



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE –
VAKINANKARATRA



Mention : AGRICULTURE ET ELEVAGE

Parcours : Sciences et Techniques Agricoles

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
LICENCE

**Etude comparative de l'efficacité des extraits aqueux de
Tephrosia vogelli, *Capsicum frutescens* et *Azadirachta indica*
contre *Plutella xylostella* sur le chou-fleur.**

Soutenu le 03 Novembre 2023

Par :

RAHERIJAONA Maminasolo Olivier

Devant le jury composé de :

Président de jury : Docteur ANDRIAMAMPIANINA Herizo Lalaina.

Examineur : Docteur RAVELOSON Harinjaka.

Rapporteur pédagogique : Docteur RAKOTOSON Luciano Tatiana.

Rapporteur professionnel : Monsieur RAVELOSON Jacky Etienne.

PROMOTION MAMOA



Année universitaire : 2022-2023



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE –
VAKINANKARATRA

Mention : AGRICULTURE ET ELEVAGE

Parcours : Sciences et Techniques Agricoles

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
LICENCE

**Etude comparative de l'efficacité des extraits aqueux de
Tephrosia vogelli, *Capsicum frutescens* et *Azadirachta indica*
contre *Plutella xylostella* sur le chou-fleur.**

Soutenu le 03 Novembre 2023

Par :

RAHERIJAONA Maminasolo Olivier

Devant le jury composé de :

Président de jury : Docteur ANDRIAMAMPIANINA Herizo Lalaina.

Examineur : Docteur RAVELOSON Harinjaka.

Rapporteur pédagogique : Docteur RAKOTOSON Luciano Tatiana.

Rapporteur professionnel : Monsieur RAVELOSON Jacky Etienne.

Année universitaire : 2022-2023

REMERCIEMENTS

Je rends grâces à Dieu TOUT PUISSANT, par son Eternel Amour et sa Bénédiction me guide chaque jour et me donne la force pour accomplir ce présent travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à :

- Monsieur ANTSONANTENAINA Ononamandimby, Directeur de l'Institut d'Enseignement Supérieur Antsirabe Vakinankaratra (IES-AV).
- Monsieur ANDRIAMAMPIANINA Herizo Lalaina, Président du jury. Docteur en Biochimie.
- Monsieur RAVELOSON Harinjaka, Docteur en Biotechnologie, Mon examinateur.
- Madame RAKOTOSON Luciano Tatiana, Docteur en Agrobiotechnologie. Mon encadreur pédagogique.
- Monsieur RASAMIMANANA Noelinantenaina Andry, responsable du centre CEFFEL de nous avoir accueillis comme stagiaire dans son établissement.
- Madame RANDRIANTSALAMA Liliane, Formatrice et responsable Atelier maraichage.
- Monsieur RAVELOSON Jacky Etienne, Formateur et Conseiller Filière Semences. Mon encadreur professionnel durant la réalisation du stage.
- Monsieur RAKOTONDRAVELO Jean Marc, chef d'équipe pendant notre stage
- Toutes les équipes du centre CEFFEL pour donner toutes les connaissances.
- Enfin nous tenons mon sincère remerciement à mes parents : vous m'avez entouré de votre amour et de votre protection. Vous m'avez toujours facilité le passage à travers les obstacles qui se trouvaient à chaque fois sur ma voie. Vous ne m'avez jamais oublié dans vos prières.

Je vous remercie pour les sacrifices que vous avez faits pour moi. Sachez que je n'oublierai jamais.

RESUME

La teigne de crucifère, *Plutella xylostella* est un insecte inféodé aux cultures des choux fleurs. Elle est susceptible de détruire une culture si des mesures de lutte ne sont pas prises. La lutte chimique se fait de manière très intense, mais l'utilisation continue d'un seul produit chimique peut entraîner le développement de résistance chez les ravageurs. C'est pourquoi, il faut trouver d'autres produits à utiliser en alternance avec les pesticides habituels. Cette étude vise à évaluer l'efficacité des extraits aqueux des trois plantes insecticides (Neem, piment, tephrosia) et de déterminer les dégâts causés par le Plutellidae. Une expérimentation a été effectuée à Antsirabe I dans les parcelles disposée en bloc complet, randomisé et équilibré, comprenant 4 blocs avec 3 traitements et 1 témoin. Les résultats obtenus montrent que les trois produits biopesticides présentent une action insecticide sur les larves des populations de *Plutella xylostella*, plus précisément sur l'inappétence et la mortalité des larves. Et il faut souligner que l'extrait de piment se présente comme la meilleure alternative aux biopesticides pouvant être utilisé en culture des choux.

Mots clés : *Plutella xylostella*, chou-fleur, dégâts, biopesticides.

ABSTRACT

The diamondback moth, *Plutella xylostella*, is an insect native to cauliflower crops. It can destroy a crop if control measures are not taken. Chemical control is very intensive, but the continuous use of a single chemical product can lead to the development of resistance in the pests. This is why we need to find other products to use in alternation with the usual pesticides. This study aims to evaluate the efficacy of aqueous extracts of three pesticidal plants (Neem, chilli, tephrosia) and to determine the damage caused by Plutellidae. An experiment was carried out at Antsirabe I in plots laid out in complete, randomized and balanced blocks, comprising 4 blocks with 3 treatments and 1 control. Results showed that all three biopesticides had an insecticidal effect on *Plutella xylostella* larvae, and more specifically on larval inappetence and mortality. And it should be emphasized that chilli extract is the best alternative to biopesticides for use in cabbage crops.

Key words: *Plutella xylostella*, cauliflower, damage, biopesticides

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
RESUME	II
TABLE DES MATIERES	iii
LISTES DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTES DES ANNEXES	vi
LISTES DES SIGLES ET UNITES DE MESURES	vii
LISTE DES ABREVIATIONS	viii
GLOSSAIRE	ix
INTRODUCTION	1
Partie I : GENERALITES	3
I. ETAT DE CONNAISSANCE SUR <i>PLUTELLA XYLOSTELLA</i>	3
I.1 Statut du ravageur	3
I.1.1 Systématique	3
I.1.2 Situation géographique et migration	3
I.2 Biologie et écologie	4
I.2.1 Les stades pré-imaginaux	4
I.2.2 La nymphe	6
I.2.3 L'adulte	6
I.3 Cycle de développement	7
I.4 Plantes hôtes	8
II. ETAT DE CONNAISSANCE SUR LE CHOU-FLEUR	9
II.1 Définition	9
II.2 Description	9
II.3 Physiologie de plante	9
II.4 Condition de développement	10
II.5 La culture	10
II.6.1 Mise en place de pépinière	11
II.6.2 Repiquage	12
II.6 Entretien de culture	12
II.7.1 Arrosage	12
II.7.2 Désherbage	12
II.7.3 Binage	13
II.7.4 Ombrage	13

II.7	Fertilisation	13
II.8	Maladie et ravageurs	13
II.9.1	Définition	13
II.9.2	Déroulement	14
II.9	Rendement	14
III.	LES BIOPESTICIDES	15
III.1	Contexte international et national des biopesticides	15
III.2	Définition	16
III.3	Classification de biopesticides	16
III.3.1	Biopesticides microbiens	16
III.3.2	Biopesticides végétaux	17
III.3.3	Biopesticides animaux	18
III.4	Avantages des biopesticides	18
III.5	Inconvénients des biopesticides	19
III.6	Limites à l'usage des biopesticides	19
III.7	Statut actuel des biopesticides	20
IV.	PRESENTATION DU CEFFEL (Etablissement d'accueil)	21
IV.1	Présentation	21
IV.2	Domaine d'intervention	21
IV.2.1	Formations	21
IV.2.2	Conseil économique	22
IV.2.3	Conseil filière	22
IV.2.4	Autres activités	22
IV.3	Objectifs et historiques	22
IV.4	Ressources	23
Partie II	MATERIELS ET METHODES	25
I.	MATERIELS	25
I.1	Présentation de la zone d'étude	25
I.2	Matériel biologique	26
I.2.1	Chou-fleur	26
I.2.2	<i>Plutella xylostella</i>	26
I.3	Biopesticides utilisés.	27
II.	METHODES	28
II.1	Expérimentation	28
II.2	Variables mesurées et calculées	31

II.2.1.	Variable mesurées	31
II.2.2.	Méthode d'échantillonnage	31
II.2.3.	Evolution de nombre moyen des larves	31
II.2.4.	Taux de mortalités	31
II.2.5.	Perforation foliaire	31
II.3	Analyses de données	32
Partie III	RESULTATS ET DISCUSSIONS	33
I.	RESULTATS ET INTERPRETATION	34
I.1	Efficacités de biopesticides	34
I.1.1	Larves vivantes	34
I.1.2	Larves mortes	35
I.2	Comparaison de l'efficacité des produits biopesticides	36
I.2.1	Nombre de larves des parcelles traitées selon le jour d'évaluation	36
I.2.2	Taux de mortalités	36
I.2.3	Perforation foliaire	38
II.	DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS	39
1.	Discussion sur l'efficacité des plantes biopesticides	39
2.	Discussion entre l'efficacité des trois produits biopesticides	40
2.1.	Taux de mortalité	40
2.2.	Perforation foliaire	40
III.	SUGGESTION	41
	CONCLUSION	42
	REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES	43
	ANNEXE	I

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Carte de répartition de <i>Plutella xylostella</i>	4
Figure 2 : Œufs de <i>P. xylostella</i>	5
Figure 3 : Chenilles de <i>P. xylostella</i>	6
Figure 4 : Nymphes de <i>P. xylostella</i>	6
Figure 5 : Adultes de <i>P. xylostella</i> ;	7
Figure 6 : Accouplement de <i>P. xylostella</i>	7
Figure 7 : Cycle de développement de <i>P. xylostella</i>	8
Figure 8 : Cycle biologique de chou-fleur (4 phase de croissance)	10
Figure 9: Triangle de maladie	14
Figure 10 : Quelques plantes biopesticides utilisées au Ceffel	16
Figure 11: Proportion de biopesticides microbiens utilisés dans le monde entier	17
Figure 12 : Centre CEFFEL	21
Figure 13 : Formation des paysans au centre Ceffel	21
Figure 14 : Expérimentation au centre Ceffel	22
Figure 15 : Localisation du district Antsirabe I de la région Vakinankaratra	25
Figure 16 : Courbe ombrothèrmique de Gaussen de la région Vakinankaratra de l'année 2022	26
Figure 17 : Dispositif expérimental.....	28
Figure 18 : Labour et semi à la pépinière	29
Figure 19 : Les étapes de l'extraction de plantes pesticides (exemple: Neem)	30
Figure 20 : Diagramme d'évolution de larves 3 et 5 jours après chaque pulvérisation	34
Figure 21 : Evolution de larves mortes	35
Figure 22 : Nombre moyen de larves sur les produits biologiques	36
Figure 23 : Taux de mortalité de larves de <i>Plutella xylostella</i>	37
Figure 24 : Perforation foliaire.....	38
Figure 25 : Organigramme de CEFFEL	I

LISTE DE TABLEAU

Tableau 1: Nombre de graines en fonction de densité	11
---	----

LISTES DES ANNEXES

Annexe 1 : Organigramme du Ceffel	I
Annexe 2 : Culture de chou-fleur	I
Annexe 3 : Variables mesurés	II
Annexe 4 : Nombre de larves par parcelle	IV
Annexe 5 : Taux de mortalité et la perforation foliaire	VI
Annexe 6 : Nombre de larves vivantes après le jour d'évaluation	IX

LISTES DES SIGLES ET UNITE DE MESURE

% :	Pourcentage
/ :	Par
°C :	Degré Celsius
Ar :	Ariary
Cm :	Centimètres
g :	Gramme
H :	Heure
Ha :	Hectare
K ₂ O	Oxyde de potassium
Kg :	Kilogramme
Km :	Kilomètre
L :	Litre
m ² :	Mètre carré
MgO	Oxyde de magnésium
mm :	Millimètre
mn :	Minute
N	Azote
N° :	Numéro
NaCl	Chlorure de Sodium
NPK :	Complexe Azote-Phosphore-Potassium
P ₂ O ₅	Pentoxyde de phosphore
ppm	Partie par million

LISTE DES ABREVIATIONS

AFD :	Agence Française de Développement
ALENA	Accords de Libre Echange Nord-Américain
CEFFEL :	Centre d'Expérimentation, Formation en Fruit Et Légumes
CIPV :	Convention internationale pour la protection de végétaux
CR :	Commune Rurale
CUMA :	Culture maraîchère
DPV :	Direction de la Protection des Végétaux
FIDA :	Fonds International de Développement Agricole
FIFATA:	Flkambanan'ny FAmpanandrosoana ny TAntsaha
GDM :	Gouvernement de Madagascar
JAS :	Jour après semis
m.a.	Matière active
MAE	Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage

GLOSSAIRE

Allélopathie : interaction négative entre deux plantes d'espèces différentes, due à des substances toxiques libérées par un des organes de l'une d'elles et agissant sur la croissance des autres.

Agroécologie : mode de production agricole appliquant les principes de l'écologie ; respect de l'environnement, fertilisation naturelle, économie d'eau et de l'énergie.

Auxiliaire : organisme vivant bénéfiques pour l'activité agricole.

Chenille défoliatrice : chenilles qui entraînent la perte de tout ou parties des feuilles d'une plante.

Ethique : ensemble de principes de bonne conduite.

Imiter la nature : prendre la conduite de la nature.

Plantes aromatiques : végétaux qui contiennent suffisamment de molécules aromatiques dans un ou plusieurs organes producteurs : feuilles, fleurs, tiges, fruits, écorces, racines.

Plantes médicinales : drogues végétales dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses.

Purin : extrait de plantes utiliser pour lutter contre les ennemies de la culture.

INTRODUCTION

En 2021, entre 702 millions et 828 millions de personnes dans le monde ont souffert de la faim. Si l'on prend en compte le milieu de la fourchette (768 millions), la faim a touché, en 2021, 46 millions de plus qu'en 2020, et 150 millions de personnes de plus qu'en 2019 (soit avant la pandémie de Covid-19). En 2020, près de 3,1 milliards de personnes ne pouvaient pas se permettre une alimentation saine (FAO et *al.*, 2022). Un quart de la population mondiale sous-alimentée vit en Afrique sub-saharienne, une région où la production alimentaire continue de chuter depuis 1970 (FAO., 2013). Pour assurer une sécurité alimentaire à la plupart des populations des africaines, le développement de l'agriculture demeure une approche de solution. L'agriculture est l'un des principaux secteurs d'activités qui contribue au développement socio- économique des populations. Elle emploie plus de 40 % de la population active dans le monde, dont plus de 52 % en Afrique et en Asie (MOMAGRI., 2016) et 80 % à Madagascar selon MAE. Dans ce secteur, le maraichage occupe une place importante pour l'alimentation humaine (FAO., 2012). Défini comme une agriculture fortement spécialisée, le maraichage constitue l'un des systèmes agricoles les plus productifs d'Afrique. Considérées comme une activité de souveraineté (FAO., 2012). Les légumes sont des aliments à forte valeur ajoutée nutritionnelle, essentiels à l'équilibre alimentaire.

Les cultures maraichères jouent un rôle primordial dans la plupart des programmes de nutrition, de lutte contre la pauvreté et contribuent significativement aux revenus des familles (Yarou et *al.*, 2017). La culture des Brassicacées est l'une des productions agricoles les plus importantes au monde (Arvanitakis., 2013). Parmi les cultures brassicacées, les légumes feuilles comme le chou sont mieux représentés par rapport aux autres légumes (Muzingu., 2007 ; Kanda et *al.*, 2014). 37 millions d'hectares ont été cultivés en 2011 avec une production annuelle globale de 152 millions de tonnes pour le chou (FAOSTAT., 2013).

Cependant, la production de ces légumes est limitée par de multiples contraintes abiotiques et biotiques qui affectent les rendements qui en découlent. La pression des bioagresseurs a été identifiée comme la contrainte majeure du fait des pertes de récoltes infligées aux maraichers (Kanda et *al.*, 2014). La teigne du chou, *Plutella xylostella* (L) (Lépidoptera, *Plutellidae*) représente parmi les Lépidoptères, le principal ravageur du chou dans de nombreuses régions. Cet insecte peut causer de lourdes pertes estimées entre 51 et 94% de la production (Sow., 2023).

Ainsi, pour améliorer les rendements et répondre à la demande des marchés sans cesse croissante, le recours à l'usage des pesticides de synthèse par les producteurs est quasiment systématique (Kanda et *al.*, 2013). Pourtant, leurs effets néfastes sur l'homme et l'environnement et la résistance des bioagresseurs aux insecticides ont été démontrés (Agboyi L.K. et *al.*, 2016). Pour le petit agriculteur, les pesticides synthétiques sont coûteux et leur distribution est limitée dans les zones rurales. De plus, ces produits synthétiques sont souvent frelatés par dilution, mélangés de façon incorrecte et vendus au-delà de leur date de péremption (Kanda et *al.*, 2013).

Il devient donc nécessaire de trouver des méthodes alternatives afin de mieux contrôler les populations de ces ravageurs tout en respectant l'environnement et la santé humaine. Actuellement, la tendance est la lutte intégrée associant la lutte chimique raisonnée à d'autres types de lutte (variétal, agronomique, biologique). La lutte biologique utilisant des pesticides naturels à base de plantes constitue ainsi une alternative efficace et respectueuse de l'environnement. La problématique qui se pose est alors Est-ce que les extraits aqueux des plantes pesticides réduisent-ils les dégâts causés par le *Plutellidae*?

Deux questions de recherches ont été posées :

- Est-ce que les plantes pesticides sont efficaces contre l'attaque de *Plutella xylostella*?
- Parmi les plantes pesticides testées, quelle est la plus efficace ?

