle précis en utilisant les concentrations et les volumes totaux de la suspension microbienne qui est appliquée. Cette méthode est utilisée avec succès dans les serres. (Almalah, 2015).
- Colonisation des résidus de culture avec des pesticides microbiens pour être prêt pour la lutte antiparasitaire la saison suivante. Dans ce cas, des matériaux de protection UV et des agents anti-dessèchement doivent être ajoutés au produit. (Almalah, 2015)

VII.3. Traitement des plantes

Les plantes peuvent être traitées avec des biocides en utilisant les mêmes méthodes que celles utilisées dans le cas des pesticides chimiques traditionnels, en utilisant les mêmes machines de pulvérisation et de nébulisation au sol et à l'air. La méthode par immersion peut également être utilisée pour les boutures, les semis, les racines et les tubercules avec des solutions biopesticides. (Almalah, 2015)

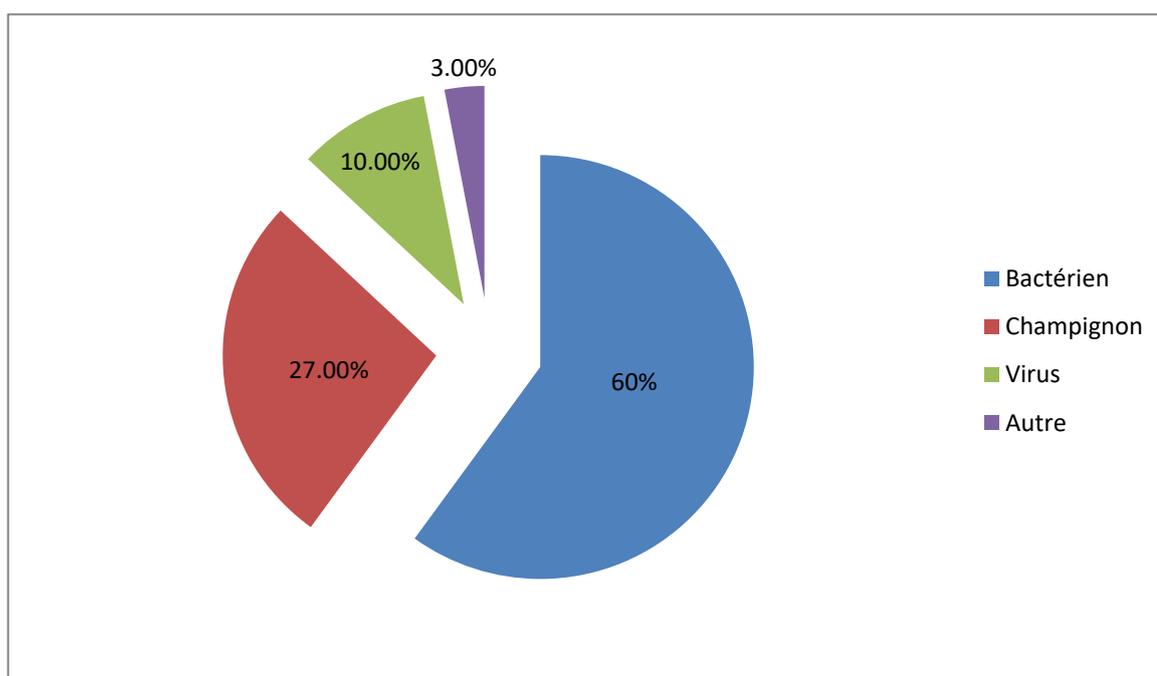


Figure 27: Types de biopesticides microbiens utilisés dans le monde entier

(Ashishie 2018a et Ashishie, 2018)

VIII. Avantage des biopesticides

VIII.1. Avantages des biopesticides bactériens

- Sécurité d'utilisation : les biopesticides bactériens sont sans danger pour la faune, les humains et les autres organismes. (Rajamani et Negi, 2021)
- Spécifique : Les biopesticides bactériens sont spécifiques à leurs organismes cibles. Ils n'affectent pas les insectes utiles. (Rajamani et Negi, 2021)
- Compatible avec d'autres méthodes : La plupart des insecticides bactériens sont compatibles avec les biopesticides chimiques synthétiques. (Rajamani et Negi, 2021)
- Non dangereux : Ils ne laissent aucun résidu. Il peut donc être appliqué même pendant la phase de récolte de la culture. (Rajamani et Negi, 2021)
- Établissement naturel : Les biopesticides bactériens s'auto-perpétuent. Ils sont donc efficaces même pendant les saisons de croissance des cultures suivantes. (Rajamani et Negi, 2021)

VIII.2. Avantages des biopesticides viraux

- Les virus sont sans danger pour les humains et les autres organismes non ciblés. (Rajamani et Negi, 2021)
- Les organismes cibles ne développeront pas de résistance contre les biopesticides viraux. (Rajamani et Negi, 2021)
- Les virus peuvent être intégrés à d'autres méthodes de lutte contre les insectes, y compris les pesticides chimiques. (Rajamani et Negi, 2021)
- Ils s'auto-perpétuent et maintiennent la population de ravageurs sous contrôle. (Rajamani et Negi, 2021)
- Pas d'apparition de parasites secondaires. (Rajamani et Negi, 2021)
- Aucun résidu de pesticide. (Rajamani et Negi, 2021)
- Aucun délai avant récolte n'est nécessaire (Rajamani et Negi, 2021)

VIII.3. Avantages des biopesticides à base de champignons

- Large gamme d'hôtes : Par rapport aux bactéries et aux virus, les champignons ont une large gamme d'hôtes et peuvent infecter les ravageurs des champs, des entrepôts et du sol. (Rajamani et Negi, 2021)
- Facilité de production : Les champignons commercialement importants tels que *Beauveria*, *Metarhizium*, *Lecanicillium* et *Isaria* sont relativement faciles à produire

Méthodologie:

en masse et nécessitent peu de substrat. (Rajamani et Negi, 2021)- Efficace et hautement spécifique.

