



AGRICULTURE TROPICALE &
DÉVELOPPEMENT DURABLE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
MENTION AGRICULTURE TROPICALE ET DEVELOPPEMENT DURABLE
PARCOURS AGRICULTURE TROPICALE

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention d'un diplôme d'Ingénieur Agronome au grade de Master II

EFFICACITE ET ANALYSE ECONOMIQUE DE LA LUTTE CHIMIQUE CONTRE LA CHENILLE LEGIONNAIRE D'AUTOMNE « *Spodoptera frugiperda* » SUR LA CULTURE DE MAÏS « *Zea mays* » : cas du Moyen-Ouest de Madagascar (Régions Itasy et Bongolava).



Réalisé par : BE Madjebi Collela

Promotion : FANDRIÀKA MISONGA (2013-2018)

Soutenu le 29 Juin 2018 devant les membres de jury composés de :

Président	: Dr HDR ANDRIAMANIRAKA Harilala
Examinateur	: Dr RANDRIANARISON Narilala
Maître de stage	: Monsieur RAKOTOSAMIMANANA Stéphan
Encadreur pédagogique	: Monsieur HERINDRANOVONA Augustin



AGRICULTURE TROPICALE &
DÉVELOPPEMENT DURABLE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
MENTION AGRICULTURE TROPICALE ET DEVELOPPEMENT DURABLE
PARCOURS AGRICULTURE TROPICALE

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention d'un diplôme d'Ingénieur Agronome au grade de Master II

EFFICACITE ET ANALYSE ECONOMIQUE DE LA LUTTE CHIMIQUE CONTRE LA CHENILLE LEGIONNAIRE D'AUTOMNE « *Spodoptera frugiperda* » SUR LA CULTURE DE MAÏS « *Zea mays* » : cas du Moyen-Ouest de Madagascar (Régions Itasy et Bongolava).



Réalisé par : BE Madjebi Collela

Promotion : FANDRIÀKA MISONGA (2013-2018)

Soutenu le 29 Juin 2018 devant les membres de jury composés de :

Président	: Dr HDR ANDRIAMANIRAKA Harilala
Examinateur	: Dr RANDRIANARISON Narilala
Maître de stage	: Monsieur RAKOTOSAMIMANANA Stéphan
Encadreur pédagogique	: Monsieur HERINDRANOVONA Augustin

REMERCIEMENTS

Ce présent mémoire n'a pas pu être réalisé sans l'existence de Dieu que l'on va remercier en premier. Il nous a donné la force, la santé et le courage durant l'élaboration de ce document.

En particulier, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à :

- ❖ Monsieur ANDRIAMANIRAKA Harilala, Docteur-HDR en Sciences Agronomiques, Chef de la Mention Agriculture Tropicale et Développement Durable (AT2D) à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA)-Université d'Antananarivo, de bien vouloir présider le jury de cette soutenance ;
- ❖ Monsieur RANDRIANARISON Narilala, Docteur en agro-économie, Enseignant-Chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, qui m'a fait l'honneur en siégeant parmi les membres du jury en qualité d'examinateur ;
- ❖ Monsieur RAKOTOSAMIMANANA Stéphan, Directeur Technique Semences AGRIPRO, mon encadreur professionnel, pour ses aides et conseils pendant les travaux de terrains malgré ses diverses responsabilités ;
- ❖ Monsieur HERINDRANOVONA Augustin, Enseignant - Chercheur à l'ESSA, mon encadreur pédagogique, d'avoir alloué beaucoup de son temps tout au long de l'élaboration de ce mémoire.
- ❖ Monsieur RABEMIAFARA Lahatra, Responsable de division expérimentation au niveau des services de la phytopharmacie, de contrôle des pesticides et des engrains au sein de la Direction de la Protection des Végétaux (DPV), de son aide précieux ;

Je tiens également à remercier :

- ❖ La Société AGRIPRO auprès de laquelle j'étais stagiaire, et qui m'a beaucoup aidé pour la réalisation de ce mémoire de fin d'étude ;
- ❖ Tous les exploitants agricoles qui ont contribué à la réalisation des expérimentations sur terrain ;
- ❖ Tous les enseignants et les personnels administratifs de la Mention Agriculture Tropicale et Développement Durable et de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques pour toutes les connaissances acquises durant ces cinq années de formation;
- ❖ Toute la promotion FANDRIÃKA MISONGA.