L'objectif visé dans ce travail est d'évaluer l'efficacité des extraits aqueux contre le *Plutella xylostella*.

De façon spécifique, il s'agira de :

- Evaluer l'efficacité des plantes pesticides par rapport aux attaques.
- Comparer l'efficacité de chaque traitement.

En vue d'atteindre ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été émises :

- Les biopesticides se montrent toxique sur les larves de *Plutella xylostella*.
- Les produits à base de piment sont plus efficaces que ceux à base de neem et tephrosia

Ce présente mémoire s'articule en trois grandes parties : la première est consacrée aux généralités; la seconde présente les matériels et les méthodes; et la troisième porte sur les résultats obtenus et discussions.

Partie I :
GENERALITES

I. ETAT DE CONNAISSANCE SUR *PLUTELLA XYLOSTELLA*

I.1 Statut du ravageur

I.1.1 Systématique

La teigne du chou, *Plutella xylostella* a acquis son nom actuel (Moriuti 1986), après avoir subi plusieurs changements de nom.

Sa position systématique actuelle est :

- Règne : ANIMALE
- Embranchement : ARTHROPODE
- Classe : INSECTE
- Ordre: LEPIDOPTERE
- Famille : PLUTELLIDAE
- Genre: *Plutella*
- Espèce : *xylostella*

Elle représente actuellement l'espèce la plus connue de son genre à cause de ses dégâts considérables sur les cultures des Brassicacées partout dans le monde. Le genre comprend plus d'une douzaine d'espèces dont la majorité se nourrit d'espèces sauvages (Balachowsky., 1966 ; Smith et Sears., 1984).

I.1.2 Situation géographique et migration

Aujourd'hui, l'espèce *P. xylostella* est répartie partout dans le monde (Chu., 1986 ; Talekar et Shelton., 1993). C'est un insecte cosmopolite (Kfir., 1998 ; Sorribas., 1999) répandue dans le monde grâce au développement des cultures de Brassicacées. Cependant la connaissance de son origine exacte a fait l'objet de plusieurs études. En effet selon Talekar N.S. (1986), *P. xylostella* serait originaire de la région méditerranéenne. Dans cette même région serait origine des Brassicacées, mais aussi de nombreuses espèces de parasitoïdes ont été recensées dans cette zone (Pichon., 1999).

Il faut noter que son origine reste controversée, car en s'appuyant sur la présence d'un grand nombre d'espèces de parasitoïdes et de Brassicacées endémiques, l'origine de cette espèce se situe en Afrique du sud (Kfir., 1998). (Fig.1)

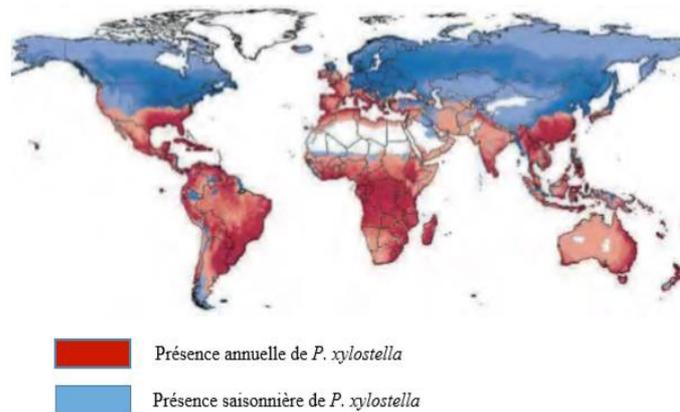


Figure 1 : Carte de répartition de *Plutella xylostella*

Source : Zalucki et Furlong (2011)

L'importante de répartition de *P. xylostella* est due à sa grande capacité migratoire. En effet, aidée par les vents, elle est capable de franchir des distances de l'ordre de 3000 km et même à travers les océans (Chu., 1986). Cette extraordinaire capacité de migration, fait qu'on la retrouve régulièrement au Canada ou au nord du Japon (Hokkaido), où elle ne peut survivre en hiver, mais où les vents du sud la ramènent chaque printemps (Honda et *al.*, 1992). Sa présence dans une zone ne se résume pas pour autant uniquement à sa migration. Par exemple en Malaisie, la présence de ce ravageur est due à une introduction de variétés de choux originaires de Chine, d'Inde et d'Europe (Ooi., 1986). Actuellement l'espèce *P. xylostella* est présente partout dans le monde grâce à une capacité d'adaptation à une large gamme de températures. D'après Honda (1992), elle peut se développer à des températures allant de 5 à 35 °C et survie à une exposition temporaire entre -9, -14 et -19 °C, respectivement pour les adultes, les chenilles et les nymphes.

I.2 Biologie et écologie

I.2.1 Les stades pré-imaginaux

Dans la nature, la femelle pond ses œufs sur la face inférieure des feuilles de chou (Balachowsky., 1966) à raison de 150 à 300 œufs (Pichon., 1999). Au laboratoire cette ponte se fait le plus souvent sur la face supérieure des feuilles (Chua et Lim., 1979). Pondus en petits groupes ou isolément, les œufs de couleurs jaunâtres mesurent environ 500 µm et sont de formes elliptiques (Fig._2). Cependant sa capacité de ponte est fortement influencée par des facteurs externes notamment la température, la qualité de la nourriture pendant les stades larvaires, la densité des populations etc.

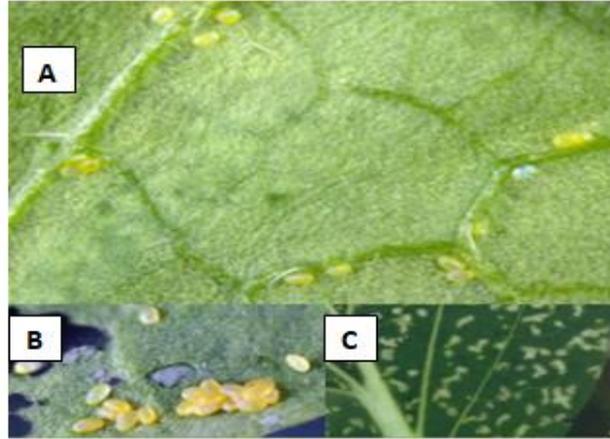


Figure 2 : Œufs de *P. xylostella*

A : œufs pondus isolément; B : œufs pondus en groupe sur chou. C : galeries creusées par des chenilles endophylles de stade L1 ;

Source : Talekar et Shelton (1993)

Le développement larvaire passe par quatre stades.

Le stade L1 a lieu tout juste après l'apparition de larves néonatales issues de l'éclosion. Ces larves se dispersent ensuite et sont identifiées grâce aux galeries sous formes de « virgules » qu'elles creusent dans le parenchyme des feuilles. Elles sont mineuses ou endophylles pendant ce stade qui dure 3 à 4 jours (Biro, 1999).

Le stade L2 présente des larves avec une capsule céphalique noirâtre mesurant entre 2 à 3 mm de long. De couleur jaune ivoire, les larves sortent de leurs galeries et se nourrissent de l'épiderme des feuilles formant des «fenêtres» caractéristiques de l'espèce (Chua et Lim., 1979). A ce stade elles sont très actives et se suspendent automatiquement à un fil de soie dès qu'on les touche.

Au stade L3 la capsule noire devient brun clair à brun foncé et la chenille de couleur variable jaune brun à vert foncé parfois, présente une pilosité beaucoup plus visible. Elle cause beaucoup plus de dégâts aux cultures au cours de ce stade.

Au dernier stade, les chenilles présentent un dimorphisme sexuel qui s'illustre par une tache blanche sur le cinquième segment abdominal et révèlent la présence de gonades visibles par transparence pour les chenilles qui donneront des mâles (Liu et Tabashnik., 1997). Les chenilles d'une couleur vert pale ou vert vif, amincies à leurs extrémités, mesurent 8 à 10 mm de long et présentent une capsule céphalique beige (Fig._3). Le stade L4 dure 3 à 4 jours à 25°C et, à son terme, la chenille tisse un cocon en soie et se nymphose (Talekar et Shelton 1993).

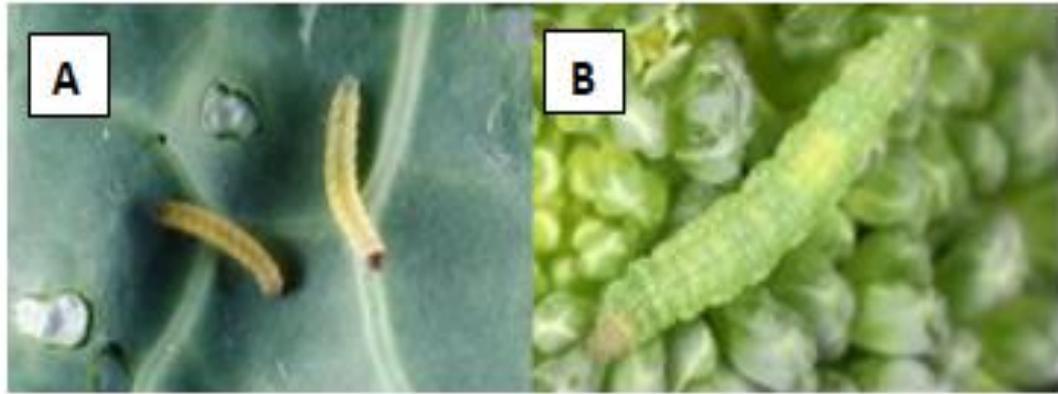


Figure 3 : Chenilles de *P. xylostella*

A : stade L2 caractérisées par une capsule céphalique noire. B : stade L4

Source : Arvanitakis L. (2013)

I.2.2 La nymphe

La nymphe est aérienne et reste fixée sur la face inférieure des feuilles du chou. D'une couleur vert pâle au début de la nymphose, elle devient brune à l'approche de l'émergence (Fig._4). La nymphe est entourée d'un cocon fusiforme en soie étroite à mailles lâches mesurant 5 à 7mm de long. Le stade nymphal dure environ 4 jours à 25°C (Birot., 1999).

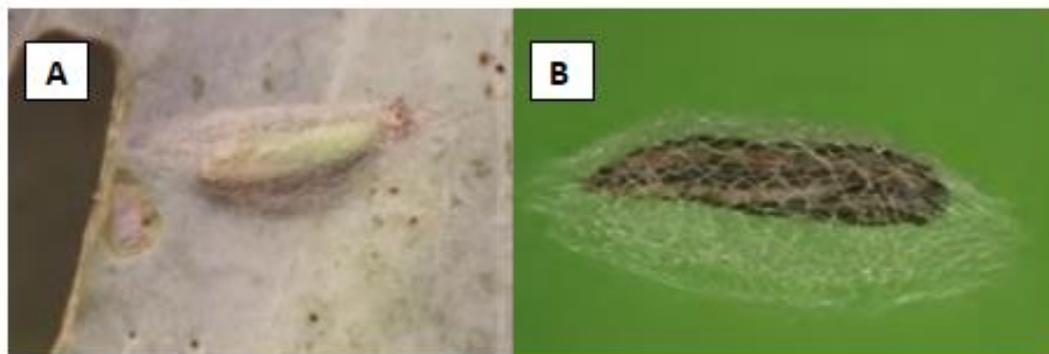


Figure 4 : Nymphes de *P. xylostella*

A : début. B : en approche de l'émergence

Source : Arvanitakis L. (2013)

I.2.3 L'adulte

C'est un papillon nectarivore de couleur brun dépassant rarement 10 mm de long, d'une envergure d'environ 15 mm. Il est plus actif en vol au coucher du soleil (Harcourt., 1986), il présente des ailes antérieures et postérieures qui diffèrent par la taille, les postérieures étant plus courtes. Les ailes antérieures finement frangées, étroites et allongées sont tachetées d'une couleur jaune-brun. La frange claire le long des ailes antérieures forme une série de 2-3 losanges alignés dorsalement rappelant la forme d'un diamant, qui est à

l'origine de son nom anglo-saxon de «Diamondback moth». Ce caractère plus contrasté chez le mâle représente le seul dimorphisme visible de l'espèce (Fig._5).

Une observation des valves génitales s'impose parfois pour déterminer le sexe de façon certaine. Il présente des antennes dirigées vers l'avant (les femelles grâce aux phéromones sexuelles (Chow et *al.*, 1974) peuvent s'accoupler 1 à 3 fois contrairement aux femelles qui ne s'accouplent qu'une seule fois dès l'émergence (Talekar et Shelton., 1993). L'accouplement se fait dos à dos (Fig.6). Au repos, l'adulte conserve les ailes plaquées contre le corps, en forme de toit.



Figure 5 : Adultes de *P. xylostella* ;

A : le mâle (x7) ; **B** : la femelle (x6,5). Source : Arvanitakis L. (2013)



Figure 6 : Accouplement de *P. xylostella*

Source : Arvanitakis L. (2013)

Le développement du ravageur est influencé par certains facteurs climatiques tels que la température, l'humidité relative, la pluviométrie et la photopériode. En effet tous ces facteurs ont un impact majeur sur l'espèce *P. xylostella*.

I.3 Cycle de développement

Le cycle de développement (Fig.7) de l'espèce très variable, dépend très fortement de la température. Selon Pichon (2004), à 25°C le cycle complet peut durer 16 jours:

- trois jours pour l'incubation des œufs,

- neufs jours pour le développement larvaire
- et quatre jours pour la nymphose.

Il est plus rapide dans les pays tropicaux où la température atteint les 35°C. En effet, la chaleur et l'humidité favorisent une croissance plus rapide de la population de ce lépidoptère (Dommée., 1999). Ceci favorise une augmentation du nombre de générations pouvant atteindre plus de 20 dans les pays tropicaux contre 3 en zone tempérée.

La durée de vie de l'espèce est variable selon le sexe et est en moyenne de 10,4 jours pour les mâles et de 12,1 jours pour la femelle (Patil et Pokharkar., 1971).

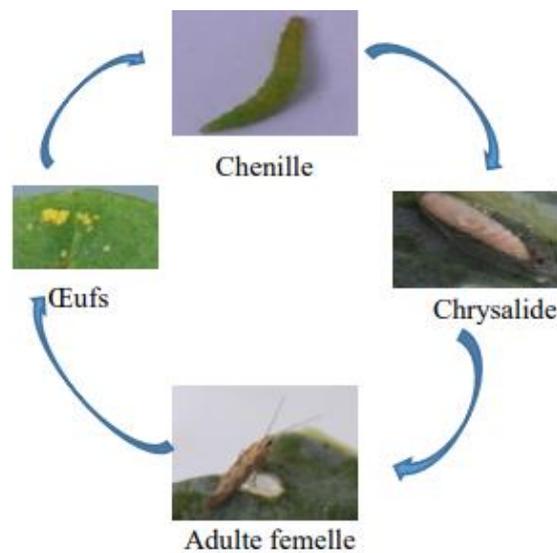


Figure 7 : Cycle de développement de *P. xylostella*

Source : Arvanitakis L. (2013)

I.4 Plantes hôtes

Plutella xylostella est une espèce oligophage car il se développe exclusivement sur les Brassicacées. C'est un spécialiste de cette famille de plante qui est majoritairement toxique pour la plupart des insectes ravageurs à cause de sa forte concentration en glucosinolates. Ces derniers sont des composés soufrés qui sont à l'origine de l'attraction de cette espèce, qui à son tour parvient à rendre comestible cette plante en désactivant ces molécules grâce à une glucosinolate sulfatase (Ratzka et al., 2002). Plusieurs dérivés des glucosinolates sont à l'origine du goût âpre, de l'odeur et sont impliqués dans la défense des plantes contre les herbivores. Exclusivement retrouvé sur les choux, il est parfois présent sur les autres Brassicacées cultivées (moutarde, colza, navet, etc.) ou sauvages (bourse à pasteur, cardamine, ravenelle, etc.) qui jouent un rôle de réservoir aux périodes de déficits de cultures (Muhammad et al., 1994).

II. ETAT DE CONNAISSANCE SUR LE CHOU-FLEUR

II.1 Définition

Le chou-fleur est une plante herbacée de la famille des Brassicacées, cultivée comme plante potagère pour son méristème floral hypertrophié et charnu. Il peut être consommé cru ou cuit et constitue une bonne source de vitamines (comme la vitamine C, vitamine K, vitamine B6), de potassium et de minéraux. Le chou-fleur est une culture de saison fraîche.

II.2 Description

Il s'agit de variété de chou commun (*Brassica oleracea*), issue de plusieurs siècles de sélection. Le chou-fleur est une plante herbacée bisannuelle qui produit une boule blanche tendre et compacte. Cette boule est un méristème, un organe pré-floral, si on laisse évoluer, elle continue sa croissance en tiges florales qui porteront des fleurs jaunes ou blanche, typique du genre Brassicaceae, puis finalement les graines. Le méristème est récolté avant que le chou ne passe au stade de la floraison, sans quoi il devient impropre à la consommation. Les feuilles à côtes développées enveloppent étroitement cette inflorescence. Le nom courant de chou-fleur porte à confusion, car la partie consommée n'est pas une fleur, contrairement au brocoli, une autre variété de *Brassica oleracea*, dont les parties consommées sont effectivement des boutons floraux (Dominique B., 2013)

La racine principale de chou-fleur est pivotante et leurs racines secondaires se développent horizontalement et assez près de la surface du sol. La tige, elle est vulgairement appelée « trognon ». Sa taille est généralement courte, adaptation pour supporter la pomme. Leur tige florale peut atteindre 60 cm à 1 m de long. Les feuilles sont lobées, larges, ondulées, épaisses ou glabre en fonction des variétés. Lorsqu'on pousse la maturité du chou-fleur, la tige florale monte, donnant les fleurs jaunes regroupées en grappe, caractéristique de la famille des crucifères (Thomas H., 2016).