- Respect de l'environnement (Rajamani et Negi, 2021)

VIII.4. Avantages des Nématodes Entomopathogènes EPN

- Ils sont considérés comme sans danger pour les humains, les plantes et les animaux et relativement sans danger pour l'environnement. Il ne nécessite pas d'équipement de protection individuelle, de masques de sécurité et de délais de rentrée. Il ne laisse aucun résidu. (Rajamani et Negi, 2021)
- Il est efficace contre les ravageurs des champs tels que l'annelure des canneberges, le charançon des racines, le charançon noir de la vigne, les pyrales, les vers gris, les légionnaires et les xylophages.
- Le sol autour des racines des canneberges doit être humide, protégé des rayons UV et des températures nocives, ce qui est souvent propice à la survie des nématodes. (Rajamani et Negi, 2021)
- Les nématodes peuvent résister à une exposition de courte durée (2-24 h) à de nombreux insecticides, fongicides, herbicides, engrais et régulateurs de croissance chimiques et biologiques. (Rajamani et Negi, 2021)

VIII.5. Avantages des parasitoïdes dans la lutte biologique contre les parasites

- Spécialisés et spécifiques à l'hôte. (Rajamani et Negi, 2021)
- Les parasitoïdes sont des chercheurs d'hôtes efficaces, ils peuvent trouver leurs hôtes même à de faibles densités de nuisibles et ramener le niveau d'infestation en dessous des seuils économiques. (Rajamani et Negi, 2021)
- Les parasitoïdes réduisent le nombre de ravageurs qui survivent à la génération suivante. (Rajamani et Negi, 2021)
- Ils sont compatibles avec d'autres agents de lutte biologique (prédateurs). (Rajamani et Negi, 2021)
- Certains parasitoïdes affectent le comportement alimentaire, par exemple, les larves parasitées mangent moins que les larves saines et sont plus petites que l'hôte. (Rajamani et Negi, 2021)

VIII.6. Avantages des prédateurs dans la lutte biologique contre les ravageurs

Méthodologie:

- De plus grande taille, ils s'attaquent à de nombreux hôtes et peuvent potentiellement réduire la population de ravageurs. (Rajamani et Negi, 2021)
- Peu affectés par les conditions environnementales externes et les pesticides par rapport aux parasitoïdes. (Rajamani et Negi, 2021)

VIII.7. Autres Avantages

- Aide à réduire l'utilisation et le coût des produits chimiques (Ashishie 2018a et Ashishie, 2018b)
- Les biopesticides sont biodégradables, respectueux de l'environnement. (Manchandrade, 2019)
- Ils se décomposent rapidement en petits résidus et n'ont pas d'impact négatif sur les eaux souterraines et de surface. (Manchandrade, 2019)
- Les biopesticides ont un faible taux de résidus, une haute performance et des effets secondaires moins toxiques. (Manchandrade, 2019)
- Plus efficace à long terme. Lorsqu'il est utilisé pendant de longues périodes, son accumulation, en particulier dans le sol, peut entraîner l'absence d'agents pathogènes, auquel cas il est appelé sol (sol fongique). Au contraire, l'utilisation à long terme de pesticides chimiques entraîne une dégradation biologique du sol, tuant de nombreux types de microbes bénéfiques. (Hashem, 2015)
- La rareté des mutations génétiques, puisque aucun cas de mutations nocives n'a été enregistré avec les biopesticides, alors que l'utilisation de pesticides chimiques a provoqué l'émergence de nombreuses mutations nocives, notamment chez les insectes qui n'ont pas été tués par ces pesticides, soit en raison de la double dose utilisée, ou la résistance de ces insectes à eux (Hashem, 2015).
- Les champignons du genre *Trichoderma* ont la particularité de faciliter l'absorption d'éléments nutritifs du sol par les plantes. (Deravel et al., 2013)
- La plupart des bactéries commercialisées en tant que biopesticides font partie du groupe des PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), comme *Bacillus subtilis* et sont connues pour leur capacité à favoriser la croissance des plantes. (Deravel et al., 2013)
- les lipopeptides cycliques produits par les bactéries du genre *Bacillus* peuvent, à la fois, faciliter la colonisation de l'environnement par le micro-organisme producteur

Méthodologie:

(surfactines et iturines), avoir une activité antifongique directe (iturines et fengycines) et induire les mécanismes de défense des plantes (surfactines, fengycines) (Deravel et al., 2013).

- Les biopesticides est un régulateur de croissance : il agit sur les insectes comme une hormone juvénile : l'azadirachtine, la principale substance active, ingérée par la larve, empêche la mue. L'insecte reste au stade larvaire et meurt. (Natarajan et al. ,2003)
- L'huile de neem est un anti-appétant : les insectes se détournent des cultures traitées. Un insecte qui ingère du végétal traité subit des désordres digestifs en paralysant son tube digestif. Il cesse de s'alimenter. Les quatre composants actifs dans ce cas sont l'azadirachtine, la salannine, la nimbidine et le mélandriol. (Natarajan et al. ,2003)
- Le nimbidine de l'huile de neem est un répulsif efficace utilisable pour : la culture en terre, les espace verts, l'hydroponie, l'arboriculture, les jardiniers amateurs (Le margousier ou neem (*Azadirachta indica*)). (Natarajan et al. ,2003)
- Les biopesticide (d'huile de Neem) sont inoffensifs à des doses faibles. Des tests sur animaux de l'U.S. « Environmental Protection Agency », ont montré que les extraits alcooliques des graines de Neem n'ont pas d'effets nocifs sur les lapins et les souris quand ils sont administrés par voie orale et ce, même à des doses élevées. Ingérée, l'huile de Neem peut engendrer des nausées et un malaise généralisé, qui seraient dus à sa grande richesse en composés soufrés. (Lalmi et Messaoudi, 2020)
- *B. thuringiensis* libère des toxines qui endommagent la partie médiane du ravageur, finissant par le tuer. (Alam, 2000)
- La *Trichoderma* efficace contre les maladies transmises par le sol telles que la pourriture des racines. (Alam, 2000)
- Le pyrèthre paralyse et tue rapidement les insectes en modifiant la façon dont leurs impulsions électriques sont transmises par le système nerveux. (Ashishie1 et Ashishie2, 2018)

IX. Inconvénients des biopesticides

IX.1. Inconvénients des insecticides microbiens

Méthodologie:

- Les insecticides microbiens ne sont toxiques que pour une espèce ou un groupe spécifique d'insectes. Il se peut qu'ils ne contrôlent que certains ravageurs et que les autres survivent et continuent à causer des dommages. (Rajamani et Negi, 2021)
- Lorsque des prédateurs et des parasitoïdes sont utilisés dans les programmes de lutte contre les ravageurs, l'utilisation de pesticides synthétiques peut nuire aux organismes utiles. La sélection de pesticides chimiques appropriés est essentielle. (Rajamani et Negi, 2021)
- L'efficacité des insecticides microbiens est affectée par des facteurs comme les rayons ultraviolets, la chaleur, etc. Par conséquent, ils doivent être appliqués uniquement le matin. (Rajamani et Negi, 2021)
- Des procédures spéciales de formulation et de stockage sont nécessaires pour les pesticides microbiens. Le stockage des insecticides microbiens selon les instructions de l'étiquette est obligatoire pour maintenir la virulence des agents pathogènes. (Rajamani et Negi, 2021)
- La multiplication massive des ennemis naturels tout au long de l'année est difficile, ce qui limite leur disponibilité sur le marché. Le processus d'enregistrement des produits et la moindre disponibilité limitent l'utilisation des biopesticides par rapport aux pesticides chimiques. (Rajamani et Negi, 2021)
- Pour que les biopesticides puissent agir longtemps après leur pulvérisation, il faut qu'ils adhèrent aux feuilles et aux plantes le plus longtemps possible. Cependant, il arrive que la pluie entraîne par lessivage une partie des biopesticides déposés sur les feuilles, diminuant ainsi leurs potentiels insecticides. Il est montré qu'une pluie de 3 cm peut réduire de 20% l'efficacité des biopesticides (Nadao, 2018)
- la rosée peut diminuer l'efficacité de Bt sur les feuilles. (Nadao, 2018)
- La température optimale de croissance de Bt est 30°C. Cependant, l'application des produits Bt sur le terrain peut être influencée par la température. En effet, Ignoffo (1992) a montré que seules les valeurs de températures comprises entre 10 et 30°C permettent une bonne activité des bactéries entomopathogène. Ainsi, les températures extrêmes peuvent causer une inactivation des produits Bt. (Nadao, 2018).