J'adresse un grand remerciement aussi à ma famille, plus particulièrement à mes parents qui m'ont toujours soutenu durant les cinq années de formation à l'ESSA.

Mes vifs remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE.....	ii
LISTE DES TABLEAUX	iii
LISTE DES FIGURES	iii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	iv
RESUME	v
ABSTRACT	vi
FAMINTINANA	vii
INTRODUCTION	1
1. CADRAGE DE L'ETUDE.....	3
1.1. Organisme d'accueil	3
1.2. La chenille légionnaire d'automne « <i>Spodoptera frugiperda</i> ».....	3
2. MATERIELS ET METHODES	7
2.1. Matériels	7
2.2. Méthodes.....	10
3. RESULTATS	18
3.1. Résultat du pré test.....	18
3.2. Résultats de l'expérimentation.....	18
3.3. Rendement	23
3.4. Analyses économiques.....	24
4. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS	30
4.1. Efficacité des produits	30
4.2. Discussion sur le rendement	31
4.3. Rentabilité économique	33
4.4. Recommandations et perspectives	34
CONCLUSION	36
BIBLIOGRAPHIE	37
LISTE DES ANNEXES	a
TABLE DES MATIERES.....	w

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Produit avec les matières actives et familles chimiques.....	10
Tableau 2: Dosage des produits	14
Tableau 3: Charge en intrant de toutes les modalités pour une surface de 1 ha.....	25
Tableau 4: Charges en main d'œuvre pour une surface de 1 ha.....	26
Tableau 5: Calcul de l'amortissement de matériel pour une surface de 1 ha	27
Tableau 6: Calcul des revenus pour une surface de 1 ha.....	28

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Cycle biologique du <i>Spodoptera frugiperda</i> (Source : FAO, 2017).....	3
Figure 2: Amas d'œufs du <i>Spodoptera Frugiperda</i> sur la face inférieure de la feuille de maïs.....	4
Figure 3: Traits caractéristiques des larves du <i>Spodoptera fruperda</i>	4
Figure 4: Différentes couleurs de chenilles au premier stade larvaire	5
Figure 5: Chrysalide du <i>Spodoptera fugiperda</i>	5
Figure 7: Adulte mâle du <i>Spodoptera fugiperda</i> (Source : FAO, 2017)	5
Figure 6: Adulte femelle du <i>Spodoptera frugiperda</i> (Source : FAO, 2017)	5
Figure 8: Symptômes et dégâts sur feuilles et épis	6
Figure 9: Localisation des zones d'études	7
Figure 10: Courbe ombrothermique de GAUSSEN (P=2T), Régions Itasy et Bongolava	8
Figure 11: Schéma du dispositif à Tsinjoarivo Imanga.....	13
Figure 12:Schéma du dispositif à Analavory	13
Figure 13: Schéma de la parcelle d'observation	16
Figure 14: Taux d'efficacité à 1 jour AT Analavory (source : Auteur)	18
Figure 15: Taux d'efficacité à 1 jour AT Tsinjoarivo (source : Auteur).....	18
Figure 16: Taux d'efficacité à 3 jours AT Analavory (source : Auteur).....	19
Figure 17: Taux d'efficacité à 3 jours AT Tsinjoarivo (source : Auteur)	19
Figure 18: Taux d'efficacité à 6 jours AT Analavory (source : Auteur).....	20
Figure 19: Taux d'efficacité à 6 jours AT Tsinjoarivo (source : Auteur)	20
Figure 20: Taux d'efficacité à 9 jours AT Analavory (source : Auteur).....	21
Figure 21: Taux d'efficacité à 9 jours AT Tsinjoarivo(source : Auteur)	21
Figure 22: Evolution d'efficacité des produits par jour d'observation Analavory (source : Auteur)	21
Figure 23: Evolution d'efficacité des produits par jour d'observation Tsinjoarivo (source : Auteur).....	22
Figure 24: Rendement du maïs par modalité, Analavory (source : Auteur)	23
Figure 25: Influence des dégâts sur le rendement, Analavory (source : Auteur).....	24