Pour les graines, elles sont petites, arrondie et de couleur brune dont la longévité moyenne de la graine est de 5 à 7ans. Dans 1g de semence, estimer à 300 graines, dont la quantité de semences pour un hectare est de 300 à 400 grammes. Pour la germination : la levée est en 3 jours sur couche à 18 / 20 °C, et en 5 à 6 jours en plein air (Thomas H., 2016).

II.3 Physiologie de plante

La croissance du chou est divisée en quatre phases : la phase de germination dans laquelle les graines sont plantées et germent; la phase végétative dont la plante produit des

feuilles et établit un système racinaire solide, puis la phase de bourgeonnement qui correspond au moment où la tête de chou-fleur également appelé méristème florale commence à se former et à croître ; cette phase est critique pour la qualité et la taille du produit finale et enfin la phase de floraison qui est la phase finale où la pousse principale à l'intérieure de la tête commence à sortir, suivie de la début de floraison et après, la maturation de graine (Thomas H., 2016).

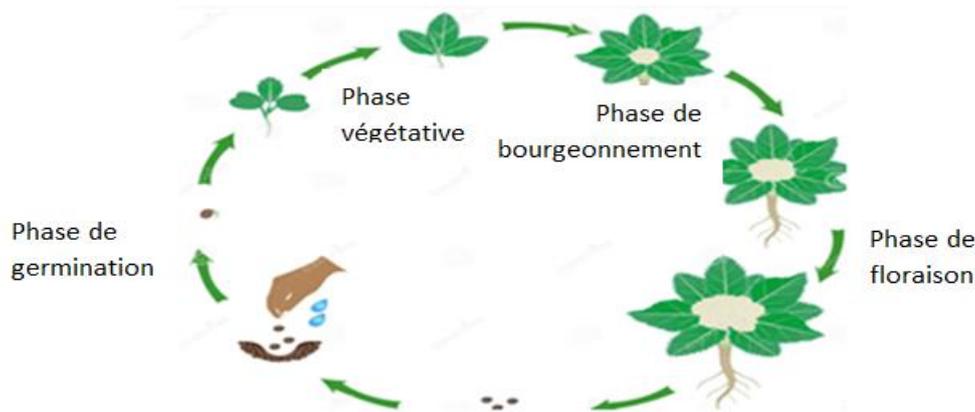


Figure 8 : Cycle biologique de chou-fleur (4 phase de croissance)

II.4 Condition de développement

Le chou-fleur est une plante résistant bien au froid, de zéro végétatif 3 à 5 °C. Les conditions climatiques favorables à son développement sont un climat plutôt doux avec des températures peu de variation climatique. La température optimale de croissance varie entre 15 et 18°C. Au-delà de 30°C, la formation de la pomme est difficile. Les besoins en eau d'une culture de chou-fleur est importante. La quantité d'eau varie de 1500 à 2500 m³ / ha selon la variété et le type du sol (Thomas H., 2016).

Cette culture aime les sols profonds (20 à 30 cm), bien ameublis, préfère les terres assez riches en argile. Ceci permet une bonne aération du sol, favoriser un drainage suffisant et garantir un bon enracinement des cultures. L'itinéraire du travail du sol devra être adapté à sa nature et texture (lourd, plus sableux, ...). Le chou-fleur préfère le pH plus ou moins neutre dont l'optimal se situe entre 6 et 7. (CRA., 2017)

II.5 La culture

En général, il y a 2 étapes dans la culture : le semis à la pépinière pour produire de jeune plants à repiquer et le repiquage aux champs.

II.6.1 Mise en place de pépinière

II.6.1.1 Semis en germe

Le germe est un milieu provisoire pour la germination des graines et le développement des plantules. Il est recommandé que le semis soit à la mi-Mai à Juin et de profondeur de 1 à 2 cm. Le sol de lit varie selon le type du sol utilisé, mais 60% de terre et 40% de fumure organique (mélange d'excréments et de paille, fumier, etc.) constituent de bonnes proportions (CRA., 2017).

Avec un taux de réussite de 60% Il faudra donc pour un ha de culture :

Tableau 1: Nombre de graines en fonction de densité

Densité de plantation	Surface de pépinière	Nombre de graines	Poids de graines
20 000 plants / ha	170 à 200 m ²	34 000	115 grammes
30 000 plants / ha	250 à 300 m ²	51 000	170 grammes

Source : Dominique B. (2013)

II.6.1.2 Gestion de la pépinière

II.6.1.1.1 Contrôle de l'eau

Une trop grande humidité du sol a pour conséquence la formation de plants longs et frêles. Cette humidité trop grande du sol est particulièrement néfaste la nuit lorsque la température est élevée, aussi il importe de prêter attention aux heures et aux quantités d'arrosage. Sur les sols sableux dont la rétention d'eau n'est pas bonne, il est préférable d'arroser souvent et en petites quantités.

II.6.1.1.2 Mise à l'ombre

Si la température s'élève au-delà de 30°C le jour, elle entraînera une germination inégale des plants (CRA., 2017). Il est donc nécessaire de les mettre alors à l'ombre pour éviter des dommages au cours de cette période. On recouvre donc d'herbes sèches la pépinière pour éviter une élévation extrême de sa température. Cela permet également d'éviter que le sol ne sèche, et on peut alors espérer des effets favorables à la croissance des jeunes plants. Il faut toutefois éviter de mettre le sol à l'ombre trop longtemps, l'insuffisance de rayonnement solaire entraîne une plante chétive (Dominique B., 2013).

II.6.2 Repiquage

Le repiquage consiste à replanter. Dans le contexte de la culture de choux, le repiquage fait référence aux aboutissements de transplantation de jeunes plantes à partir de plateaux de semis ou de lits de semences vers l'emplacement final où ils seront cultivés jusqu'à maturité.

Le repiquage a généralement lieu lorsque les semis ont atteint une taille satisfaisante et au moins deux ou trois vraies feuilles mesurant plus de 1cm et il faut environ 2 semaines pour voir apparaître les premières vraies feuilles après germination. Ces vraies feuilles présentent une tige et des nervures bien visibles. Les semis sont soigneusement déterrés avec une petite truelle et sont transplantés dans des trous à l'emplacement final dans lequel l'engrais et le compost sont déjà préparés (Thomas H., 2016).

Il est à noter que les racines ne doivent pas être déranger et il faut les planter à la même profondeur qu'elles ont poussé dans le lit de semence. La distance entre les plantes doit être pris en considération et mesurée entre 45cm (18 pouces) - 60cm (24 pouces) entre les rangées. Il faut choisir les endroits ensoleillés car ce dernier est photophile et l'aide à progresser. Le repiquage permet d'éviter les problèmes causés par les semis direct dans le lieu final tels que les ravageurs et les maladies qui pourraient affecter la croissance des semis.

II.6 Entretien de culture

L'entretien de culture consiste à l'arrosage, désherbage, binage, paillage, effeuillage si nécessaire, traitement à base de fongicide et insecticide.

II.7.1 Arrosage

Un arrosage adéquat est indispensable à la bonne croissance des plantules. L'eau d'arrosage doit être propre et non trouble. A chaque arrosage, 5 arrosoirs de 10 litres seront utilisés pour une surface de 10 m². Et qui se fait une fois le matin (avant 10 heures) et une fois le soir (après 16 heures) (Dominique B., 2013).

II.7.2 Désherbage

Il est très important de bien désherber et d'éliminer le plus vite possible les mauvaises herbes qui privent les jeunes plants de lumière, d'eau et de nutriments et accroissent les risques d'attaques par les champignons.

II.7.3 Binage

Le binage ou sarclage est l'opération qui consiste à briser la croûte superficielle de la terre de production des plants. Cette dernière se forme sous l'effet des pluies et des arrosages et rend la terre moins perméable et plus asphyxiante. Le binage permet à la fois d'aérer le substrat ainsi qu'à l'eau de s'infiltrer jusqu'aux racines et d'éviter le phénomène de battance. Il peut se faire à l'aide d'outils manuels comme la binette. Si l'on bine pour désherber, on parle de sarclage.

II.7.4 Ombrage

Au début de leur développement, les plantules sont sensibles à la lumière solaire, aux températures élevées et aux averses. Il faut donc les protéger par des nattes qui ont la capacité de filtrer au moins la moitié de la lumière solaire et d'amortir la chute des gouttes d'eau de pluie. L'ombrière devrait être enlevée quand les plants grandissent. Trop d'ombrage peut engendrer des plants de grande taille, filiformes et peu vigoureux (Thomas H., 2016).

II.7 Fertilisation

Une fumure organique de 30 T/ha est vivement recommandée pour les choux. Et les doses de fumures minérales conseillées sont les suivantes : 100kg/ha pour N, 110kg/ha pour P205, 330kg/ha pour K20 et 100kg/ha pour MgO. Les choux sont parmi les espèces les plus exigeantes en bore (Dominique B., 2013). Le sol doit doser une teneur supérieure à 0,5 ppm. Le chou est moyennement sensible à la salinité due à un NaCl de l'eau d'irrigation dont l'optimal est de 3,2 à 5,1 g / l (CRA., 2017).

II.8 Maladie et ravageurs

II.9.1 Définition

Chez les plantes, la maladie est un état phénotypique anormal qui présente les écarts, appelés « symptômes » par rapport au phénotype normal attendu, et qui réduit la croissance de la plante.

Deux types de maladies :

- Les maladies biotiques ou infectieuses, causées par des microorganismes parasites, tels qu'Altise des crucifères (*Phyllotetra sp.*, famille de coléoptère, active de Mai à Novembre) : Tenthrède de la rave (*Athalia sp.* Famille des Hyménoptères), qui sont favorisées par certaines conditions environnementales.
- Les maladies abiotiques, non infectieuse ou désordre physiologiques généralement causée par des facteurs environnementaux qu'ils soient d'origine naturelles ou

anthropique. Par exemple : botrytis (forte humidité), flétrissement hivernal du chou (conditions hivernal et asphyxie de racine), les agressions chimiques, les anomalies génétiques.

II.9.2 Déroulement

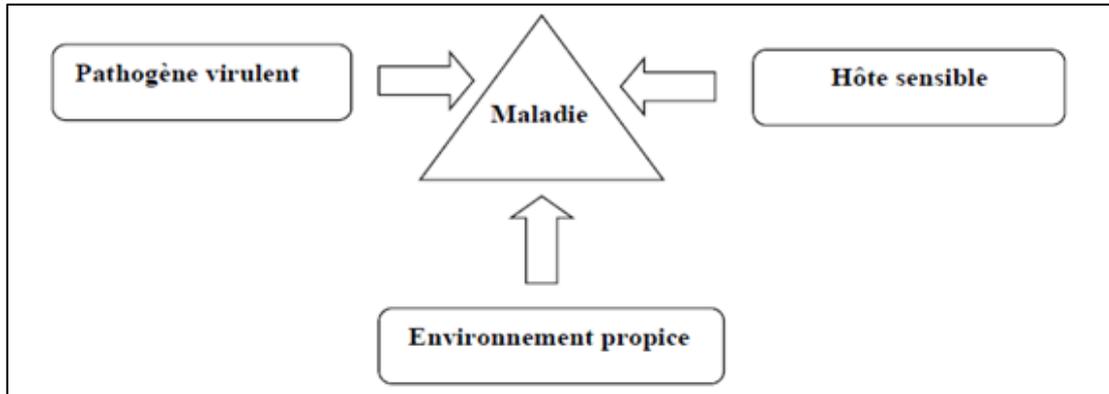


Figure 9: Triangle de maladie

Source : Ben Belai S. (2018)

- Il doit y avoir un hôte qui est susceptible (prédisposer) à devenir malade.
- Il doit y avoir un agent pathogène, appelé, agent causal capable d'attaquer la plante.
- L'interaction entre l'agent causal et la plante doit se produire dans un environnement qui est favorable.

La pression phytosanitaire dépend du climat, de l'environnement et de l'aménagement des parcelles.

II.9 Rendement

Pour les choux précoces, le rendement est de 15 à 35 t/ha et de 20 à 70 t/ha pour les choux tardifs, en générale mais ça varie selon la densité et la variété. On obtient en choux des poids moyens de 0,6 à 1,5 kg en petit calibre et 1 à 2,2 kg en gros calibre (Dominique B., 2013).

III. LES BIOPESTICIDES

III.1 Contexte international et national des biopesticides

Les premiers pesticides étaient 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 plus anciennes mentions de l'utilisation d'extraits de neem comme pesticide remontent à 4000 ans. (Nollet et Singh Rathore., 2015)

Le premier pesticide biologique introduit en Europe était un Rodenticide à base de *Salmonella enterica* 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 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 *Bacillus thuringiensis*, a été vendu en France en 1938 (Nollet et Singh Rathore., 2015). Selon les estimations actuelles, plus de 1400 produits décrits comme des biopesticides sont vendus dans le monde (Nollet et Singh Rathore., 2015).

L'inventaire des pesticides naturels, d'origine végétale à Madagascar (ONG VOARISOA Observatoire) présente les résultats sur 450 plantes existant à Madagascar, dont les extraits peuvent être exploités en tant que substances biologiquement actives pour le contrôle des ravageurs. Ces plantes contiennent des substances qui ont des propriétés anti-appétantes, répulsives ou même insecticides. Actuellement, il y a quelques biopesticides mis sur le marché : Eau de neem (m.a. Azadirachtine), Arene (m.a. Azadirachtine), Batik WG (m.a. *Bacillus thuringiensis sp kurstaki*), Triac (m.a. Azadirachtine), Neem Ser (m.a. Azadirachtine), Halte insecte naturelle (m.a. Eugenol+Citronella+Sabinene), Marigold (m.a. Tagetes et Thym) acaricide naturel.



Figure 10 : Quelques plantes biopesticides utilisées au Ceffel

Source : Ceffel 2015

III.2 Définition

Les biopesticides peuvent se définir au sens large comme des pesticides d'origine biologique, « organismes vivants ou produits issus de ces organismes ayant la particularité de supprimer ou limiter les ennemis de culture » (Thakore., 2006). Ce système permet de contrôler les populations d'insectes, de champignons et les maladies en étant moins toxiques pour l'environnement que les pesticides chimiques.

III.3 Classification de biopesticides

Les produits considérés comme des biopesticides par les agences de réglementation européennes et mondiales sont d'origines diverses. Ils peuvent être classés en trois grandes catégories, selon leur nature : les biopesticides microbiens, les biopesticides végétaux et les biopesticides animaux (Chandler et *al.*, 2011 ; Leng et *al.*, 2011 ; Deravel et *al.*, 2013).

III.3.1 Biopesticides microbiens

Bactéries : Les biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis* sont les plus commercialisés. Ils ont une action insecticide. *Bacillus thuringiensis* est une bactérie à Gram+ qui produit, durant sa phase stationnaire de croissance, des protéines cristallines. Ces protéines sont libérées dans l'environnement et sont actives une fois ingérées par les ravageurs, contre les lépidoptères, les diptères et les larves de coléoptères (Rosas-Garcia., 2009). Des espèces bactériennes du genre *Bacillus* utilisant des mécanismes d'action autres

que celui employé par *B. thuringiensis* peuvent également protéger les plantes. Il y a, parmi ces espèces, des souches de *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefaciens* ou *Bacillus subtilis*. *Bacillus amyloliquefaciens* et *B. subtilis* sont capables de coloniser les racines des plantes et de produire des molécules de nature lipopeptidique qui peuvent soit activer les défenses des plantes, soit avoir un effet antibactérien ou antifongique direct (Pérez-Garcia et al., 2011).

Virus : Les Baculoviridae sont des virus à double brins d'ADN circulaire, protégés par une paroi protéique (Chen et al., 2002). Ils infectent les arthropodes insectes ou larves. Ils représentent un faible risque sanitaire car aucun virus similaire n'a été répertorié dans l'infection des vertébrés ou des plantes, à l'heure actuelle. 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 (Washburn et al., 2003).

Champignons : Outre les bactéries et les virus, certains champignons présentent des activités contre les bio-agresseurs et sont exploités en tant que biopesticides. *Coniothyrium minitans* est connu pour parasiter les champignons du genre *Sclerotinia spp.* Ce genre fongique se retrouve dans le sol et est à l'origine de la maladie de la pourriture blanche qui peut affecter de nombreuses cultures (McQuilken et al., 2003).

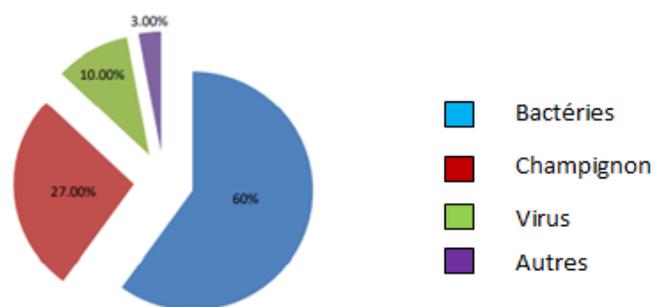


Figure 11: Proportion de biopesticides microbiens utilisés dans le monde entier

Source : Ashishie 2018

III.3.2 Biopesticides végétaux

Les plantes produisent des substances actives ayant des propriétés insecticides, aseptiques ou encore régulatrices de la croissance des plantes et des insectes. Le biopesticide d'origine végétale le plus utilisé est l'huile de neem, un insecticide extrait des graines d'*Azadirachta indica* (Schmutterer., 1992). L'azadirachtine est le principal ingrédient actif de cette huile et à la propriété de perturber la morphogénèse et le développement embryonnaire

des insectes. D'autres extraits de plantes ont des activités insecticides; ainsi, le pyrèthre, 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 (Deravel *et al.*, 2013).