IX.2. Inconvénients des biopesticides viraux

Méthodologie:

- Il peut être utilisé pour la gestion de plusieurs ravageurs comme c'est le cas pour les pesticides chimiques. (Rajamani et Negi, 2021)
- Une longue période d'infection létale est nécessaire pour réussir à contrôler les ravageurs ciblés. (Rajamani et Negi, 2021)
- Les virus sont inactivés par des facteurs environnementaux comme les rayons ultraviolets, les températures extrêmes, etc. (Rajamani et Negi, 2021)

IX.3. Inconvénients des biopesticides à base de champignons

- Conditions environnementales idéales : Les champignons sont très sensibles aux conditions environnementales. Une humidité supérieure à 80 % est nécessaire pour la germination des spores et leur pénétration à la surface de la cuticule des arthropodes. (Rajamani et Negi, 2021)
- La température et l'exposition aux rayons UV affectent la survie des champignons. (Rajamani et Negi, 2021)
- La production et la stabilisation de conidies fragiles ou de phases de repos durables sont difficiles. (Rajamani et Negi, 2021)
- Elle est plus coûteuse que les autres méthodes microbiennes. (Rajamani et Negi, 2021)

IX.4. Inconvénients de l'EPN

- Les nématodes sont sensibles aux conditions environnementales telles que les UV et les températures élevées ; des conditions qui peuvent être difficiles à contrôler. (Rajamani et Negi, 2021)
- Par rapport aux insecticides chimiques traditionnels, les nématodes sont généralement très chers. Dans un système naturel, le nombre d'insectes hôtes et de nématodes est en équilibre. Si l'équilibre naturel est surchargé de nématodes, ceux-ci tueront les insectes mais mourront ensuite eux-mêmes jusqu'à ce que les populations d'insectes se reconstituent. Il est donc essentiel de réappliquer le nématode. (Rajamani et Negi, 2021)
- Comme les nématodes ne peuvent pas vivre au-dessus du sol, ils ne peuvent pas infecter les insectes qui vivent au-dessus du sol, comme les insectes foliaires. (Rajamani et Negi, 2021)

Méthodologie:

- au-dessus du sol, comme les insectes foliaires. Les formulations de nématodes ont une courte durée de conservation. (Rajamani et Negi, 2021)
- Elles doivent être appliquées tôt le matin ou le soir pour se protéger des rayons UV. (Rajamani et Negi, 2021)
- Une pré- et post-irrigation est nécessaire pour humidifier le sol et faire pénétrer les nématodes dans le sol. (Rajamani et Negi, 2021)

IX.5. Inconvénients des parasitoïdes dans la lutte biologique contre les parasites

- Très sensibles aux insecticides, surtout les adultes. (Rajamani et Negi, 2021)
- Les adultes ont besoin d'une source de nourriture alternative comme le pollen ou le nectar. (Rajamani et Negi, 2021)
- Les parasitoïdes immatures, surtout s'ils sont protégés dans l'œuf de leur hôte ou dans leur propre cocon, peuvent mieux tolérer les pesticides que les adultes, mais les parasitoïdes immatures mourront généralement si leur hôte est tué. (Rajamani et Negi, 2021)
- Pour améliorer l'abondance et la diversité des insectes bénéfiques, en particulier (Rajamani et Negi, 2021)
- les parasitoïdes et les prédateurs, il est nécessaire de prendre en compte la végétation indigène de la ferme dans le cadre d'une stratégie de lutte contre les parasites. (Rajamani et Negi, 2021)
- Parfois, plusieurs parasitoïdes peuvent émerger d'un même ravageur. (Rajamani et Negi, 2021)

IX.6. Inconvénients des prédateurs dans la lutte biologique contre les parasites

- Non-spécificité de l'hôte. (Rajamani et Negi, 2021)
- La multiplication en masse est difficile. (Rajamani et Negi, 2021)
- Le cannibalisme est courant chez de nombreux prédateurs (Rajamani et Negi, 2021).

IX.7. Autres inconvénients des biopesticides

- L'utilisation de biopesticides présente certains inconvénients, et ils sont considérés comme plus difficiles que négatifs, car la recherche scientifique s'efforce de suivre

Méthodologie:

certaines d'entre eux à l'avenir, et parmi les plus importants de ces négatifs figurent les suivants : (Hashem, 2015)

- Vous avez besoin d'une expertise technique élevée dans les premières étapes :
- La nouveauté de ce groupe de pesticides et la différence de leurs substances actives par rapport aux pesticides chimiques traditionnels rend leur production et leur application particulièrement dans le domaine de la détermination de l'équilibre entre les taux ou niveaux de contrôle et les niveaux de dégâts avec l'évolution du nombre de communautés de populations de ravageurs, un processus qui nécessite une expertise technique élevée qui peut ne pas être disponible dans tous les pays. (Almallah, 2015)
- L'utilisation de biopesticides avec peu ou pas de connaissances professionnelles peut provoquer un déséquilibre écologique. (Ashishie1 et Ashishie2, 2018)
- Il a besoin d'exigences administratives:
- La modernité des biopesticides nécessite de nombreuses nouvelles législations, lois et réglementations administratives liées au processus de production, de marketing et de circulation de ce groupe. (Almallah, 2015)
- La nécessité de réévaluer ou de mesurer les niveaux de dommages acceptés :
- La nouveauté de ce groupe de pesticides et de ralentir leur efficacité ou de l'impact sur les ravageurs cibles de contrôle des médicaments par rapport aux pesticides chimiques traditionnels, le renforcement nécessite des méthodes pour une meilleure surveillance et moderne les niveaux de critiques et de prévoir les limites de meilleurs facteurs météorologiques afin que l'utilisation du groupe dans les programmes de lutte antiparasitaire qui se fondent sur les biopesticides. (Almallah, 2015)
- Certains gènes sensibles ont été perdus :
- Les biopesticide, notamment microbiens et génétiques, peuvent être exposés à la perte du gène responsable de son efficacité dans la lutte contre une certaine lésion, à la suite d'une mauvaise utilisation ou d'une mauvaise gestion des opérations de production et d'application. (Almallah, 2015)
- Leur efficacité est lente, car ils n'éliminent pas les ravageurs aussi rapidement que les pesticides chimiques, mais ils prennent du temps, il est donc préférable d'utiliser