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ANCOS	: Agence Nationale de Contrôle Officiels des Semences et Plants
ANOVA	: Analyse de la Variance
AT	: Après Traitement
EC	: Emulsifiate Concentrate
FAO	: Food and Agriculture Organisation
Km	: kilomètre
m	: mètre
m²	: mètre carrée
MinAgri	: Ministère de l'Agriculture
MPAE	: Ministère au sein de la Présidence en charge de l'Agriculture et de l'Elevage
Obs	: Observation
ONE	: Office Nationale de l'Environnement
PB	: Produit Brut
PIB	: Produit Intérieur Brut
RN	: Route Nationale
RVC	: Rapport valeur Coût
RVP	: Rapport Valeur Peine
SC	: Suspension Concentrate
SP	: Poudre Soluble

RESUME

A Madagascar, le secteur agricole reste largement dominé par la culture vivrière. Parmi cette culture, le maïs occupe la troisième place en termes de surfaces cultivées et la quatrième place en termes de productions. Actuellement, la maïsiculture est confrontée à un ravageur appelé Chenille légionnaire d'automne ou la Noctuelle américaine du maïs ou *Spodoptera frugiperda*. Cette chenille est connue pour ses dégâts sur les cultures céréalières. Face à ces situations, la recherche de méthode de lutte efficace contre *Spodoptera frugiperda* est une priorité pour assurer la production de maïs dans le pays. Ainsi la question se pose : « Quels pesticides devrait-on utiliser pour maîtriser les dégâts causés par la Chenille légionnaire d'automne sur la culture de maïs à Madagascar? ». Pour cela, une expérimentation et une analyse économique sur l'utilisation de nouvelles matières actives contre *Spodoptera frugiperda* ont été faites dans le cadre d'homologation des pesticides. L'étude est effectuée dans les Régions Itasy et Bongolava. Les résultats ont montré que l'emamectine benzoate, l'acetamiprid+emamectine benzoate et l'acetamiprid+abamectin sont efficaces contre *Spodoptera frugiperda* dans la région Itasy ; tandis que dans la région Bongolava, les résultats n'ont pas été probants faute de surdosage des matières actives utilisés. Et du point de vue économique, tous les produits efficaces sont économiquement intéressants et aptes à la vulgarisation.

Mots clés : Maïs, *Spodoptera frugiperda*, dégâts, matières actives, efficacité, Région Itasy, Région Bongolava.

ABSTRACT

In Madagascar, the agricultural sector remains largely dominated by food crops. Among this crop, maize ranks third in terms of cultivated area and fourth place in terms of production. Currently, maize crop is facing a pest known as fall armyworm or American corn mate or *Spodoptera frugiperda*. This caterpillar is known for its damage for the cereals crops. Faced with these situations, the search for an effective control method against *Spodoptera frugiperda* is a priority to ensure maize production in the country. Thus the question that arises "Which pesticides should be used to control the damage caused by the fall armyworm on the maize crop in Madagascar? For this, an experimentation and an economic analysis on the use of the new active ingredients against *Spodoptera frugiperda* were made within the frame of homologation of pesticides. The study is carried out in Itasy and Bongolava Regions. The results showed that the emamectin benzoate, the acetamiprid + emamectin benzoate and the acetamiprid + abamectin are effective against *Spodoptera frugiperda* in Itasy region. Whereas in Bongolava Region, the results is questionable for the elevated dose of the pesticide. And from the economic point of view, all efficiency pesticides are economically interesting and suitable for extension.