III.3.3 Biopesticides animaux

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 (Aquiloni *et al.*, 2010). La coccinelle également est l'insecte auxiliaire le plus connu (Calderón Alvarez *et al.*, 2012).

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.

III.4 Avantages des biopesticides

Les biopesticides bactériens sont sans danger pour la faune, les humains et les autres organismes. (Rajamani et Negi., 2021). La plupart de ce biopesticides sont spécifique à leurs organismes cibles, ils n'attaquent pas les insectes utiles. Les biopesticides bactériens sont compatible avec d'autres méthodes comme les biopesticides chimique synthétique. et s'auto-perpétuent. Ils sont donc efficaces même pendant les saisons des cultures suivantes (Rajamani et Negi., 2021).

D'une façon générale, les extraits de plantes pesticides sont moins risqués de poisons que les pesticides de synthèse pour la culture, et pour la santé humaine (offrir aux consommateurs des produits sains). La décomposition de leurs résidus est assez rapide. Sur l'environnement, elles ont une caractéristique de faible action polluante (Manchandrane., 2019). Dans certaines conditions, les extraits de plantes peuvent avoir une efficacité comparable à celle des insecticides classiques et qui permet d'accroître les rendements avec un rapport cout/bénéfice comparable à celui des pesticides de synthèse. Dans le cadre des cultures associées, elles assurent un équilibre écologique entre ravageurs et auxiliaires.

III.5 Inconvénients des biopesticides

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). 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). La rosée peut diminuer l'efficacité de Bt sur les feuilles. (Nadao., 2018), la température optimale de croissance de Bt est 30°C. 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. (Nadao., 2018).

Pour les parasitoïdes, ils sont très sensibles aux insecticides, surtout les adultes et les adultes ont besoin d'une source de nourriture alternative comme le pollen ou le nectar. (Rajamani et Negi., 2021)

Les biopesticides sont affectés par des facteurs climatiques et peuvent devenir inefficaces dans certaines conditions climatiques et efficaces dans d'autres (Hashem., 2015). Elles doivent être appliquées tôt le matin ou le soir pour se protéger des rayons UV. (Rajamani et Negi., 2021).

L'utilisation de biopesticides avec peu ou pas de connaissances professionnelles peut provoquer un déséquilibre écologique. (Ashishie., 2018). 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 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).

III.6 Limites à l'usage des biopesticides

III.6.1 Limites liées à la perception des producteurs.

Malgré les avantages énumérés, les produits biopesticides sont très peu utilisés par les producteurs maraichers. En effet, le temps nécessaire pour réaliser les extraits est souvent considéré comme trop long, le nombre de traitements requis trop important et la spécificité de ces extraits forment quelques-unes des raisons qui n'encouragent pas leur utilisation par les producteurs (Adékambi et *al.*, 2010). En matière d'efficacité, la lenteur de leurs effets, leur faible rémanence et le spectre d'action très réduit, comparé à celui des produits de synthèse,

sont souvent considérés comme un inconvénient par les producteurs (Adékambi *et al.*, 2010). Ces produits sont généralement proposés par des petites unités de production ou des associations locales qui les fabriquent en très faibles quantités, ce qui limite leur disponibilité. La commercialisation des pesticides botaniques est fortement dépend 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 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. Ces extraits ou formulations coûtent relativement plus chers que les pesticides de synthèse (James *et al.*, 2010).

III.6.2 Limites liées à la réglementation et à l'homologation.

En Afrique, la législation sur l'homologation, la réglementation et la commercialisation des biopesticides d'origine végétale reste encore très embryonnaire. En 2017, seul le Ghana dispose d'une réglementation en Afrique de l'Ouest, en plus de celle du Kenya en Afrique de l'Est (Fotio & Temwa., 2012). L'homologation des biopesticides dans les pays africains reste un défi, car leur utilisation doit faire l'objet d'une évaluation identique à celle des pesticides de synthèse. Cette démarche est inaccessible pour une petite unité de fabrication locale. Les questions de la variabilité de l'efficacité des extraits de plantes et celle du prix au producteur, qui doit rester abordable, sont également deux aspects à travailler.

III.7 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 3000 tonnes par an, et elle augmente rapidement. 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'Union Européenne. 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). 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).

IV. PRESENTATION DU CEFFEL (Etablissement d'accueil)

IV.1 Présentation

Le Conseil d'Expérimentation Formation en Fruits et Légumes ou CEFFEL (Photo 1) est un centre professionnel situé à 7 Km Nord-Ouest de la commune urbaine Antsirabe, Fokontany Ambohitsokina Andranobe dont le but de soutenir les paysans, les techniciens et autres par divers formations.

Le centre est situé sur un terrain de 20 Ha sous un contrat de bail avec la Commune d'Antsirabe. Le site est équipé d'une infrastructure et d'une capacité d'accueil pour 50 personnes environs.

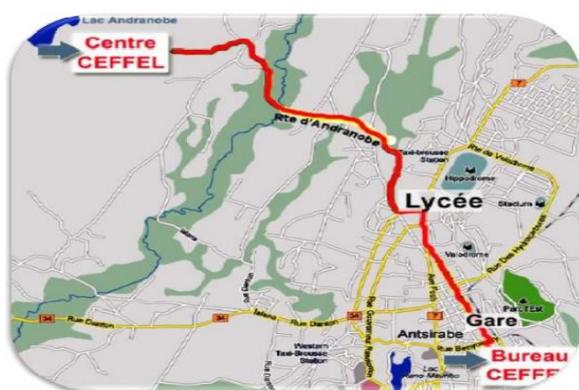


Figure 12 : Centre CEFFEL

(Source Ceffel)

IV.2 Domaine d'intervention

IV.2.1 Formations

Elle consiste à apporter les différents types de techniques d'exploitation sur la production des cultures maraichères, de l'arboriculture fruitière, pour la préparation et l'application de la fertilisation, ainsi que les amendements. En plus de cela, le centre offre une formation des formateurs agricoles, une formation des paysans relais.



Figure 13 : Formation des paysans au centre Ceffel

Source : Auteur 2022

Exploitation et expérimentation

CEFFEL diffuse les résultats des essais, des expérimentations et plus largement de technico-économique sur les fruits et légumes par le biais des formations, des visites, des partenaires de FIFATA, des collèges agricoles.



Figure 14 : Expérimentation au centre Ceffel

Source : Auteur 2022

IV.2.2 Conseil économique

Il permet aux paysans de donner une information régulière sur le prix de légumes. Eventuellement, il pourra aider les agriculteurs dans la négociation et la prise de décision sur la vente des produits agricoles.

IV.2.3 Conseil filière

Ce type de conseil apporte aux paysans un appui afin de pouvoir identifier des problématiques sur les structures filières. C'est un accompagnement de la mise en place des stratégies et de la mise en œuvre de service aux producteurs.

IV.2.4 Autres activités

Le CEFFEL se concentre sur d'autres activités comme la :

- Fabrication du compost : compost classique, liquide et lombricompost
- Culture de différentes filières fruits et légumes

IV.3 Objectifs et historiques

Dans le cadre de la réalisation du projet d'appui au développement des filières fruitières et légumineuses sur les hautes terres de Madagascar, programme cofinancée par le ministère Français des affaires étrangères, le CEFFEL a été mis en place à proximité d'Antsirabe afin :

♣ D'assurer pour le producteur, futures agriculteur et techniciens agricole, une formation technique dans le domaine de l'arboriculture et maraîchère par une formation basé essentiellement sur le pratique.

♣ De développer l'ensemble de production maraichère et fruitière adaptés à la condition pédoclimatique des hautes terres de Madagascar.

♣ Assembler des informations techniques et économiques sur les filières fruits et légumes.

♣ De définir des itinéraires techniques permettant de satisfaire aux exigences commerciales du marché.

♣ De réaliser des essais et test de comportement à culture fruitières et légumineuse et d'en diffuser les résultats.

Le CEFFEL est créé en 2004 par l'initiative de FERT et FIFATA. La mise en place des infrastructures commençait en 2003 et la formation a débuté en avril 2004. A part les deux associations créatrices, ce centre est en étroites collaboration à tous les partenaires techniques et financiers locaux qu'internationaux ainsi que le ministre de l'Agriculture en tant que tutelle.

Le Ministère Français des Affaires étrangère à assurer la mise en place du centre en 2003 jusqu'à la fin de l'année 2007. De juin 2007 jusqu'en mai 2011 il a été financé par l'AFD. Il est actuellement financé par l'union européenne à partir de la fin du 2012. Vue l'importance du conseil sur l'agriculture, le CEFFEL met l'accent sur le conseil économique et le conseil filière d'où le nom depuis 25 Avril 2014 Conseil Expérimentation Formation en Fruit et légumes.

Son objectif est d'améliorer les revenu des producteurs par la promotion de filière fruits et légumes. CEFFEL accompagne les producteurs à :

- ✓ mieux produire
- ✓ mieux vendre
- ✓ mieux gérer
- ✓ mieux s'organiser
- ✓ mieux se nourrir

IV.4 Ressources

Ressources humaines : ils sont de 15 personnes main d'œuvre

Ressources matériels :

- Infrastructure : hangar, réfectoire, dortoirs
- Matériels de transports : Brouette, moto, voiture, tracteur, charrette et bicyclettes

- Matériels d'entretien de culture : pulvérisateur à moteurs et manuel, angady, arrosoirs et couteau. Matériels bureautiques : ordinateurs,

Ressources foncières :

La superficie du CEFFEL est de 20 Ha avec 17 Ha environ de terrain cultivé dont :

- 6,20 Ha de verger :

5 Ha de verger tempéré : Pommier (Fuji, Granny Smith, Golden D, Idared, Ionna Gold, Reine de R), de Pêcher (Maycrest, Flordared, Flordastar) et de Poirier, prunier

1,20 Ha d'agrumes : Orangers, Mandariniers (M. Amy, Imamura, MuhoWase, Beauty Citronniers : C. Meyer,

- 2 Ha pour les maraichages : parcelles de production de semences, d'essai, de démonstration ou d'application pour les stages et les formations.
- 7 Ha réservé pour la grande culture.

Partie II
MATERIELS ET
METHODES

I. MATERIELS

I.1 Présentation de la zone d'étude

I.1.1 Localisation

L'expérimentation a été mise en place dans la région de Vakinankaratra, de district d'Antsirabe I (située à 1.500 m d'altitude, de 180 km² de superficie), au Nord-Ouest de la commune urbaine Antsirabe, Fokontany Ambohitsokina Andranobe l'année 2022. Elle a été menée durant la contre-saison, à partir du mois de Juillet au Septembre.

La Région Vakinankaratra fait partie des quatre régions constituant la Province d'Antananarivo. La Capitale de la Région, Antsirabe se trouve à 170 km au Sud d'Antananarivo. Elle est limitée par les coordonnées géographiques entre 18°59' et 20°03' de latitude Sud et entre 46°17' et 47°19' de longitude Est.



Figure 15 : Localisation du district Antsirabe I de la région Vakinankaratra

I.1.2 Hydrologie et pédologie

Le centre est à proximité du lac d'Andranobe et leur écologie est comme celle de la région Vakinankaratra. Mais les réseaux hydriques qui assurent la source d'eau en agriculture dans cette zone sont le lac d'Andranobe. La qualité du sol du Fokontany d'Ambohitsokina est favorable et dominé du sol de type ferralitique. En effet, il est caractérisé par un sol fertile de type ferralitique humifère, très poreux et gorgé d'eau, apte à l'agriculture. Le climat de la région est caractérisé par l'existence de deux saisons bien individualisées et distinctes : une saison pluvieuse et chaude, d'octobre à Avril, et une saison sèche et fraîche de Mai à Septembre.

I.1.3 Pluviométrie et température

Comme la Région de Vakinankaratra, la région a une température la plus fraîche dans tout Madagascar. La température moyenne durant le 3mois de l'expérimentation est de 16°C. Son climat est de type « tropical d'altitude ». Durant l'année 2022 (Fig 13), la précipitation dans le district d'Antsirabe varie entre 5,4mm (au mois d'Août) et 119mm (au mois de Janvier) (Météo Madagascar., 2023).

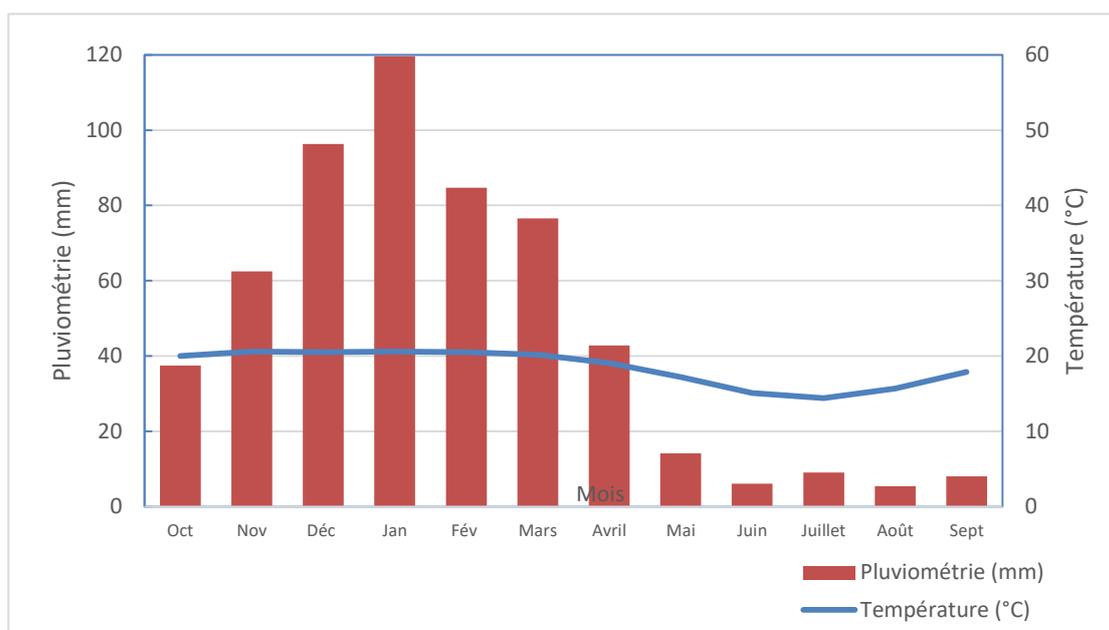


Figure 16 : courbe ombrothèrmique de Gaussen de la région Vakinankaratra de l'année 2022

I.2 Matériel biologique

I.2.1 Chou-fleur

Le chou, *Brassica oleracea* var. *botrytis*, est une plante herbacée bisannuelle qui produit une boule blanche tendre et compacte. C'est une variété sensible aux principaux insectes ravageurs tels que *Plutella xylostella* et qui a un cycle de développement d'environ 90 jours a été utilisée dans cette expérimentation.

I.2.2 *Plutella xylostella*

Ce sont des chenilles qui vivent dans les feuilles en dévorant le limbe, le cœur des plantules et creusent des galeries dans les pommes. Les attaques peuvent se manifester en pépinière ou après le repiquage tout au long du développement de la culture. L'estimation du coût annuel dans l'économie mondiale pour lutter contre ce ravageur est supérieure à 4 milliards de dollars. Ceci peut représenter de 30 à 50% des coûts de production, loin devant les coûts de fertilisation (Zalucki et al. 2012).

I.3 Biopesticides utilisés.

Trois extraits aqueux de végétaux ont été utilisés :

- les extraits de feuilles de tephrosia
- les extraits de graines de neem ;
- les extraits de graines de piment ;

Le Tephrosia, un arbuste pérenne de 1 à 4 m de hauteur, est une espèce légumineuse, sans exigences particulière au sol, il améliore le sol en fixant l'azote de l'air. C'est une source important d'engrais vert et une bonne plante de jachère. Son système racinaire lui permet de trouver des utilisations dans la lutte antiérosive (stabilisation de talus et haies fixatrices). Toutes les parties de la plante entrent dans la fabrication de pesticides, mais les feuilles sont les plus intéressantes car c'est là que se trouve la plus grande concentration de principe active (à base de roténone).

Le neem (*Azadirachta indica*) est un arbre de famille Méliacée, un arbre à croissance rapide et très résistant à la sécheresse. Toutes les parties de l'arbre de neem (feuilles, fleurs, graines, fruits, racines et écorce) ont été traditionnellement utilisées pour le traitement des maladies humaines aiguës et chroniques, de l'inflammation, des infections, de la fièvre, des maladies de la peau et des troubles dentaires. Elles sont utilisées aussi comme insecticide, antimicrobien, larvicide, antibactérien et antiviral (Singh et *al.*, 2012). Les graines et les feuilles renferment des composés insecticides à base Azadirachtine qui est le principal limonoïde responsable de l'efficacité des extraits de neem (Regnault-Roger et *al.*, 2008).

Le piment « pilo kely » est une plante appartenant à la famille de Solanacée, genre du Capsicum. *Capsicum frutescens* est cultivé pour ses fruits à la saveur particulièrement piquante. Leurs baies contiennent un alcaloïde appelé capsaïcine. Elle est la source de l'irritation et de la sensation de chaleur produite par le piment. Il est utilisé comme insecticide grâce à la substance active « capsaïcine ».