Méthodologie:

ces pesticides à un stade précoce de l'apparition de la maladie, voire avant son apparition du tout comme une méthode préventive pour la culture, car ils sont de peu d'avantages en cas d'épidémies de ravageurs ou Les maladies sont épidémiques. (Hashem, 2015)

- La résistance de certains ravageurs à ceux-ci, car les organismes pathogènes peuvent augmenter leur résistance aux biopesticides par une utilisation répétée, comme c'est le cas pour tous les pesticides, mais certainement à un degré moindre que celui constaté dans le cas des pesticides chimiques. Cela peut être surmonté ou réduit en utilisant plusieurs pesticides de manière interchangeable ou un mélange de biopesticide (Hashem, 2015)
- Affecté par des facteurs environnementaux; Étant donné que les substances actives des biopesticides sont principalement des organismes vivants, elles sont affectées par des facteurs climatiques et peuvent devenir inefficaces dans certaines conditions climatiques et efficaces dans d'autres. Ce point peut être surmonté par le fait que chaque pays a sa propre technologie locale qui convient à ses facteurs climatiques. (Hashem, 2015)
- Le coût relativement élevé par rapport aux pesticides chimiques manufacturés, mais la production locale selon les conditions de chaque région peut contribuer à réduire les coûts, et le rendre moins cher que les pesticides chimiques. . (Hashem, 2015)

X. Limite des Biopesticides

Bien que des preuves montrent l'efficacité de l'utilisation de pesticides botaniques contre une vaste gamme de ravageurs des cultures, les biopesticides ne sont pas encore bien établis sur le marché. La commercialisation des pesticides botaniques est fortement dépend fortement de la disponibilité des sources végétales en grandes quantités et de la culture des plantes. Jusqu'à présent, les plantes sources sont soit cultivées à d'autres fins, comme l'alimentation ou la médecine, etc. De plus, la culture des plantes pour de plus, la culture de plantes pour produire des pesticides botaniques nécessite de vastes terres, ce qui la rend très concurrentielle avec la production alimentaire pour les terres arables. En outre, la formulation des biopesticides semble difficile car une plante peut contenir de nombreuses substances actives dont les propriétés chimiques diffèrent. Dont les propriétés chimiques diffèrent. De plus, l'extraction du pesticide implique

Méthodologie:

l'utilisation de solvants organiques, qui polluent l'environnement par leur élimination. En outre, les pesticides biologiques ont une courte durée de vie, étant donné leur taux élevé de biodégradabilité. Taux élevé de biodégradabilité. En ce qui concerne la spécificité du pesticide microbien, les microbes ne peuvent contrôler qu'une partie des ravageurs présents dans un champ. Des ravageurs présents dans un champ. Ils peuvent ne pas contrôler d'autres types de parasites présents dans les zones traitées, ce qui peut entraîner des dommages continus. Dommages continus. L'efficacité des pesticides microbiens est réduite par la chaleur, les rayons UV et la dessiccation. D'administration devient un facteur microbien essentiel. En outre, la nécessité de formulations et de procédures de stockage particulières entraîne une courte durée de conservation. En outre, la nécessité de formulations et de procédures de stockage particulières entraîne une courte durée de conservation, ce qui, à son tour, crée le problème du développement coûteux, des méthodes de production et de l'incohérence des performances sur le terrain. De développement, de méthodes de production et d'incohérence dans les performances sur le terrain. De même, une coopération entre les secteurs public et privé est nécessaire pour améliorer le développement, la fabrication et la vente de cette alternative écologique. Pour cette raison, la découverte de substances actives et le travail scientifique sur la formulation et la livraison amélioreraient la commercialisation et l'utilisation des biopesticides. La commercialisation et l'utilisation des biopesticides. L'octroi de subventions et la mise à disposition des pesticides biologiques aux agriculteurs, en particulier dans les pays en développement, semblent nécessaires pour promouvoir l'utilisation des biopesticides. Pays en développement, semblent nécessaires pour promouvoir la commercialisation des biopesticides. Cependant, la réglementation des processus qui favorisent l'enregistrement des substances à faible risque peut améliorer l'exploitation et l'accessibilité des biopesticides sur le marché (Essiedu et al.,2020).

XI. Réglementation des biopesticides

XI.1. Cadre juridique

Du point de vue de la réglementation et de l'homologation au niveau mondial, la définition la plus acceptée du terme biopesticide est celle de l'Agence américaine de protection de l'environnement (USEPA). La Division of Biological and Pollution Prévention (BPPD) de l'USEPA sépare le terme "biopesticides" en trois grandes catégories

Méthodologie:

: les agents microbiens de lutte contre les parasites, les pesticides biochimiques et les organismes génétiquement modifiés (OGM). Mais en raison de leur nature transgénique, les OGM ne sont pas reconnus par l'Union européenne (UE) comme des biopesticides. Le terme actuel utilisé dans l'UE à la place de biopesticides est celui d'agents de biocontrôle (BCAS). Dans la plupart des pays, ces produits sont réglementés par des agences gouvernementales pour leur authenticité et leur utilisation dans le domaine agricole. Comme ces produits contiennent la plupart du temps des organismes vivants ou leurs produits dérivés, il y a des problèmes dans les processus réglementaires et aussi des obstacles à l'importation et à l'exportation. Il a également été observé que souvent, le coût d'enregistrement est très élevé. Les biopesticides microbiens sont disponibles dans le commerce depuis plus de 30 ans, mais ils représentent moins de 1 % du marché mondial de la production agricole. Il est nécessaire de développer de nouvelles techniques pour améliorer ou modifier les biopesticides existants afin d'accélérer leur production. Les données sur les niveaux de vente actuels des biopesticides suggèrent qu'en général, les coûts d'enregistrement s'élèvent à 40 % des ventes annuelles (ACP 2004). Le coût des tests d'efficacité des produits pour répondre aux exigences d'enregistrement est également très élevé. (Arora et al., 2016)

La réglementation des biopesticides est un processus très important mais c'est aussi un domaine très complexe et dynamique. Selon Guest (2015), le développement de processus de réglementation prédictifs et efficaces pour les biopesticides est une question importante, et il faut s'assurer que le produit biopesticide est sûr et cohérent sans limiter la commercialisation, alors que la croissance du marché est également influencée par des pressions politiques et sociétales. Les exigences en matière de données sous forme de dossier constituent à nouveau un processus lourd dans le développement des biopesticides a discuté de certaines des raisons liées à l'échec de la sous- mission des données pour le développement des biopesticides dans le contexte européen, mais certaines d'entre elles sont rapportées globalement : (Arora et al., 2016)

- Les exigences en matière de données ne sont pas clairement définies et sont souvent adaptées comme dans le cas des produits chimiques.
- Les documents d'orientation et les méthodes d'essai sont également mis en place comme pour les substances chimiques.
- Les points finaux des évaluations des risques ne sont pas clairement établis.