Key words: Maize, *Spodoptera frugiperda*, damage, active ingredients, efficiency, Itasy Region, Bongolava Region.

FAMINTINANA

Ny voly fihinanana dia mbola mibahana toerana eto Madagasikara eo amin'ny sehatry ny fambolena. Amin'ireo voly fihinanana ireo, raha jerena ny velaran-tany voavoly dia mitazona ny laharana faha telo ny katsaka ; ary raha eo aminy vokatra isan-taona kosa dia mitazona ny laharana faha efatra izy. Nefa, amin'izao fotoana izao, ny voly katsaka dia tratran'ny mpanimba voly antsoina hoe « olitra lezionera ». Io bibikely io dia fanta-daza maneran-tany amin'ny fanimbana ny voly serealy. Manoloana izany olana izany, ny fitadiavana ny fomba mahomby hoentina hiadina amin'io bibikely io no laharam-pamehana, mba tsy isian'ny fihenan'ny vokatra katsaka eto Madagasika. Ary mipetraka ny fanontaniana manao hoe : Inona ny fanafody simika ampiasaina eo aminy voly katsaka mba hifehezana ny fanimbana voly ateraky ny olitra lezionera ? Raha izany dia fanandramana an-tsaha ny karazana fanafody simika miaraka amin'ny fanadihadihana ny vola miodina ao anaty taonam-pambolena katsaka no natao. Ireo fanafody simika ireo dia tafiditra ao anaty fangatahana fahazoan-dalana avy aminin'ny fanjakana ny fampiasana azy aminy fiadiana amin'io olitra lezionera io. Ary io andrana io dia natao tamin'ny faritra roa samihafa, faritra Itasy ary ny faritra Bongolava. Ny valim-panandramana dia milaza fa ny « emamectine benzoate », ny « acetamipride +emamectine benzoate » ary ny « acetamipride+abamectin » no mahafaty io biby kely io tany amin'ny faritra Itasy. Kanefa, manalasala ny valim-pikarohana tany Bongolava satria mety lasa ambony loatra ny heriny fanafody nampiasaina. Ary raha teo amin'ny sehatra ekonomika dia mahafapo ny vokatra azo tamin'ny fampiasana ireo fanafody simika mahafaty io biby kely io ary azo apartitka manerany ny nosy ny valim-pikarohana momba izany.

Teny fanalahidy : Katsaka, olitra lezionera, voka-dratsy, matiera akitiva, fahombiazam-panafody, faritra Itasy, faritra Bongolava.

INTRODUCTION

L'agriculture prend une place importante dans l'économie nationale malagasy. Elle génère environ 26,4 % du PIB (Produit Intérieur Brut) et emploie environ 68 % de la population économiquement active, parmi laquelle 73,3 % sont des petits exploitants qui exploitent une surface de 1,5 ha en moyenne ; le secteur agricole reste largement dominé par la culture vivrière (FAO¹, 2015).

Parmi les cultures vivrières, le maïs occupe la troisième place en termes de surfaces cultivées et la quatrième place en termes de productions. En 2010, autour de 264 430 hectares de terrains sont cultivés en maïs à Madagascar, ce chiffre place le maïs en 3^{ème} position en termes de surface après le riz et le manioc. Et, la moyenne des productions annuelles est d'environ 443 473 tonnes et place le maïs en 4^{ème} position après le riz, le manioc, la patate douce (Banque Mondiale, 2011 et MinAGRI², 2010).

La maïsiculture est présente un peu partout dans l'île, et les grandes zones de culture sont localisées en particulier dans le Moyen Ouest, les Hauts Plateaux et le Sud-Ouest avec plus de 97% de la production totale (BADJECK et RAKOTONIRAINY, 2010). Le domaine d'utilisation de maïs est très vaste : utilisé en alimentation humaine, en industrie agro-alimentaire et en alimentation animale (Banque mondiale, 2011 et FARE, 2004).