II. METHODES

II.1 Expérimentation

II.1.1 Dispositif expérimental

Le dispositif a été disposé en blocs complets, randomisés et équilibrés, comprenant 4 blocs ou répétitions B1, B2, B3 et B4. Chaque bloc a été constitué de 4 parcelles élémentaires (PE) correspondant à 3 traitements et 1 témoin sans traitement (Fig 13). Le ruban métrique est utilisé pour le dimensionnement des planches et les piquetages,

Les traitements phytosanitaires appliqués sont le suivant :

- T0 : témoin
- T1 : Extraits aqueux de *Capsicum frutescens*.
- T2 : Extraits aqueux de graines d'*Azadirachta indica*
- T3 : Extraits aqueux de feuilles de *Tephrosia vogelli*

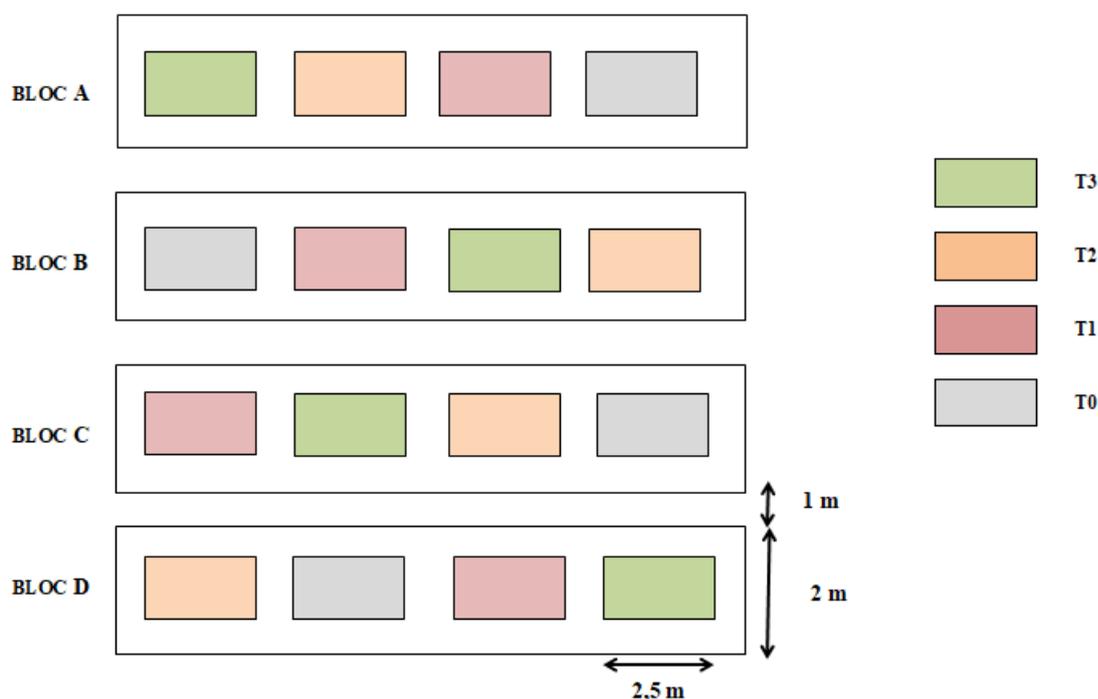


Figure 17: Dispositif expérimental

Source : Auteur 2022

Chaque parcelle élémentaire de 5 m² (2 m x 2,5 m) a porté 3 lignes de choux (12 plants) espacé de 0,6 m sur les lignes et 0,6 m entre les lignes. Les parcelles élémentaires étaient distantes de 1 m.

II.1.2 Mise en place de la culture de chou

Le semis a été réalisé le 03 Juin 2022 selon un écartement de 10 cm*5 cm dans la pépinière (de 2m*1m). Le paillage de la planche a été relevé à 60cm de haut au-dessus de la planche. Cet ombrage a été progressivement réduit au fil des jours pour être définitivement supprimé 3 jours avant la transplantation des jeunes plants. L'entretien de la pépinière a consisté au sarclage à la demande et à l'apport quotidien d'eaux.



Figure 18 : Labour et semis à la pépinière

Source : Auteur 2022

II.1.3 Préparation des solutions de Biopesticides

Les biopesticides à bases de neem et tephrosia sont préparés en même jour. Mais pour le piment, il est préparé un jour avant la pulvérisation grâce à une durée de macération court (24h).

♣ Extraction aqueuse des graines de neem

Un jour avant la préparation, les graines de neem ont été déjà collectées afin de gérer la perte de temps. Et durant le jour de la préparation : piler au mortier 1kg de graine de neem puis mélanger avec 10 litres d'eau froide. Lorsque la solution est bien mélangée, laisser le macérer pendant 5 jours dans un conteneur bien hermétiquement (bidon de 20litres). Et avant de pulvériser directement, filtrer les pour débarrasser les déchets.

♣ Extraction aqueux de feuilles de tephrosia

Les feuilles de Tephrosia ont été collectées, le même jour de préparation. Piler 1 kg de feuilles fraîches et mélanger avec 10 litres d'eau froide pour obtenir une solution. Puis laisser macérer pendant 5 jours comme l'extrait de neem, et pour obtenir l'extrait, il faut presser le mélange dans un linge. Et pulvériser directement à la culture après le cinquième jour.

♣ Extraction aqueux de piment

Pendant cette expérimentation, la variété « pilo kely » a utilisé. Piler au mortier les fruits murs et sec et prendre une cuillère à soupe 10g de piment et mélanger bien avec 5 litres d'eau. Puis laisser macérer le mélange 1 nuit et filtrer avant l'utilisation. La durée de macération est très court pour le piment par rapport à ceux deux ci-dessus.

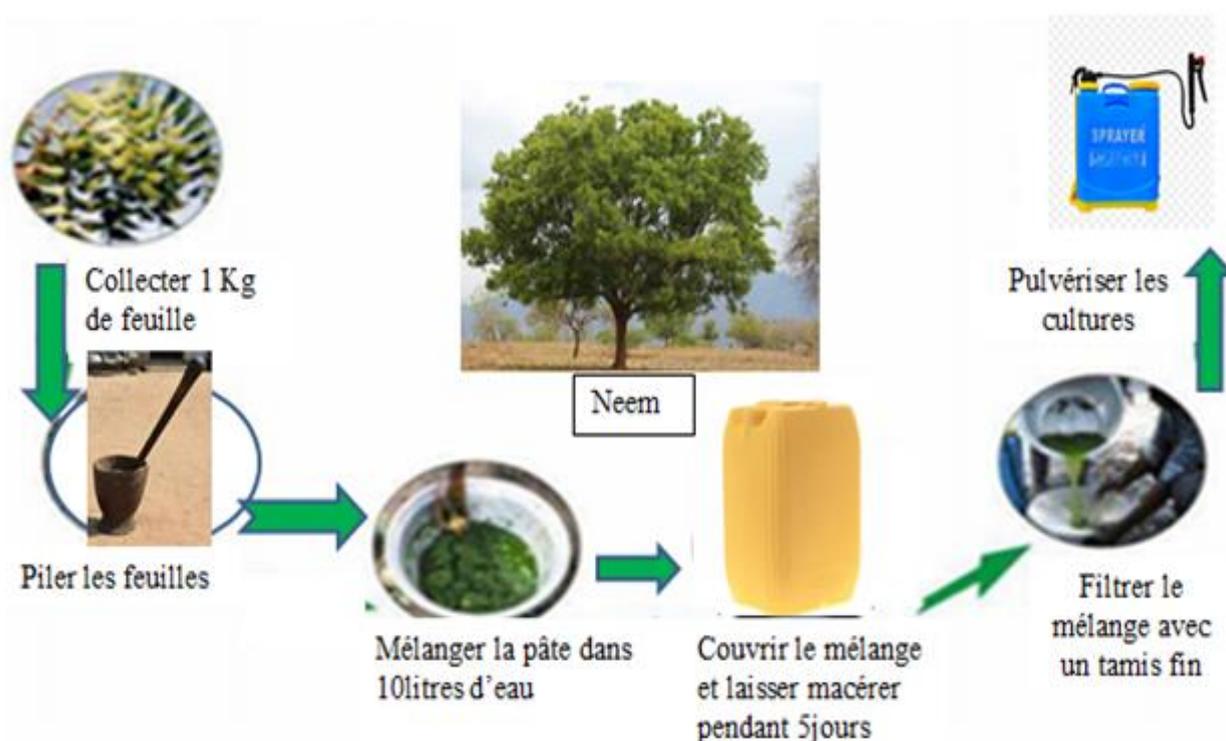


Figure 19 : Les étapes de l'extraction de plantes pesticides (exemple: Neem)

Source : Auteur 2022

II.1.4 Application des différents insecticides

L'application des traitements insecticides a débuté 7 jours après le repiquage soit 37 jours après les semis. Au total 6 pulvérisations espacées de 7 jours ont été réalisées sur chaque parcelle élémentaire. L'application des pesticides se situait entre 16 h et 18 h et la même dose (10l pour chaque pulvérisation pour le neem et tephrosia ; et 5l pour le piment) a été appliquée sur toute la période de l'expérimentation. Le calibrage des pulvérisateurs a été identique pour tous les traitements.

II.2 Variables mesurées et calculées

II.2.1. Variable mesurées

Lors de cette expérimentation, divers variables sont mesurés et codées. Les nombres de larves vivants qui sont observés 3 jours et 5 jours après chaque pulvérisation ; les nombres de larves mortes et le taux de mortalité selon la formule de HEDERSON TILTON qui sont observés au 5^{ème} jour après chaque pulvérisation. Et la perforation foliaire, évalué après la dernière pulvérisation en classifiant en 3 niveaux.

II.2.2. Méthode d'échantillonnage

Sur chaque parcelle élémentaire, avant et après pulvérisation, observer 4 plantes sur la ligne de forme W afin de minimiser les effets de bordure. Dénombrer et noter deux fois par semaine les larves de *Plutella xylostella*, en utilisant de loupe.

II.2.3. Evolution de nombre moyen des larves

Afin d'évaluer l'évolution de larves vivants et mortes de *Plutella xylostella*, ce dernier est dénombré sur chaque échantillon de chaque parcelle élémentaire. L'évaluation a été faite 72 heures et 120 heures après chaque application du produit ou pulvérisation. Les données collectées ont été enregistrées sur une fiche conçue à ce propos (Annexe 02).

II.2.4. Taux de mortalités

Il s'agit de comparer l'efficacité des solutions des insecticides à partir de formule de HENDERSON-TILTON.

$$\% \text{ d'efficacité} = 1 - \left(\frac{T_{ap} * C_{av}}{T_{av} - C_{ap}} \right) * 100$$

Tav : larves vivantes dans la parcelle traitée avant traitement

Cav : larves vivantes dans la parcelle témoin avant traitement

Tap : larves vivantes dans la parcelle traitée après traitement

Cap : larves vivantes dans la parcelle témoin après traitement

II.2.5. Perforation foliaire

Il s'agissait d'estimer les dégâts sur les feuilles par pieds des échantillons et noté comme les suivants selon les dégâts (3niveaux) :



1 : trous présent dans les feuilles de chaque pieds est inférieure à 25%



2 : trous présent dans les feuilles de chaque pieds est compris entre 25 et 50%



3 : trous présent dans les feuilles de chaque pieds est supérieure à 50%

II.3 Analyses de données

Les données ont été saisies avec le tableur Excel 2010 puis les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT 2015. Les données ont principalement été soumises à une analyse de la variance (ANOVA) au seuil de probabilité de 5%. Ensuite, une séparation des moyennes a été réalisée avec le test de Student Newman. Concernant les données relatives au niveau de la perforation foliaire, elles ont été soumises au test de Khi, de Pearson afin d'évaluer le pourcentage des perforations en fonction des traitements et des parcelles. Les résultats sont essentiellement présentés sous forme de tableaux et de figure à l'aide du tableur Excel 2010.

Partie III
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

I. RESULTATS ET INTERPRETATION

I.1 Efficacités de biopesticides

I.1.1 Larves vivantes

Le nombre moyen de larves de *Plutella xylostella* pour chaque traitement et après chaque évaluation a été considérée dans l'analyse des résultats, et représentée par la figure 20.

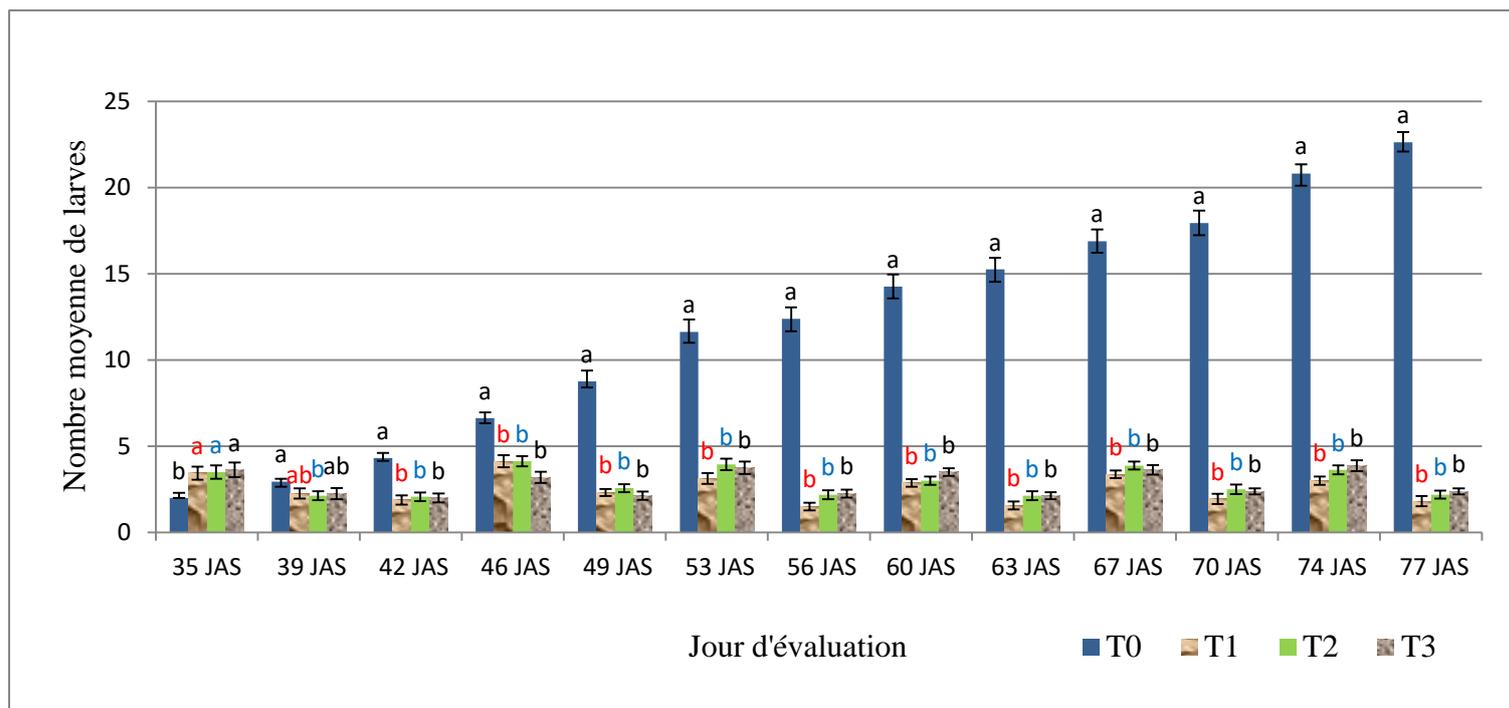


Figure 20 : Diagramme d'évolution de larves 3 et 5 jours après chaque pulvérisation

Lors de la mesure du nombre moyen de larves de *Plutella xylostella* au 35^e jour après semis, les groupes de traitement T3, T2 et T1 avaient respectivement une moyenne de 3,62 ; 3,5 et 3,438 larves vivantes, tandis que la moyenne de parcelle témoin (T0) est seulement de 2 larves vivantes. Dès le 39 JAS au dernier jour d'évaluation (77JAS), une nette augmentation de la densité de larves de *Plutella xylostella* est observée au niveau de parcelle témoin non traitée, allant de $2 \pm 0,289$ à $23 \pm 0,534$ larves par pieds de plantes. Par contre, une diminution de la densité de larves est constatée dans les parcelles traitées par les trois produits. Le nombre de larve à la parcelle témoin T0 est significativement supérieur au nombre de larve dans les parcelles traitées avec une différence de 17 larves par pieds. De plus, le test statistique effectué sur ces données a une p-value inférieure à 0,001, ce qui suggère qu'il y a une différence significative entre les moyennes des parcelles traitées et la parcelle témoin. Cet écart significatif de population de larves avant la pulvérisation du traitement peut être due

aux facteurs environnementaux ou à la présence/absence de perturbateurs externes dans les groupes de traitements. Le coefficient de détermination R^2 est de 0,967 avec un risque de 5% ce qui indique que le modèle mathématique utilisé pour prédire le nombre de larves de *Plutella xylostella* est très précis.

I.1.2 Larves mortes

Après chaque pulvérisation des produits biopesticides, les nombres des larves mortes sont notés au 5ème jour après chaque pulvérisation. Et traités à l'aide de l'ANOVA qui puisse donner le résultat dans la figure 21.