Méthodologie:

- Les régulateurs et les évaluateurs de risques manquent d'expertise. (Arora et al., 2016)

S'est également opposé à l'idée de suivre le modèle des pesticides chimiques pour réglementer les biopesticides et a fait valoir que l'ensemble du processus de réglementation des pesticides ne veut pas s'adapter aux nouvelles possibilités qu'offrent les biopesticides. Bien que les biopesticides soient utilisés dans le monde entier, les processus de réglementation et les autorités concernées varient aux niveaux régional ou national. Divers organismes et agences de réglementation, tels que l'Organisation internationale de lutte biologique (OILB), l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes (OEPP) et l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), ont essayé de temps à autre de résoudre les problèmes d'homologation rencontrés par les pays, mais le succès est limité. L'application de nouveaux biopesticides peut nécessiter de nouveaux défis réglementaires et économiques en raison de leur nature très diverse, qui doivent être abordés conjointement par les scientifiques sociaux et naturels, les décideurs politiques et les industries (Kumar 2015). Les principaux objectifs de la réglementation sont, tout d'abord, la protection de l'homme et de l'environnement (pour des raisons de sécurité) et, deuxièmement, la caractérisation des produits et ainsi s'assurer que les fabricants fournissent des produits de qualité cohérente et fiable (Arora et al., 2016)

XI.2. Règlements dans le monde entier

L'enregistrement des biopesticides est peut-être la partie la plus complexe dans le monde. On a constaté récemment une augmentation des produits biopesticides enregistrés, mais cette augmentation pourrait être plus importante si le processus d'enregistrement était harmonisé au niveau mondial. Les différents types d'autorités et de règlements émergeant pour réglementer les biopesticides, sont résumés dans le **(tableau 06)** (Arora et al., 2016).

Tableau 6 : Aperçu de la réglementation sur les biopesticides

Nom du pays	Principales actions/organismes de réglementation
Inde	La loi sur les insecticides (1968) réglemente les biopesticides pour leur production et leur application induites. La CIB et la RC travaillent dans le cadre de cette loi en tant qu'organismes très puissants pour réglementer les biopesticides. L'ICAR joue également un rôle dans la réglementation des biopesticides.
Chine	Le règlement sur l'administration des pesticides (1997) a été introduit pour réglementer le marché des pesticides, des biopesticides et des produits agrochimiques, les biopesticides étant réglementés par le MOA en plus d'autres ministères. L'ICAMA est l'autorité réglementaire nationale qui supervise l'enregistrement des pesticides.
Corée du Sud	L'enregistrement des pesticides au first niveau est régi par l'AMD et la RDA, puis il est évalué par le PSED et le NAAS. L'AMD dispose d'un conseil qui s'occupe de la sécurité des produits

Méthodologie:

	agrochimiques. Le règlement sur les pesticides microbiens, 2005, contient des directives pour les biopesticides, et en 2009, il a été adopté comme loi sur la gestion des produits chimiques agricoles (RDA2009).
Pakistan	Le PARC est responsable de la surveillance des pesticides (Jabbar et Mallick 1994) et le PBR (2005) réglemente la commercialisation ou le commerce des micro-organismes vivants ou de tout produit connexe à quelque fin que ce soit. La règle 21 du PBR régit les GEM, les cellules ou les produits et stipule que ces produits doivent être approuvés par le NBC.
Kenya	L'autorité kenyane de réglementation des pesticides est le PCPB, qui bénéficie du soutien d'une série de parties prenantes, comme le DFID britannique. La loi sur l'agriculture (Cap 318) est responsable des importations et des exportations d'organismes vivants. La loi KEPHIS, Cap 512 2013, et la loi sur la protection des végétaux réglementent les importations et les exportations d'organismes vivants. La loi sur les produits antiparasitaires participe également à l'enregistrement et à la réglementation des pesticides microbiens.
Tanzanie	En Tanzanie, l'organisme chargé de la réglementation des pesticides s'appelle TPRI et dépend du ministère de l'agriculture.
Nigeria	Au Nigéria, la NAFDAC est une agence qui dépend du ministère fédéral de la santé et qui est responsable du contrôle de la fabrication, de la vente et de la distribution des engrais, des biofertilisants et des biopesticides.

Tableau 07 : Aperçu de la réglementation sur les biopesticides (suite)

Nom du pays	Principales actions/organismes de réglementation
Royaume-Uni	Au Royaume-Uni, le principal organisme de réglementation des biopesticides est le CRD/PSD. Le CRD est une nouvelle direction du HSE qui réglemente les pesticides, les biocides, les détergents et les produits chimiques dans le cadre de REACH. Le « Biopesticide scheme » joue également un rôle important dans la réglementation des biopesticides.
Ukraine	En Ukraine, le MSIPP est responsable de l'enregistrement des biopesticides et de tous les autres produits phytosanitaires. La plupart de ces organisations relèvent des instituts de recherche de l'UAAN et de la NANU, ces derniers étant régis par le ministère de l'éducation et des sciences.
Pays-Bas	Comme le programme Biopesticide the au Royaume-Uni, le programme Genoeg aux Pays-Bas a permis de réglementer les biopesticides. Genoeg est un processus "ascendant" par lequel une coalition d'agences et d'autres parties intéressées sont impliquées dans la création de nouvelles réglementations. Ce programme a été développé pour améliorer la production de biopesticides par des actions réglementaires efficient.
Allemagne	Au niveau national, le règlement en Allemagne (CE) n° 1107/2009 est mis en œuvre par le biais du GPPA 2012. Le PPA couvre les produits phytosanitaires, les adjuvants et les améliorateurs de résistance des plantes. En 2003, PAN a lancé le programme OISAT en Allemagne et l'objectif de ce service est de limiter l'utilisation de pesticides dangereux en fournissant des alternatives sûres.
USA	L'USEPA est la principale autorité chargée de réglementer l'utilisation, la vente et la distribution des pesticides biologiques. L'USEPA comporte principalement trois parties ①) FIFRA 1947, (2) FFDCA 1938 et(3) FQPA 1996. L'US-BPIA promeut des normes industrielles pour les biopesticides. La BPIA collabore avec l'EPA pour enregistrer les biopesticides et est également une source importante d'informations fiables sur les biopesticides.
Canada	L'ARLA réglemente les biopesticides, ce qui implique l'évaluation et l'homologation des pesticides et l'élaboration de lignes directrices conjointes pour les biopesticides avec l'EPA et l'OCDE. La réglementation des macrobiens non indigènes est administrée par l'ACIA en vertu de la Loi sur la protection des végétaux de 1990. Le Centre de la lutte antiparasitaire d'Agriculture et Agroalimentaire Canada s'est engagé à améliorer l'accès aux biopesticides dans le cadre de son Programme de réduction des risques liés aux pesticides.
Cuba	En 2007, un processus formel d'enregistrement a été publié et quatre institutions - CNSV, CICA, CNSB, EQDNCP - réglementent les biopesticides, et une ou plusieurs d'entre elles sont