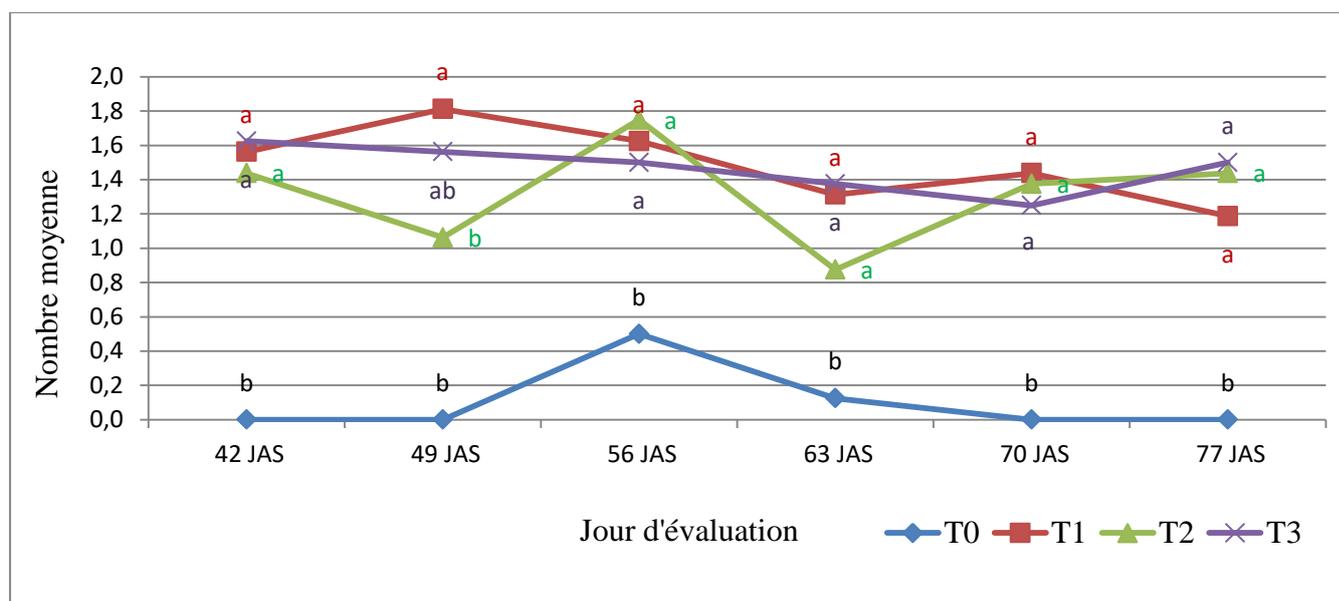


Figure 21 : évolution de larves mortes

La lettre « a » indique une différence significative entre les traitements T1, T2 et T3, ce qui signifie que ces traitements ont un effet significatif sur les mortalités des larves. La lettre « b » indique une différence significative entre les traitements témoin (T0) et les traitements T1, T2, et T3, ce qui signifie que ces biopesticides ont un effet sur la mortalité de larves par rapport à l'absence de traitement. Avec un coefficient de détermination R^2 est égale à 0,99.

Pour le traitement T1 à base de piment, la mortalité de larves est forte au 49 JAS (2larves par pieds). Les différences significatives sont observées entre les jours 42, 49 et 56 pour le traitement T2 à base de neem a montré. Le traitement T3 à base de Tephrosia a montré que la mortalité de larves est diminuée dès la première à la dernière évaluation. Le traitement T0, qui est le témoin sans traitement, a montré la mortalité nulle tout au long de l'évaluation. Aucune différence significative n'a été observée pour les périodes d'évaluation.

Les biopesticides sont donc efficace pour réduire la population de larves de *Plutella xylostella*, avec des différences significatives entre les traitements (p-value inférieur à 0,001)

I.2 Comparaison de l'efficacité des produits biopesticides

I.2.1 Nombre de larves des parcelles traitées selon le jour d'évaluation

Le nombre de larve a évalué tous le 3 jours et 5 jours après chaque pulvérisation des produits pesticides dans les échantillons de chaque parcelle élémentaires. La figure suivant montre le nombre moyen par traitement de chaque jour d'évaluation.

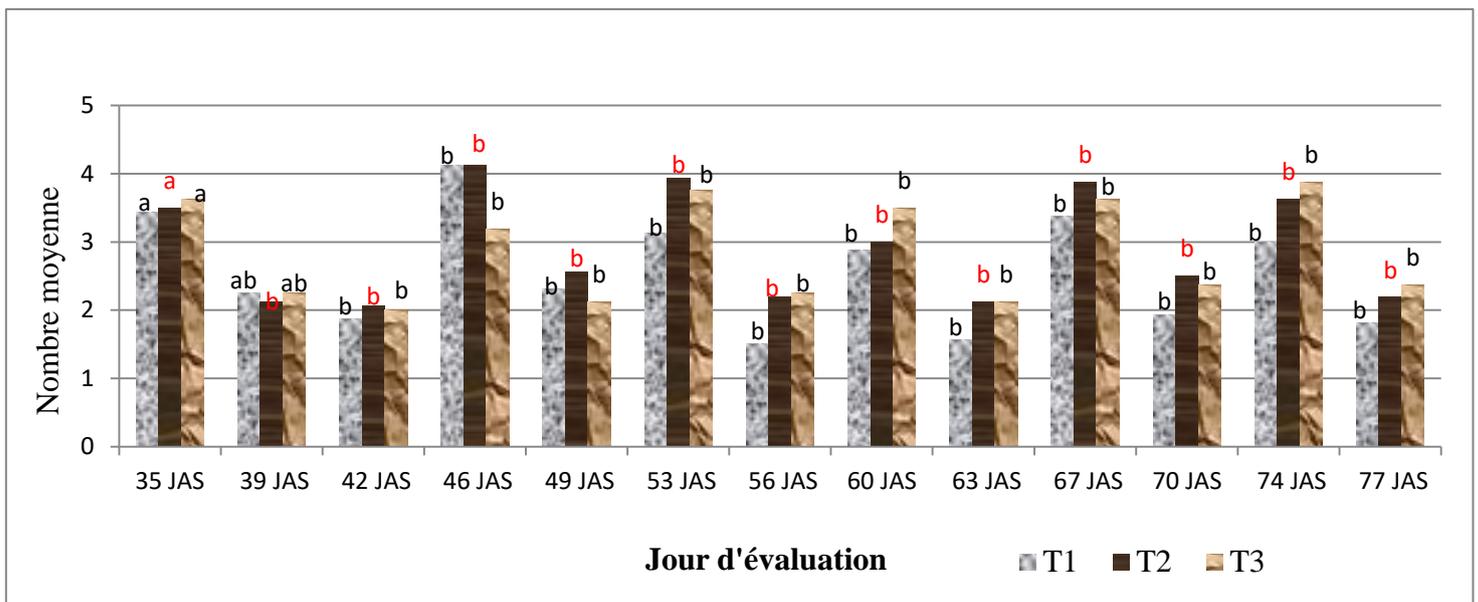


Figure 22: Nombre moyen de larves sur les produits biologiques
JAP : Jour après la pulvérisation

D'après cette figure, aucune différence significative observé avant l'application de traitements (au 35JAS). Du 49 au 77JAS, la parcelle traitée au piment présente le nombre de larves faibles par rapport aux deux autres biopesticides. Cela veut dire que la différence significative de piment apparait dès 49JAS. Par rapport au T0, les parcelles traitées T1, T2 et T3 présentent une différence significative avec p-value inférieure à 0,001, dont à la dernière évaluation, le nombre de larves au témoin est 20 plus que les larves aux parcelles traitées.

I.2.2 Taux de mortalités

Le taux de mortalités de larves a été évalué 7 jours après chaque pulvérisation. Et la figure 23 donne les résultats obtenus. .

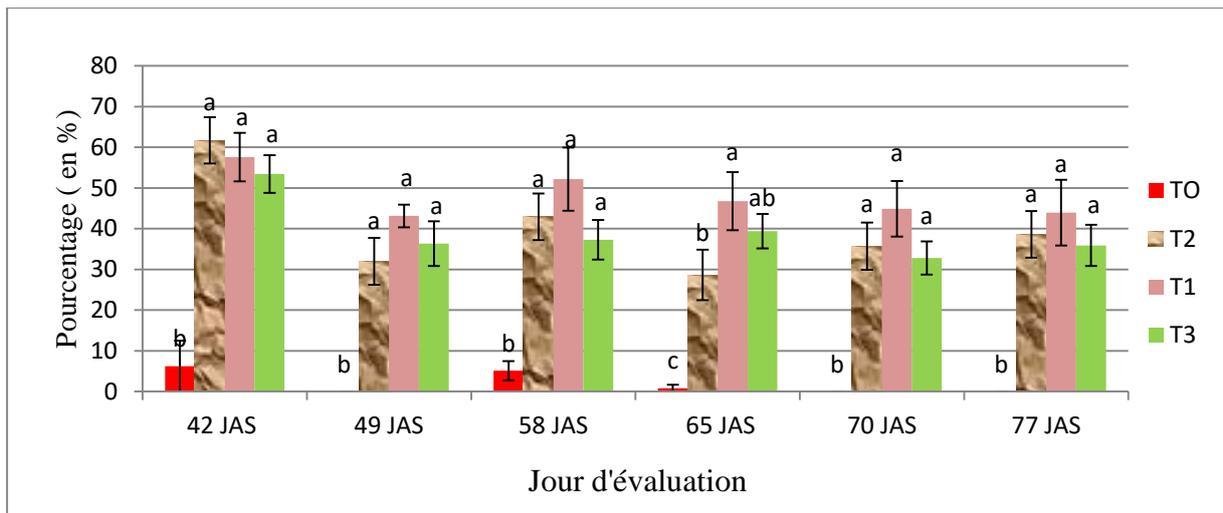


Figure 23 : taux de mortalité de larves de *Plutella xylostella*

La figure ci-dessus montre les résultats de l'évaluation de taux de mortalité notée ME (en %) au *Plutella xylostella* par les biopesticides : extrait aqueux de Tephrosia (T3), de neem (T2), et de piment (T1) ; et T0 indique le témoin durant cette expérimentation. L'évaluation a été réalisée tous les 5 jours après traitements (pulvérisation) dont 42JAS, 49JAS, 58JAS, 65JAS, 70JAS, et 77JAS.

Le traitement T1 à base de piment a montré un taux de mortalité élevé à la première pulvérisation (57,58% à 42JAS), qui a diminué progressivement avec le temps. Les différences significatives sont observés entre les jours 42 et 58, mais pas pour les autres périodes d'évaluation.

Le traitement T2 à base de neem a montré un taux de mortalité élevé au début de l'évaluation (61,71% à 42JAS), qui a diminué rapidement avec le temps. Les différences significatives sont observées entre les jours 42 et 49, et entre les jours 58 et 65.

Le traitement T3 à base de Tephrosia a montré un taux de mortalité relativement constant au cours de l'évaluation, avec une légère augmentation après 58JAS. Les différences significatives sont observées entre les jours 42 et 65, et entre les jours 70 et 77.

Le traitement T0, qui est le témoin sans traitement, a montré un taux de mortalité faible tout au long de l'évaluation. Aucune différence significative n'a été observée pour les périodes d'évaluation.

En générale, pour les différents traitements, le taux de mortalité due à la première pulvérisation (42JAS) est supérieur par rapport aux taux de mortalités suivantes (49 au 77JAS). Les résultats ANOVA a montré que les différents traitements ont des effets significatifs sur les nombres de larves sur cultures de chou-fleur (p-value inférieure à 0,0001)

Le test de comparaison de moyenne de taux de mortalité T0 est significatif inférieure au taux de mortalité sur les parcelles traitées T1, T2 et T3. L'efficacité de produits biopesticides est donc largement différent à celle de non traité. Donc, les trois produits sont tous efficace contre le *Plutella xylostella*, mais il faut souligner particulièrement le piment (T1) qui a une efficacité élevé, plus de 43% à chaque pulvérisation. Pour le Tephrosia, le taux de mortalité varie de 35 à 40% dès le deuxième traitement et reste presque constante tandis que le neem varie entre 28 et 43 % mais très varié.

I.2.3 Perforation foliaire

Après la sixième pulvérisation, une évaluation des dégâts occasionnés par les larves de *Plutella xylostella* a été faite sur un échantillon de 4 pieds pris au hasard par parcelle élémentaire. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 24 qui montre le niveau d'attaque.

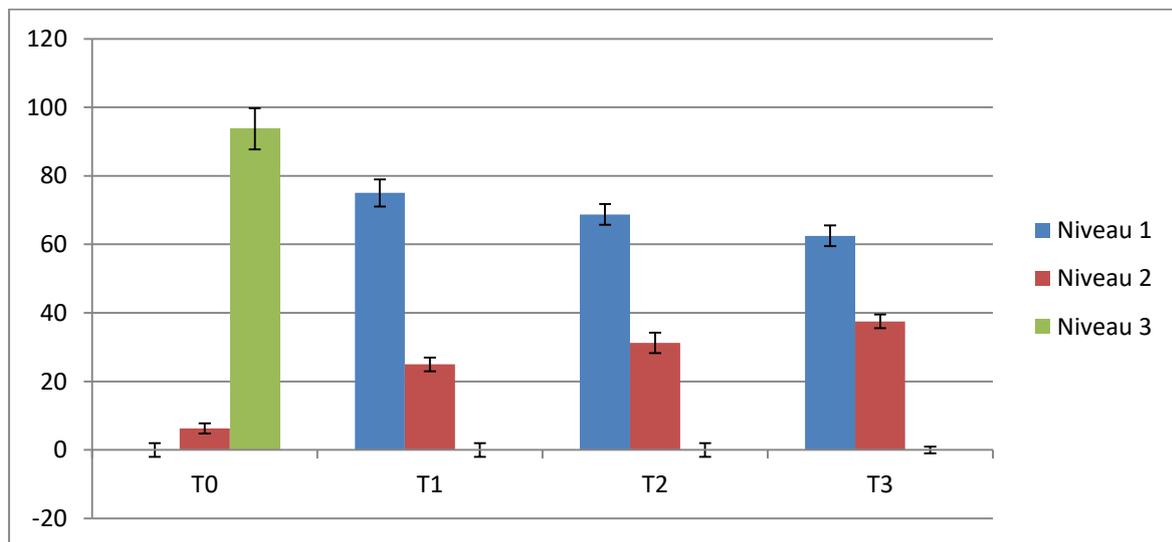


Figure 24 : perforation foliaire

D'après la figure ci-dessus, le niveau de dégâts sur les feuilles du chou-fleur est de $2,938 \pm 0,063$ dont plus de 93% au niveau3 pour la parcelle témoin non traitée. Par contre, pour les parcelles traitées, le niveau de la perforation foliaire varie de $1,313 \pm 0,120$ à $1,375 \pm 0,125$, dont 62,5 à 75% sont au niveau1. Les parcelles traitées au piment est la plus faible perforation foliaire en comparant aux deux autres biopesticides.

L'interprétation de ces résultats montre que les biopesticides ont eu un effet protecteur sur les feuilles des plantes de chou-fleur. Il a réduit les dégâts sur les feuilles, en particulier au niveau de parcelles traitées T1, T2 et T3, ce qui indique que le biopesticide est efficace pour protéger les feuilles des plantes contre les attaques de larves de *P. xylostella*. L'analyse de variance montre alors une différence significative entre la parcelle témoin et traitées.

II. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

Pour remédier aux problèmes résultants de l'utilisation des pesticides de synthèse, les plantes pesticides se présentent comme une alternative prometteuse dans le contexte de l'Afrique. En effet, la littérature scientifique démontre que de nombreuses plantes de la flore africaine disposent d'un énorme potentiel biocide sur une large gamme de bioagresseurs (Mondedji et al., 2014). La plupart de ces plantes ne sont pas cultivées, telle que *A. indica*, et d'autres sont cultivées, telle que *T. vogelli* et *C. frutescens* espèces sans doute la plus utilisée comme plante pesticide.

1. Discussion sur l'efficacité des plantes biopesticides

L'efficacité des extraits de plantes est généralement mesurée à travers l'abondance des populations des ravageurs ou la sévérité des dégâts (Yarou et al., 2017). Les résultats de notre étude ont montré que les extraits aqueux de *Tephrosia xylostella*, *Azadirachta indica* et *Capsicum frutescens* ont eu un effet sur *P. xylostella*, rencontrés dans la parcelle en réduisant leurs populations. Avant le début de l'application du traitement, 5 jours après le repiquage, quelques larves de *P. xylostella* étaient présentes dans les jeunes plantes de chou-fleur ayant 34 jours depuis le semis. Nous avons noté qu'après chaque traitement, le nombre de larves était pratiquement nulle et une réduction significative de la population de *Plutella xylostella* aux parcelles traitées. Dont, une nette augmentation de nombres de larves ($2 \pm 0,289$ à $22,66 \pm 0,591$) présent dans la parcelle témoin, tandis que $3,438 \pm 0,376$ à $1,813 \pm 0,292$ moyenne de larves dans les parcelles traitées. Cela peut être dû à l'effet du traitement qui serait néfaste à ce ravageur. Les extraits de ces plantes seraient efficaces sur ce ravageur. Ce composé provoque également un arrêt du développement larvaire et un blocage des mues chez les insectes qui correspond à l'étude de Yarou et al., 2017.

En comparaison au témoin aussi, la présence des pesticides botaniques a réduit significativement la consommation des feuilles par les larves. Les surfaces de feuilles de chou-fleur traitées aux différents extraits d'huile végétales consommées par les larves de *P. xylostella* furent globalement plus faibles que sur les feuilles témoin. Plus de 93% des choux fleurs de la parcelle témoin sont au niveau 3 (c'est-à-dire plus de 50% de surface foliaire présente de trou). Les taux de mortalités élevés (57%) ont été relevés au niveau des larves de populations de *Plutella* nourris sur des feuilles traitées avec les trois pesticides botaniques que celle de parcelle témoin (6%) ce qui correspondre à l'expérimentation de Fadhila Chilali (2013).