Méthodologie:

	impliquées dans le processus d'enregistrement.
Colombie	En Colombie, PALO est responsable de l'inspection régulière du commerce des biopesticides et effectue des inspections directes régulières sur le contrôle de la qualité. La Colombie dispose d'une réglementation spécifique pour les biopesticides, qui a été établie en 1994 et mise à jour en 2004. Actuellement, seules les études de toxicité aiguë sont requises et examinées par le ministère de la Santé.
Australie	La réglementation des biopesticides est régie par le NRS qui est un programme de partenariat entre les gouvernements des États et des territoires australiens. Actuellement, le COAG est l'organisme de réglementation le plus important. Le système de réglementation est contrôlé par une autorité appelée APVMA 1992, qui était auparavant connue sous le nom de NRA.
Nouvelle-Zélande	Les biopesticides, principalement les pesticides microbiens, sont régis par la loi HSNO, pour leur enregistrement. Une fois approuvés par le HSNO, les biopesticides doivent également être enregistrés en vertu de la loi ACVM de 1997.

XII. Statut actuel des biopesticides

À l'heure actuelle, les biopesticides ne représentent que 2 % des produits phytosanitaires utilisés dans le monde, mais leur taux de croissance a augmenté au cours des deux dernières décennies. La production mondiale de biopesticides a été estimée à plus de 3 000 tonnes par an, et elle augmente rapidement. L'augmentation de la demande de produits agricoles sans résidus, la croissance du marché des aliments biologiques et la facilité d'enregistrement par rapport aux pesticides chimiques sont autant d'éléments qui contribuent à cette croissance. Et l'enregistrement plus facile que les pesticides chimiques sont quelques-uns des principaux moteurs du marché des biopesticides. Au niveau mondial, l'utilisation des biopesticides augmente régulièrement de 10% chaque année. Environ 90% des biopesticides microbiens sont dérivés d'une seule bactérie entomopathogène, *Bacillus thuringiensis*. Plus de 200 produits sont vendus sur le marché américain, contre seulement 60 produits comparables dans l'UE. Plus de 225 biopesticides microbiens sont fabriqués dans 30 pays de l'OCDE. Les pays de l'ALENA (États-Unis, Canada et Mexique) utilisent environ 45 % des biopesticides vendus, tandis que l'Asie reste à la traîne avec seulement 5 % des biopesticides vendus dans le monde. (Kumar et Singh 2015)

La plupart des pays ont modifié leurs politiques pour minimiser l'utilisation des pesticides chimiques et promouvoir l'utilisation des biopesticides; cependant, les biopesticides sont encore largement réglementés par le système initialement conçu pour les pesticides chimiques. Cela a créé des obstacles à l'entrée sur le marché en imposant des coûts lourds à l'industrie des biopesticides. Bien que plusieurs lacunes technologiques et politiques aient été identifiées pour une utilisation efficace des biopesticides, elles doivent

Méthodologie:

être traitées de manière appropriée au niveau national. Les mesures politiques doivent être renforcées afin de réduire l'utilisation excessive des pesticides chimiques et de promouvoir l'utilisation des biopesticides. (Kumar et Singh, 2015)

L'un des principaux obstacles à la promotion des biopesticides en tant qu'alternative aux pesticides chimiques est le manque de profil des biopesticides, qui reflète la faiblesse du réseau politique de soutien. L'immaturation relative du réseau politique, les ressources et les capacités limitées, et le manque de confiance entre les régulateurs et les producteurs sont quelques-uns des problèmes sérieux. Une meilleure compréhension du mode d'action des biopesticides, de leurs effets et des questions réglementaires qui se posent lors de leur adoption peut contribuer à améliorer leur profil auprès du public et des décideurs, et donc leur permettre de contribuer à la durabilité. Comme la sécurité environnementale est une préoccupation mondiale, nous devons sensibiliser les agriculteurs, les fabricants, les organismes gouvernementaux, les décideurs et les gens ordinaires pour qu'ils passent aux biopesticides pour répondre aux besoins de la lutte antiparasitaire. (Kumar et Singh 2015)

XIII. Progrès récents des biopesticides

La science des biopesticides est encore considérée comme jeune et en pleine évolution. Des recherches approfondies sont nécessaires dans de nombreux domaines tels que la production, la formulation, l'administration et la commercialisation des produits. Certains des biopesticides, actuellement en cours de développement, pourraient s'avérer d'excellentes alternatives aux pesticides chimiques. Beaucoup d'entre eux sont basés sur des plantes disponibles localement comme le beshram, le neem, l'ail, le triphala, le pinus kesia, etc. qui peuvent être facilement transformés et mis à la disposition des agriculteurs pour améliorer la consommation de biopesticides. En plus de la recherche continue de nouvelles biomolécules et de l'amélioration de l'efficacité des biopesticides connus, la technologie de l'ADN recombinant est également déployée pour améliorer l'efficacité des biopesticides. De nouvelles protéines de fusion sont en cours de conception pour développer les biopesticides de la prochaine génération. Cette technologie permet de combiner une toxine (non toxique pour les animaux supérieurs) avec une protéine porteuse, ce qui la rend toxique pour les insectes nuisibles lorsqu'elle est consommée par voie orale, alors qu'elle n'était toxique que lorsqu'elle était injectée dans une proie cible par un prédateur. La protéine de fusion peut être produite en tant que protéine recombinante dans un système microbien, qui peut être mis à l'échelle pour une production industrielle et des

Méthodologie:

formulations commerciales. Plusieurs autres approches innovantes sont également appliquées pour développer des biopesticides en tant que mesures de contrôle des nuisibles efficaces, efficientes et acceptables. (Kumar et Singh 2015)