Avant l'application du traitement, au moment où les plants de chou étaient pratiquement très jeunes, *P. xylostella* était présent très abondamment dans tous les parcelles. L'étude permet conclure que les femelles de *P. xylostella* préfèrent les jeunes plantes lors de la ponte. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la teneur en glucosinolate dans la plante avec l'évolution de la pomme constituerait un facteur limitant la ponte des femelles. Ces observations montrent que l'abondance des larves de *P. xylostella* dépend non seulement du traitement des parcelles mais également du stade de développement des plants. L'étude est similaire au résultat de Sow (2013),

2. Discussion entre l'efficacité des trois produits biopesticides

2.1. Taux de mortalité

Les trois biopesticides montrent toxiques sur le contrôle de *Plutella xylostella*. Après la première évaluation, c'est-à-dire au 42 JAS, le taux de mortalités de deux biopesticides : extrait aqueux de neem et de piment est presque similaire, respectivement 57,6 % et 61,8%, si l'extrait aqueux de tephrosia est assez faible, 53, 4%. Mais dès la deuxième (49JAS) à la sixième pulvérisation (77JAS), la solution de piment a toujours un taux de mortalités élevés que les deux. Cela signifie que le caractère piquant du piment dû à la matière active capsaïcine est plus toxique sur la mortalité de larves que la teneur en glucosinolate de tephrosia due à la roténone et celle de neem : Azadirachtine.

2.2. Perforation foliaire

Les solutions des plantes pesticides ont des impacts positifs sur la croissance de la culture de chou-fleur. Les dégâts sur les feuilles sont faibles par rapport à celle de parcelle témoin. Pour les parcelles traitées au piment, 75% des plantes sont appartient au niveau 1, c'est-à-dire, les dégâts présents dans les feuilles sont inférieures à 25%, et 25% des plantes appartiennent au niveau 2, (25 à 50% des feuilles sont détruits). Pour le neem et tephrosia, la perforation foliaire est respectivement 68,75% et 62,5% des plantes sont dans le niveau 1, tandis que 31,75% et 37,5% sont au niveau 2. Ces résultats permettent de conclure que aucune plante traitées au pesticides a une perforation foliaire supérieure à 50%.

D'après les résultats ci-dessus, l'extrait de piment positionne la meilleure efficacité sur le contrôle de *Plutella xylostella*, provoque l'inappétence de larves et surtout la mortalité. En effet, une perturbation de la mue chez l'insecte a été observée chez des individus nourris sur des feuilles traitées. Cette perturbation chez les larves semble être due au blocage de la sécrétion des hormones de la mue. Ce blocage entraîne l'arrêt du développement

morphogénétique de la larve qui de ce fait, ne peut pas atteindre le stade adulte. (Fadhila Chilali., 2013).

III. SUGGESTION

De nombreux composés de plantes pesticides se décomposent rapidement au soleil. Il faut donc toujours pulvériser les extraits en fin d'après-midi ou le soir afin de maximiser le temps de contact avec les insectes. Cette dégradation rapide des composés avec la lumière du soleil signifie que les plantes pesticides doivent être pulvérisées plus fréquemment que les pesticides synthétiques commerciaux. Plusieurs pulvérisations sont fréquemment nécessaires en raison de leur décomposition rapide et parce que, une seule application ne suffit pas pour tuer tous les insectes. Pulvériser toutes les semaines les plantes pesticides s'est avéré aussi efficace que les produits synthétiques couramment utilisés. Comme que les pesticides synthétiques qui sont lavés par la pluie, les extraits de plantes sont encore plus sensibles au lavage, et il faut donc réappliquer le lendemain s'il a plu pendant la nuit suivant l'application. L'ajout de savon lors de l'extraction est une bonne conduite pour n'importe quelle plante ou partie de la plante utilisée. Le savon permet également de diffuser l'extrait sur les feuilles de la plante plus efficacement. En effet, les feuilles de la plante de chou-fleur sont légèrement cireuses et le savon aide l'extrait à se coller aux feuilles uniformément. Si le savon en liquide n'est pas disponible, nous pouvons utiliser d'autres sortes de savon comme un pain savon. Dans ce cas, un petit morceau de savon, par exemple 10g, pourrait être dissous dans un seau de 10 litres. La matière active de plante pesticide a des plusieurs dérivées de divers formules chimiques, alors, il faut faire une étude sur la composition chimique de plante pesticide pour identifier la molécule responsable de la phytotoxicité et envisager une possibilité d'inactivation sans nuire à ses propriétés d'insecticide.

CONCLUSION

Pour conclure, depuis la dernière décennie, la découverte de plante pesticide ne cesse croître jusqu'à nos jours. Cette étude a permis d'évaluer l'efficacité des biopesticides extraits aqueux de *Tephrosia vogelli*, *Azadirachta indica* et *Capsicum frutescens* contre le *Plutella xylostella* sur le chou-fleur. Les résultats ont montré que ces extraits de plantes pesticides peuvent réduire les dégâts causés par le Plutellidae, en effet l'hypothèse 1 qui stipule que « les biopesticides se montrent toxiques sur les larves de *Plutella xylostella* » a été vérifiée. Parmi les biopesticides testés, les parcelles traitées avec les biopesticides à base de piment (T1) ont montré une réduction plus significative du nombre de larve par rapport au témoin (T0). De plus, ces parcelles traitées ont également enregistré un taux de mortalité plus élevé de larves de *Plutella xylostella* et une réduction significative de la perforation foliaire, ce qui vérifie l'hypothèse 2 qui stipule que « les produits à base de piment sont plus efficaces que ceux à base de neem et tephrosia ».

Le biopesticide extrait de piment est le plus efficace parmi les deux biopesticides testés dans cette étude, cela suggère que le piment peut être une option prometteuse pour la lutte contre le *Plutella xylostella* sur le chou-fleur. L'utilisation de biopesticides à base de plantes peut être donc une alternative efficace aux pesticides chimiques dans la protection des cultures contre les ravageurs. Néanmoins, des études supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats et explorer davantage l'efficacité des extraits de *Tephrosia*, de *Neem* et de *Piment* dans la lutte contre *Plutella xylostella* sur d'autres cultures.

REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Adékambi et *al.*, 2010. Results of field trials to control the diamondback moth, *Plutella xylostella* L., by application of cru de methanol extracts and aqueous suspensions of seed kemels and leaves of neem., *Zeitschrift.für Angewandte Entomologie*, 100, 1,27- 33.
2. Agboyi L.K. et *al.*, 2016. Pesticide résistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Mémoire de D.E.A., Université de Lomé, 61p
3. Aquiloni L. et Gherardi F., 2010. The use of sex pheromones for the control of invasive populations of the crayfish *Procambarus clarkia*: a field study. *Hydrobiologia*, 649, 249-254.
4. Arvanitakis L., 2013. Interaction entre la teigne du chou *Plutella xylostella* (L.) et ses principaux parasitoïdes en conditions tropicales : approche éthologique, écologique et évolutive. Thèse de doctorat, Université Paul-Valéry de Montpellier 3, 198p.
5. Ashishie1 P.B., Ashishie2 C.A., 2018. Biopesticide, their Ecological and Toxicological Effects . Department of Pure and Applied Chemistry, University of Calabar.
6. Balachowsky A.S., 1966. Hyponomeutidae sous-famille des Plutellinae. Entomologie applîquée à l'agriculture. Masson, Paris, France. 229p
7. Ben Belaïd S., 2018. Le triangle des maladies, un outil systémique pour les prévenir.
8. Birot, S., Arvanitakis, L., Kirk, A.A., Et Bordat, D., (1999). Genetical, biological and biochemical characterization of three different geographical populations of *Oomyzus solkolowskii*, a parasitoid of *Plutella xylostella*. In :*Proceedings of the Fifth International Conference on Pests in Agriculture*. December 1999. Montpellier, France, 633–640.
9. Calderón-Alvarez C. et *al.*, 2012. Monitoring the effects of *Rodolia cardinalis* on *Icerya purchasi* on the Galapagos Islands. *BioControl*, 57, 167-179.
10. Carpenter, J. E. et Bloem, S., 2002. Interaction between insect strain and artificial diet in diamondback moth development and reproduction. *Entomologia Experimentalis Et Applicata* 102: 283–294.
11. Chambre Régionale d’Agriculture de Dosso., 2017. Fiche technico-économique pour la culture des choux. 3p.
12. Chandler D. et *al.*, 2011. The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. 366p

13. Chen X. et al., 2002. Comparative analysis of the complete genome sequences of *Helicoverpa zea* and *Helicoverpa armigera* single-nucleocapsid nucleopolyhedroviruses. *J. Gen. Virol.*, 83, 673-684.
14. Cheng Y., 1981. Insecticide resistance study in *Plutella xylostella* (L.). *Developing a. Journal of Agricultural Research of China*, 30, 3, 277- 293p
15. Chow, Y.S., Chiu, S.C., Et Chien, C.C.,1974. Demonstration of a sex pheromone of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 67, 510–512.
16. Chu Y., 1986. The migration of diamondback moth. In: Talekar N. S. (Ed.), *Diamondback moth Management: Proceedings of the first International Workshop*. 77-81
17. Chua TH et Lim BH., 1979. Distribution pattern of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lep. Plutellidae) on choy-sum plants. *Zeitschrift fur Angewandte Entomologie* 88: 170-175
18. Deravel J. et al., 2013. Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques. 232p.
19. Dommee F., 1999. Comparaison biologique et biochimique de trois populations d'origines Géographiques différentes de *Plutella xylostella* (Linné, 1158) ou Teigne des Brassicaceae. Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes, Université de Montpellier Tf, France. 10 p
20. Dominique Berry., 2013. Culture biologique des choux. Chambre d'Agriculture du Rhône, 12p.
21. Fadhila Chilali., 2013. Contribution à l'étude de deux pathogenes contre la mineuse de la tomate *Tuta absoluta*. Mémoire de magister. université SAAD DAHLEB DE BLIDA. 12p.
22. FAO, FIDA, OMS, PAM et UNICEF., 2022. État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2022. 40p.
23. FAO., 2012. La sous-alimentation dans le monde en 2012. www.fao.org/docrep/017/i3027f/i3027f02.
24. FAO., 2013. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 1972. 113p.
25. Harcourt D.G., 1986. Population dynamics of the diamondback moth in Southern Ontario. 5p.
26. Hardy J.H., 1938. *Plutella maculipennis*, Curt., its natural and biological control In England. *Bulletin of Entomological Research* 29: 343-372.

27. Hashem A. et Abd Allah E. F., 2015. The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of *Acacia gerrardi* under salt stress. *Front, Plant sci.* 7 : 1089.
28. Hélène Manguin et Nivo Rakotonirainy., 2012. Etude de la filière légumes sur les Hautes Terres de Madagascar, régions Analamanga, Itasy, Vakinankaratra, Amoron'i Mania 123p..
29. Honda KI., Miyahara, Y., et Kegasawa, K., 1992. Seasonal abundance and the possibility of spring immigration of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lep.: Plutellidae), in Morioka City, Northern Japan. *Applied Entomology and Zoology* 27: 517-524.
30. Kanda M, Akpavi S, Wala K, DjaneyeBoundjou G, Akpagana K., 2014. Diversité des espèces cultivées et contraintes à la production en agriculture maraîchère au Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8(1): 115-127
31. Kfir R., 1998. Origin of diamondback moth (Lep. : Plutellidae). *Annals of the Entomological Society of America* 91: J64-167.
32. Kouassi AM et al., 2021. Cycle Biologique en Conditions Semi-Naturelles de *Plutella xylostella* L., 1758 (Lepidoptères: Plutellidae), *European Scientific Journal* September 2019 edition Vol.15, No.27 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
33. Kumar S., et Singh., 2015. *Bacillus thuringiensis* (Bt) transgenic crop: an environment friendly insect-pest management strategy. *J. Environ. Biol.*, 29(5), 641-653.
34. Leng P. et al., 2011. Applications and development trends in biopesticides. *Afr. J. Biotechnol.*, 10(86), 19864-19873.
35. Liu Y. B. et Tabashnik., 1997. Larval age affects resistance to *Bacillus thuringiensis* in Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae), *Journal of Economic Entomology*, 88, 4, 788-792.
36. MAAH., 2017. Programme de Développement des Cultures Fruitières et Légumières. Ouagadougou, Burkina Faso, 64p.
37. Manchandrade I., 2019. bio-besticides : a viable tool for organic farming. *International Journal of Microbiology Research* ISSN: 0975-5276 & ISSN: 0975-9174, Volume 11, Issue 7, 2019, pp.-1660-1664.
38. McQuilken M. et al., 2003. Production of macrosphelide A by the mycoparasite *Coniothyrium minitans*. *FEMS Microbiol. Lett.*, 2009, 27-31
39. Mekacher R. et Ismiguaoua S., 2017. Etude comparative de deux bioinsecticides et un insecticide commercial vis-à-vis de *Bruchus rufimanus* (Coleoptéra :Bruchidae).

Mémoire de Master. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi ouzou Algérienne. 41p.

40. MOMAGRI., 2016. Chiffres-clés de l'Agriculture, <http://www.momagri.org/FR/chiffres-cles-de-l-agriculture>.
41. Mondedji A. D., 2010. Potentiel d'utilisation d'extraits de feuilles de Neem (*Azadirachlo indica* A. Juss) et de papayer (*Carica papaya* L.) dans le contrôle des insectes ravageurs du chou (*Brassica oleracea* L.) en zones urbaines et périurbaines au sud du Togo. Thèse de doctorat, Université de Lomé, Togo.
42. Muhammad O, Tsukuda R, Oki Y, Fujisaki K, Nakasuji F, 1994. Influences of wild crucifers on life history traits and flight ability of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lep.: Yponomeutidae). *Researches in Population ecology* 36: 53-62.
43. Muzingu B., 2007. Comportement organisationnel des sites de coopératives maraîchères de Kinshasa vis-à-vis des contraintes environnementales. In *Les Performances des Organisations Africaines. Pratiques de Gestion en Contexte Incertain, coll. Conception et Dynamique des Organisations*, Nizet J, Pichault F (eds). L'Harmattan: Paris; 89- 106.
44. 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.
45. Nollet M.L.et Singh Rathore 2015. Biopesticides Handbook.Cbc, an Informa business.*International Standard Book Number-13: 978-1-4665-9653-5*
46. Ooi, P. A. C., (1986). Diamondback moth in Malaysia. In: Talekar N. S. (ed), *Diamondback moth Management: Proceedings of the first International Workshop*, Tainan, Taiwan, 11-15 March 1985, *Asian Vegetable Research and Development Center*, 35–41.
47. Patil SP et Pokharkar RN., 1971. Diamondback moth, a serious pest of crucifers. *Research Journal Mahatma Phule Agriculture University*, 134-139.
48. Pérez-García A., Romero D., et de Vicente A., 2011. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of *Bacilli* in agriculture. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 22(2), 187-193
49. Pichon A., 1999. Différences morphologiques, biologiques et génétiques entre plusieurs populations d'origines géographiques différentes de *Plutella xylostella* (L.),

- (Lepidoptera Plutellidae). Thèse d'Entomologie, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 182p.
50. Rajamani et Negi., 2016. Effet des insecticides, des variétés de chou et des dates de semis sur *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera : Plutellidae) dans les hautes terres de l'Ouest Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(3): 1059–1068. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.13>
 51. Ratzka A et al., 2002. Disarming the mustard oil bomb. *Proceedings of the National Academy of Science* 99: 11223– 11228.
 52. Schmutterer, H., 1992. Control of diamondback moth by application of neem extracts. In: Talekar N. S. (ed), *Diamondback moth and other crucifers pests: Proceedings of the second International Workshop*, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990, *Asian Vegetable Research and Development Center*, 325–332.
 53. Silva Y. et Furlong M.J., 2012. Diamondback Moth Oviposition: Effects of Host Plant and Herbivory. *Entomologia Experimentalis Et Applicata* 143:18-30..
 54. Smith DB. and Sears MK., 1984. Evidence for dispersal of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae), into Southern Ontario. *Proceedings of the Entomological Society of Ontario* 113: 21-27
 55. Sorribas C, 1999. Influence de populations d'origine géographiques différentes de *Plutella xylostella* (L.) (Lep. : Yponomeutidae) sur le pourcentage de parasitisme de *Cotesia plutellae* (K.) (Hym. : Braconidae). Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes, Université de Montpellier II, France. 10 p.
 56. Sow., 2023. Gestion intégré des populations de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera Plutellidae), principal ravageur du chou au senegal. These Doctorat. Faculté de sciences et techniques. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 304p
 57. Talekar NS et Shelton A.M. 1993, Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annual Review of entomology* 38: 275-301.
 58. Talekar NS., 2004. Biological control of diamondback moth in Asia In: *Improving Biocontrol of Plutella xylostella*. Proceedings of the international symposium,. Montpellier, France
 59. Talekar, N.S., Lee, S.T., Et Huang, S.W. (1986). Intercropping and modification of irrigation method for the control of diamondback moth. In: Talekar N. S. (ed), *Diamondback moth Management: Proceedings of the first International Workshop*, Tainan, Taiwan, 11-15 March 1985, *Asian Vegetable Research and Development Center*. p. 145-151.