XIV. Perspectives d'avenir

Les biopesticides attirent l'attention du monde entier en tant que stratégie plus sûre pour gérer les populations de nuisibles telles que les mauvaises herbes, les agents pathogènes des plantes et les insectes, tout en présentant moins de risques pour l'homme et l'environnement. Aux États-Unis, les biopesticides sont contrôlés par l'Agence de protection de l'environnement qui soutient leur enregistrement sur la base des conclusions de " l'absence d'effets néfastes déraisonnables " pour l'homme et l'environnement afin d'autoriser leur vente et leur distribution en vertu de la Fédéral Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act (FIFRA), et qui garantit une " certitude raisonnable d'absence d'effets néfastes " en vertu de la Fédéral Food, Drug, and Cosmétique Act (FFDCA) afin de fournir des denrées alimentaires et des aliments pour animaux sans résidus de pesticides. La plupart du temps, ce sont les agriculteurs qui sont touchés par les problèmes de résistance aux pesticides et de retrait des produits phytopharmaceutiques, et pourtant ils sont les "preneurs de décisions" plutôt que les "décideurs". Par conséquent, une approche du secteur public et privé pour le développement, la fabrication et la vente d'alternatives écologiques aux pesticides chimiques pour les pays en développement est nécessaire. (Kumar et Singh 2015)

La recherche en matière de production, de formulation et de distribution peut grandement contribuer à la commercialisation des biopesticides. Il faut poursuivre les recherches en vue d'intégrer les agents biologiques dans les systèmes de production et d'améliorer la capacité des pays en développement à fabriquer et à utiliser des biopesticides. Parallèlement, il est également nécessaire d'encourager les programmes financés par des fonds publics, les investisseurs commerciaux et les entreprises de pesticides à se lancer dans les entreprises de biopesticides. Il est tout aussi important d'élaborer des mécanismes de réglementation stricts pour maintenir la qualité et la disponibilité des biopesticides à un coût abordable dans les pays en développement. Ainsi, les divers aspects des biopesticides couvrant l'état actuel, les contraintes, les perspectives et le réseau de réglementation en vue de leur utilisation efficace pour le bien de l'humanité doivent être examinés régulièrement. (Kumar et Singh 2015)

Méthodologie:

Conclusion

Conclusion:

Conclusion

On peut dire que les biopesticide sont l'épine dorsale ou le mot secret de la durabilité de l'agriculture biologique, car l'agriculture biologique empêche complètement l'utilisation de pesticides chimiques, et dans le cas de l'utilisation de ces pesticides, la zone passe automatiquement à l'agriculture traditionnelle ou système agricole classique, et donc l'intérêt de découvrir et de produire de nouveaux et nombreux types de biopesticides est le défi futur le plus important auquel sont confrontés les producteurs et les chercheurs dans ce domaine. D'autant plus que les biocides sont principalement conçus pour contrôler uniquement les espèces ciblées et ne sont pas toxiques pour les insectes utiles, et moins toxique pour les humains et les animaux. Cependant, la nouveauté de ce groupe de pesticides et les différentes substances actives qu'ils contiennent par rapport aux pesticides chimiques traditionnels rendent leur production et leur application particulièrement dans le domaine de la détermination de l'équilibre entre les taux ou niveaux de contrôle et les niveaux de dommages avec le changement du nombre de ravageurs, un processus qui nécessite une expertise technique élevée qui peut ne pas être disponible dans tous les pays.

Puisque les biopesticide peuvent être affectés par des facteurs climatiques, leurs performances ou leur efficacité pouvant également être produites à partir d'organismes génétiquement modifiés, il est préférable de produire ces biocides localement. Ce qui augmente son efficacité et réduit ses coûts de production. Cela nécessite que chaque pays ait sa propre stratégie et sa propre technologie moderne dans la production de pesticides biologiques. Ainsi, il devient clair que l'avenir et la durabilité de l'agriculture biologique dépendent des progrès dans la production et la fabrication de biopesticides sûrs, ce qui garantit l'élimination complète de ravageurs qui causent diverses maladies.

Références

Bibliographiques

Référence Bibliographique:

- 1 Almallah N.2015.مبيدات الحشرات الحيوية. كلية الزراعة و الغابات جامعة الموصل.الموصل.P 298
- 2 Adjallé k.2009. Étapes d'ultrafiltration et procédés de formulation dans la production de biopesticides à base de bacillus thuringiensis en utilisant des eaux usées et des boues d'épuration comme substrat. Université du québec institut national de la recherche scientifique centre - eau terre environnement.p 290
- 3 ARORA N.K.,VERMA M.,PRAKASH J.,MISHRA J.2016.Regulation of biopesticides :Global concerns and policides. Department of Environmental Microbiology, School for Environmental Sciences, Babasaheb Bhimrao Ambedkar University, Lucknow 226025, Uttar Pradesh, India e-mail: nkarora_net@rediffmail.com.DOI:10.1007/978-81-322-2779-3-13.
- 4 Awad M.K.2012. Les Biopesticides : une recherche fondamentale vers une valorisation industrielle. Faculté des sciences Université Saint- Joseph.ppt 10-22
- 5 Ashishie1 P.B., Ashishie2 C.A.2018. Biopesticide, their Ecological and Toxicological Effects (Review). 1Department of Pure and Applied Chemistry, University of Calabar, Calabar-Nigeria 2Federal College of Education, Obudu Cross River State, Nigeria.Volume 7 auguste 2018(8). DOI: 10.18483/ijSci.1736; Online ISSN: 2305-3925; Print ISSN: 2410-4477
- 6 Alam G. 2000. A Study of Biopesticides and Biofertilisers in Haryana, India. International Institute for Environment and Development 3 Endsleigh Street London WC1H 0DD GATEKEEPER SERIES NO.SA93. ISSN 1357-9258
- 7 Deravel J.,Krier F.,Jacques P.2013. Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). Biopesticides, alternatives aux produits phytosanitaires chimiques. 2014 18(2), 220-232
- 8 Essiedu J.A.,Adepoju O.F.,Lvantsova M.N.2020. Benefits and Limitations in Using Biopesticides: A Review. Institute of Chemical Engineering, Ural Federal University, 19 Mira St., Yekaterinburg, 620002, Russia. a)Corresponding author: asiedujustice@gmail.com b)besee010@gmail.com c)m.n.ivanstova@urfu.ru.
- 9 Hashem M.2015.الزراعة العضوية.مدينة الملك عبد العزيز و التقنية الادارة العامة للتوعية العلمية و 2015.النشر.الرياض.ص86
- 10 HASSAN E.,GOKCE A.2014.production and consumption of biopesticides.springer the language of science.DOL :10.1007/978-81-322-2006-0-15.