60. Thakore, Y., 2006. Le marché des pesticides pour une utilisation globale en agriculture. 194p.
61. Thomas Haulbert., 2016. Culture du chou-fleur. Chambre d'agriculture des Bouches-du-Rhône. 17p.
62. Washburn J., Trudeau D., Wong J. & Volkman L., 2003. Early pathogenesis of *Autographa californica* multiple nucleopolyhedrovirus and *Helicoverpa zea* single nucleopolyhedrovirus in *Heliothis virescens*: a comparison of the 'M' and 'S' strategies for establishing fatal infection. *J. Gen. Virol.*, 84, 343-351.
63. Yarou, Pierre S, Komlan AF, Mensah A, Alabi T, Verheggen F., 2017. Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest. . *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 21(4) : 288-304.
64. Zalucki, M. P. Et al., 2012. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): Just how long is a piece of string?. *Journal of Economic Entomology*, v.105, n.4, p.1115-1129, 2012

ANNEXE

Annexe 1 : Organigramme du Ceffel

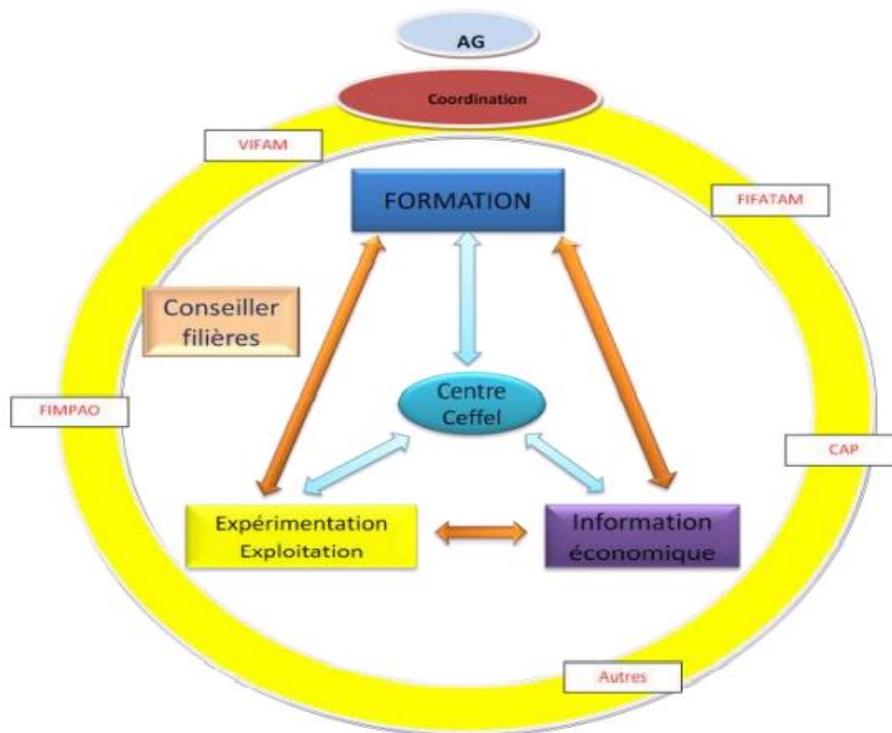


Figure 25 : Organigramme de CEFFEL

Source : CEFFEL

Annexe 2 : Culture de chou-fleur



Stade de trois vraies feuilles de chou-



Tête de chou-fleur



Culture de chou-fleur



Dégâts de Plutella sur le chou-fleur

Annexe 3 : Variables mesurés

Variables	Code variables	Signification	Mesures
1	LV 35 JAS	Nombre de larves vivants 35 jours après semis	Dénombrer les larves vivant présent à chaque échantillon
2	LV 39 JAS	Nombre de larves vivants 39 jours après semis	Dénombrer les larves vivant présent à chaque échantillon
3	LV 42 JAS	Nombre de larves vivants 42 jours après semis	Dénombrer les larves vivant présent à chaque échantillon
4	LM 42 JAS	Nombre de larves mortes 42 jours après semis	Compter les larves mortes à partir de larves vivantes restantes
5	ME 42 JAS	Taux de mortalité de larves 42 JAS	Formule de HENDERSON-TILTON
6	LV 46 JAS	Nombre de larves vivants 46 jours après semis	Dénombrer les larves vivant présent à chaque échantillon
7	LV 49 JAS	Nombre de larves vivants 49 jours après semis	Dénombrer les larves vivant pèsent à chaque échantillon
8	LM 49 JAS	Nombre de larves mortes 49 jours après semis	Compter les larves mortes à partir de larves vivantes restantes
9	ME 49 JAS	Taux de mortalité de larves 49 JAS	Formule de HENDERSON-TILTON
10	LV 53 JAS	Nombre de larves vivants 53 jours après semis	Dénombrer les larves vivant pèsent à chaque échantillon
11	LV 56 JAS	Nombre de larves vivants 56 jours après semis	Dénombrer les larves vivant présent à chaque échantillon

12	LM 56 JAS	Nombre de larves mortes 56 jours après semis	Compter les larves mortes à partir de larves vivants restants
13	ME 56 JAS	Taux de mortalité de larves 56 JAS	Formule de HENDERSON-TILTON
14	LV 60 JAS	Nombre de larves vivants 60 jours après semis	Dénombrer les larves vivant présent à chaque échantillon
15	LV 63 JAS	Nombre de larves vivants 63 jours après semis	Dénombrer les larves vivant présent à chaque échantillon
16	LM 63 JAS	Nombre de larves mortes 63 jours après semis	Compter les larves mortes à partir de larves vivantes restantes
17	ME 63 JAS	Taux de mortalité de larves 63 JAS	Formule de HENDERSON-TILTON
18	LV 67 JAS	Nombre de larves vivants 67 jours après semis	Dénombrer les larves vivant présent à chaque échantillon
19	LV 70 JAS	Nombre de larves vivants 70 jours après semis	Dénombrer les larves vivant pèsent à chaque échantillon
20	LM 70 JAS	Nombre de larves mortes 70 jours après semis	Compter les larves mortes à partir de larves vivantes restantes
21	ME 70 JAS	Taux de mortalité de larves 70 JAS	Formule de HENDERSON-TILTON
22	LV 73 JAS	Nombre de larves vivants 73 jours après semis	Dénombrer les larves vivant présent à chaque échantillon
23	LV 77 JAS	Nombre de larves vivants 77 jours après semis	Dénombrer les larves vivant présent à chaque échantillon
24	LM 77 JAS	Nombre de larves mortes 77 jours après semis	Compter les larves mortes à partir de larves

			vivantes restantes
25	ME 77 JAS	Taux de mortalité de larves 77 JAS	Formule de HENDERSON-TILTON
26	Pf	Perforation foliaire	Estimer les dégâts sur les feuilles en classifiant en 3 niveaux.(faible, moyen et fort).

Annexe 4 : Nombre de larves par parcelle

Bloc	Parcelle	Traitement	Poquet	NV35JAS	NV39JAS	NV42JAS	NV 46 JAS	NV 49 JAS	NV 53 JAS	NV 56 JAS	NV 60 JAS	NV63 JAS	NV 67 JAS	NV 70 JAS	NV74 JAS	NV 77 JAS
I	1	T3	1	3	2	2	5	3	4	3	3	2	3	2	6	3
I	1	T3	2	3	2	2	3	2	5	3	4	2	4	3	4	2
I	1	T3	3	4	2	1	5	4	4	2	3	2	3	2	4	3
I	1	T3	4	2	1	1	4	2	3	2	2	1	4	2	3	2
I	2	T2	1	3	2	2	4	2	3	1	2	2	4	3	4	2
I	2	T2	2	2	2	2	2	1	2	2	3	2	3	1	3	1
I	2	T2	3	5	3	3	3	3	4	1	2	2	5	5	3	2
I	2	T2	4	3	2	2	2	1	6	2	4	2	5	2	4	1
I	3	T1	1	2	1	1	4	3	3	2	3	3	4	3	3	3
I	3	T1	2	5	3	2	6	3	2	1	4	2	5	5	4	3
I	3	T1	3	3	1	1	4	2	2	0	2	0	4	2	4	2
I	3	T1	4	7	5	5	7	3	4	1	3	1	3	2	3	1
I	4	TO	1	2	2	3	6	6	8	9	14	15	15	15	23	24
I	4	TO	2	0	2	3	7	9	10	12	12	12	14	14	16	17
I	4	TO	3	2	3	5	6	8	12	12	16	17	18	19	21	23
I	4	TO	4	3	4	7	9	10	12	13	16	18	19	19	22	24
II	5	T2	1	5	3	2	3	2	3	2	2	1	4	3	4	2
II	5	T2	2	2	1	1	3	1	4	3	4	3	5	3	5	3
II	5	T2	3	3	1	1	2	2	4	2	3	3	3	1	3	2

II	5	T2	4	3	2	2	4	3	5	3	4	2	3	2	5	3
II	6	T3	1	1	0	0	3	3	5	4	3	3	3	3	2	2
II	6	T3	2	5	3	3	4	2	4	3	2	1	2	1	3	3
II	6	T3	3	2	1	1	2	1	3	1	3	1	3	2	5	3
II	6	T3	4	6	4	4	7	4	4	2	4	2	5	3	4	2
II	7	T1	1	5	3	2	4	3	6	3	4	1	2	2	2	2
II	7	T1	2	4	3	3	5	2	4	2	2	2	3	1	3	1
II	7	T1	3	3	2	1	2	1	5	2	3	2	4	3	2	0
II	7	T1	4	3	2	2	4	2	3	1	2	1	5	2	5	4
II	8	T0	1	4	4	6	8	13	16	17	19	19	21	21	23	24
II	8	T0	2	3	3	5	6	11	13	14	15	15	16	16	19	23
II	8	T0	3	2	2	4	6	9	11	11	11	13	16	17	19	19
II	8	T0	4	2	3	5	9	9	14	14	14	15	15	15	21	25
III	9	T1	1	3	2	2	3	2	3	1	2	1	3	1	4	3
III	9	T1	2	4	3	3	6	4	4	2	3	2	3	2	1	0
III	9	T1	3	3	1	1	4	2	2	2	5	3	3	1	3	2
III	9	T1	4	5	4	1	3	2	1	0	3	2	2	0	3	1
III	10	T3	1	3	2	2	4	3	3	2	4	3	4	2	3	3
III	10	T3	2	6	4	3	5	2	4	2	5	4	4	3	4	2
III	10	T3	3	3	2	2	3	3	5	2	4	2	6	4	4	2
III	10	T3	4	7	5	3	6	4	2	1	3	2	5	2	7	4
III	11	T2	1	2	2	2	3	2	3	3	5	5	4	3	3	2
III	11	T2	2	3	2	2	3	1	2	1	4	2	5	2	5	3
III	11	T2	3	3	3	3	5	4	5	2	3	3	4	2	4	4
III	11	T2	4	4	2	2	2	2	4	2	2	1	2	1	5	3
III	12	T0	1	2	3	3	6	6	8	9	11	13	16	16	19	21
III	12	T0	2	3	3	4	8	10	13	13	12	13	15	21	21	25
III	12	T0	3	3	4	5	6	8	11	13	13	15	16	19	22	25
III	12	T0	4	1	3	4	5	5	10	10	16	16	16	16	20	20
IV	13	T3	1	3	2	2	3	3	2	2	3	2	3	2	3	2

IV	13	T3	2	5	3	3	4	2	1	1	4	3	3	2	3	1
IV	13	T3	3	3	2	2	5	2	4	2	4	2	4	3	4	2
IV	13	T3	4	2	1	1	3	1	7	4	5	2	2	2	3	2
IV	14	T1	1	3	2	2	3	2	3	3	3	2	3	1	3	3
IV	14	T1	2	2	1	1	5	3	3	1	2	1	3	2	3	1
IV	14	T1	3	1	1	1	4	2	2	2	3	2	4	3	2	1
IV	14	T1	4	2	2	2	2	1	3	1	2	0	3	1	3	2
IV	15	T0	1	3	3	3	5	7	9	10	13	13	14	17	21	23
IV	15	T0	2	0	2	3	6	6	8	9	11	13	15	17	19	22
IV	15	T0	3	1	3	4	5	9	13	14	14	15	20	20	22	22
IV	15	T0	4	1	3	5	8	14	18	18	21	22	24	25	25	25
IV	16	T2	1	4	2	2	3	2	3	1	2	1	4	2	3	3
IV	16	T2	2	4	1	1	2	2	4	2	3	2	3	3	2	1
IV	16	T2	3	2	1	1	4	2	4	3	2	2	5	4	3	1
IV	16	T2	4	8	5	5	6	4	7	5	3	1	3	3	2	2

Annexe 5 : Taux de mortalité et la perforation foliaire

Bloc	Parcelle	Traitement	Poquet	ME 42 JAS	ME 49 JAS	ME 58 JAS	ME 65 JAS	ME 70 JAS	ME 77 JAS	Perforation
I	1	T3	1	66,7	40,0	25,0	33,3	33,3	50,0	1
I	1	T3	2	66,7	33,3	40,0	50,0	25,0	50,0	2
I	1	T3	3	25,0	20,0	50,0	33,3	33,3	25,0	1
I	1	T3	4	50,0	50,0	33,3	50,0	50,0	33,3	1
I	2	T2	1	66,7	50,0	66,7	0,0	25,0	50,0	1
I	2	T2	2	100,0	50,0	0,0	33,3	66,7	66,7	2
I	2	T2	3	60,0	0,0	75,0	0,0	0,0	33,3	1
I	2	T2	4	66,7	50,0	66,7	50,0	60,0	75,0	2
I	3	T1	1	50,0	25,0	33,3	0,0	25,0	0,0	1
I	3	T1	2	40,0	50,0	50,0	50,0	0,0	25,0	2

I	3	T1	3	33,3	50,0	100,0	100,0	50,0	50,0	1
I	3	T1	4	71,4	57,1	75,0	66,7	33,3	66,7	1
I	4	T0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3
I	4	T0	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2
I	4	T0	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3
I	4	T0	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3
II	5	T2	1	40,0	33,3	33,3	50,0	25,0	50,0	2
II	5	T2	2	50,0	66,7	25,0	25,0	40,0	40,0	1
II	5	T2	3	33,3	0,0	50,0	0,0	66,7	33,3	2
II	5	T2	4	66,7	25,0	40,0	50,0	33,3	40,0	1
II	6	T3	1	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	1
II	6	T3	2	60,0	50,0	25,0	50,0	50,0	0,0	2
II	6	T3	3	50,0	50,0	66,7	66,7	33,3	40,0	1
II	6	T3	4	66,7	42,9	50,0	50,0	40,0	50,0	2
II	7	T1	1	40,0	25,0	50,0	75,0	0,0	0,0	1
II	7	T1	2	75,0	60,0	50,0	0,0	66,7	66,7	2
II	7	T1	3	33,3	50,0	60,0	33,3	25,0	100,0	1
II	7	T1	4	66,7	50,0	66,7	50,0	60,0	20,0	2
II	8	T0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3
II	8	T0	2	0,0	0,0	7,7	13,3	0,0	0,0	3
II	8	T0	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3
II	8	T0	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3
III	9	T1	1	66,7	33,3	66,7	50,0	66,7	25,0	2
III	9	T1	2	75,0	33,3	50,0	33,3	33,3	100,0	1
III	9	T1	3	33,3	50,0	0,0	40,0	66,7	33,3	1
III	9	T1	4	20,0	33,3	100,0	33,3	100,0	66,7	1
III	10	T3	1	66,7	25,0	33,3	25,0	50,0	0,0	1
III	10	T3	2	50,0	60,0	50,0	20,0	25,0	50,0	2
III	10	T3	3	66,7	0,0	60,0	50,0	33,3	50,0	1
III	10	T3	4	42,9	33,3	50,0	33,3	60,0	42,9	1

III	11	T2	1	100,0	33,3	0,0	0,0	25,0	33,3	1
III	11	T2	2	66,7	66,7	50,0	50,0	60,0	40,0	1
III	11	T2	3	100,0	20,0	60,0	0,0	50,0	0,0	2
III	11	T2	4	50,0	0,0	50,0	50,0	50,0	40,0	1
III	12	T0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3
III	12	T0	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3
III	12	T0	3	0,0	0,0	18,2	0,0	0,0	0,0	3
III	12	T0	4	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	3
IV	13	T3	1	66,7	0,0	0,0	33,3	33,3	33,3	1
IV	13	T3	2	60,0	50,0	0,0	25,0	33,3	66,7	2
IV	13	T3	3	66,7	60,0	50,0	50,0	25,0	50,0	2
IV	13	T3	4	50,0	66,7	42,9	60,0	0,0	33,3	1
IV	14	T1	1	66,7	33,3	0,0	33,3	66,7	0,0	1
IV	14	T1	2	50,0	40,0	66,7	50,0	33,3	66,7	1
IV	14	T1	3	100,0	50,0	0,0	33,3	25,0	50,0	2
IV	14	T1	4	100,0	50,0	66,7	100,0	66,7	33,3	1
IV	15	T0	1	100,0	0,0	33,3	0,0	0,0	0,0	3
IV	15	T0	2	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	3
IV	15	T0	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3
IV	15	T0	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3
IV	16	T2	1	50,0	33,3	66,7	50,0	50,0	0,0	2
IV	16	T2	2	25,0	0,0	50,0	33,3	0,0	50,0	1
IV	16	T2	3	50,0	50,0	25,0	0,0	20,0	66,7	1
IV	16	T2	4	62,5	33,3	28,6	66,7	0,0	0,0	1

Annexe 6 : Nombre de larves vivantes après le jour d'évaluation

Traitement	35 JAS	39 JAS	42 JAS	46 JAS	49 JAS	53 JAS	56 JAS	60 JAS	63 JAS	67 JAS	70 JAS	74 JAS	77 JAS
T0	2,000 b	2,938 a	4,313 a	6,625 a	8,750 a	11,625 a	12,375 a	14,250 a	15,250 a	16,875 a	17,938 a	20,813 a	22,625 a
T1	3,438 a	2,250 ab	1,875 b	4,125 b	2,313 b	3,125 b	1,500 b	2,875 b	1,563 b	3,375 b	1,938 b	3,000 b	1,813 b
T2	3,500 a	2,125 b	2,063 b	3,188 c	2,125 b	3,938 b	2,188 b	3,000 b	2,125 b	3,875 b	2,500 b	3,625 b	2,188 b
T3	3,625 a	2,250 ab	2,000 b	4,125 b	2,563 b	3,750 b	2,250 b	3,500 b	2,125 b	3,625 b	2,375 b	3,875 b	2,375 b