Référence Bibliographie:

- 11** Kumar J.,Ramlal A.,Mallick D.,Mishra V.,2021. An Overview of Some Biopesticides and Their Importance in Plant Protection for Commercial Acceptance. *Plants* 2021, 10, 1185.2of 15.
- 12** Kumar S.,Singh A. 2015. Biopesticides: Present Status and the Future Prospects. *J Fertil Pestic* 6: e129. doi:10.4172/jbfbp.1000e129 (Marrone,2014)
- 13** Kumar J.,Ramlal A.,Mallick D.,Mishra V.,2021. An Overview of Some Biopesticides and Their Importance in Plant Protection for Commercial Acceptance. *Plants* 2021, 10, 1185.2of 15.
- 14** Marrone P.G.2014. TheMarketand Potential for Biopesticides. MarroneBioInnovations,Inc. 2121SecondStreet,A-107, Davis, California 95616 *E-mail: pmarrone@marronebio.com. 10.1021/bk-2014-1172.ch16.
- 15** Manchandrade I.2019.BIO-BESTICIDES : A VIABLE TOOL FOR ORGANIC FARMING.*International Journal of Microbiology Research* ISSN: 0975-5276 & E-ISSN: 0975-9174, Volume 11, Issue 7, 2019, pp.-1660-1664.Available online at <https://www.bioinfopublicationorg/jouarchive.php?opt=&jouid=BPJ0000234>
- 16** Nadao A.2018. Procédés de fortification, de floculation et de formulation dans la production de Biopesticide à partir des eaux usées d'industrie d'amidon à base de *Bacillus Thuringiensis* var. *kurstaki*. Université de Québec Institut National de la recherche Scientifique Centre Eau Terre Environnement.
- 17** Nollet M.L., singh Rathore. 2015.BIOPESTICIDES HANDBOOK.CBCpress taylor & francic groupe, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business.International Standard Book Number-13: 978-1-4665-9653-5 (eBook - Pdf
- 18** Senthil-Nathan S.2015. A Review of Biopesticides and Their Mode of Action Against Insect Pests. A Review of Biopesticides and Their Mode of Action Against Insect Pests.10.1007/978-81-322-2056-5_3.
- 19** Villaverde J.J., Sandín-España P.,Sevilla-Morán B.,López-Goti C.,Alonso-Prados J.L.2016. Biopesticides from Natural Products: Current Development, Legislative Framework, and Future Trends. *Natural biopesticides BioResources* 11(2), 5618-5640.

Webographie

Référence Bibliographique:

1. [:https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.iriisphytoprotection.qc.ca%2FImages%2FIRIIS_Images%2Fselections%2FImage_1912.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.iriisphytoprotection.qc.ca%2FFiche%2FChampignon%3FimageId%3D1912&tbnid=mMilRI25P5OOpM&vet=1&docid=_UmcbTbfF_9BbM&w=2000&h=1500&itg=1&source=sh%2Fx%2Fim&fbclid=IwAR1FvG1Ee4QPr8BGAmQ_QRizD_9uvjUNh3rtEEQ4Ly5bdbn_r2HobEEvbMM](https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.iriisphytoprotection.qc.ca%2FImages%2FIRIIS_Images%2Fselections%2FImage_1912.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.iriisphytoprotection.qc.ca%2FFiche%2FChampignon%3FimageId%3D1912&tbnid=mMilRI25P5OOpM&vet=1&docid=_UmcbTbfF_9BbM&w=2000&h=1500&itg=1&source=sh%2Fx%2Fim&fbclid=IwAR1FvG1Ee4QPr8BGAmQ_QRizD_9uvjUNh3rtEEQ4Ly5bdbn_r2HobEEvbMM)
2. <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1049964411002970-fx1.jpg&imgrefurl=https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964411002970&tbnid=wt2hcKqfsRJ5IM&vet=1&docid=jP-itUdM6sOCxM&w=296&h=200&source=sh/x/im>
3. https://www.gerbeaud.com/jardin/jardinage_naturel/huile-neem-insecticide-acaricide-naturel.php?fbclid=IwAR2G2eGkkgXJVVPhsbn4_XVlz_zfIO966BGIL-iKKc6WqLYuzHdVwPknRcA
4. https://www.ecolomag.fr/la-plante-du-mois-le-neem-la-plante-qui-guerit-de-tous-les-maux/?fbclid=IwAR2G2eGkkgXJVVPhsbn4_XVlz_zfIO966BGIL-iKKc6WqLYuzHdVwPknRcA
5. [:https://jardinage.ooreka.fr/astuce/voir/535375/pyrethre-naturel?fbclid=IwAR11N7Rx_Gukxg8JwV8ICOc4X1MsUa_3reT4Cqpq7-DrnIkhqTJJpLxOYZQ](https://jardinage.ooreka.fr/astuce/voir/535375/pyrethre-naturel?fbclid=IwAR11N7Rx_Gukxg8JwV8ICOc4X1MsUa_3reT4Cqpq7-DrnIkhqTJJpLxOYZQ)
6. https://www.tromelin-compagnie.com/insecticide-en-poudre-au-pyrethre-vegetal-saniterpen-500g-xml-743_817-1317.html?fbclid=IwAR2cWk82gG6sFEGktgUZDAyWlSabnJdR5mzzTPKbEA8XdhY7K0E-mf0HHjA
7. <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.jardiner-malin.fr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F10%2Fcoccinelle.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.jardiner-malin.fr%2Ffiche%2Fcoccinelle-utilite-jardin.html&tbnid=zPgNAX18USnsrM&vet=1&docid=QZlhwXrA4vn5aM&w=1000&h=733&source=sh%2Fx%2Fim&fbclid=IwAR2XIqPvpHlxtJ0ofVOjZk42i0xVsCB9eq0crnKFK5vC8L40uIoTT5Gfok>
8. https://www.google.com/imgres?imgurl=https://www.insectesutiles.fr/66-thickbox_default/rodolia-cardinalis.jpg&imgrefurl=https://www.insectesutiles.fr/insectes-utiles/57-rodolia-

Référence Bibliographie:

- cardinalis.html&tbnid=PexbCsnHpUcLZM&vet=1&docid=b7qJJ-Ud15qVGM&w=800&h=800&source=sh/x/im
9. https://www.google.com/imgres?imgurl=https://www.insectesutiles.fr/432-medium_default/rodolia-cardinalis.jpg&imgrefurl=https://www.insectesutiles.fr/insectes-utiles/57-rodolia-cardinalis.html&tbnid=7OLbwxYZjO2s1M&vet=1&docid=b7qJJ-Ud15qVGM&w=452&h=452&source=sh/x/im
 10. https://moodle.insa-rouen.fr/pluginfile.php/143401/mod_folder/content/0/Rapport_P6_2020_09.pdf?force_download=1
 11. <http://tpehuilesessentiellesetsante.e-monsite.com/pages/i-les-huiles-essentielles-une-utilisation-millenaire/definition/b-les-differentes-techniques-d-extraction-des-huiles-essentielles.html>
 12. <https://www.inrae.fr/actualites/microbiote-nematodes-entomopathogenes-pas-plus-comprehension-du-mode-vie-parasites-bio-insecticides>