Malgré l'importance et la potentialité de cette filière, la maïsiculture est confrontée à des contraintes agronomiques importantes telles que la baisse de la fertilité des sols, les maladies et les ravageurs qui diminuent la production (FARE, 2004 et ANDRIANAIVO *et al.*, 1998).

Actuellement, à Madagascar, la chenille légionnaire d'automne ou la Noctuelle américaine du maïs ou *Spodoptera frugiperda* constitue un grave menace et provoque des dégâts importants sur la maïsiculture. Elle est connue pour ses dégâts sur les céréales cultivées d'importance économique telles que le maïs, le riz et le sorgho, ainsi que sur les cultures maraîchères et sur les cultures cotonnières (FAO, 2017). L'espèce a été détectée à Madagascar depuis 2017 dans la région Atsimo Andrefana. Et à partir de 2018, cette espèce invasive commence à couvrir la totalité des régions du pays (MPAE, 2018).

Face à ces situations, la recherche de méthode de lutte efficace contre *Spodoptera frugiperda* est une priorité pour assurer le développement et la sécurité alimentaire dans le pays. Parmi les méthodes de protection des plantes, l'utilisation des produits phytosanitaires est celle qui est la plus pratique. Ainsi la question se pose : « Quels pesticides devrait-on utiliser pour maîtriser les dégâts causés par la Chenille légionnaire d'automne sur la culture de maïs à Madagascar? »

¹Food Agriculture Organisation

² Ministère de l'Agriculture : Statistique Agricole (Annuaire 2009-2010)

L'objectif global de cette étude est d'analyser l'efficacité des nouveaux produits phytosanitaires (matières actives) du point de vue technico-économique contre *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs à Madagascar.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Tester les efficacités des produits phytosanitaires (matières actives) non encore homologués par le Ministère contre *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs.
- Evaluer la production sur les parcelles traitées avec les produits phytosanitaires efficaces obtenus et celle sur les parcelles non traitées.
- Analyser du point de vue économique l'utilisation des produits phytosanitaires efficaces obtenus contre *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs.

Trois hypothèses sont alors à vérifier :

- Il existe d'autres produits phytosanitaires (matières actives) efficaces non encore homologués mais disponibles sur le marché contre *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs et accessibles par les maïsiculteurs.
- Les nouveaux produits phytosanitaires utilisés contre *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs améliorent le rendement en grains de maïs.
- L'utilisation des nouveaux produits phytosanitaires efficaces contre *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs est rentable et rémunératrice.

Le présent document comporte trois parties. La première aborde les matériels et méthodes utilisés dans la conduite de l'expérimentation. La deuxième traite les résultats obtenus qui seront discutés dans la troisième partie.

1. CADRAGE DE L'ETUDE

1.1. Organisme d'accueil

L'étude a été menée au sein de la société AGRIPRO. Crée en Janvier 2017, l'entreprise siège à Andranomena Antananarivo et œuvre dans le domaine agricole et ayant le slogan « Le professionnel de l'agriculture contractuelle ». Ses actions sont:

- la professionnalisation des producteurs par la formation, l'encadrement, la structuration,...
- la production agricole sous-contrat : filières grains secs (maïs, soja,...)
- l'organisation et la gestion des collectes.

La société AGRIPRO appartient à l'AGROBIZ Group incluant AGROBOXX et BIRD. La société collabore avec les sociétés du groupe SMTP dont AGRIVET, AGRIVAL, AGRIFARM, AGRIKOBA,...

Le stage s'est déroulé pendant 6 mois (janvier à juin 2018) dans le Moyen Ouest de Madagascar notamment à Analavory et à Tsinjoarivo Imanga. D'autres partenaires existent pour la réalisation de ce travail dont l'AGRIVET qui est le fournisseur des produits phytosanitaires et les propriétaires des terrains d'expérimentations.

1.2. La chenille légionnaire d'automne « *Spodoptera frugiperda* »

1.2.1. Classification

La chenille légionnaire d'automne appartient au domaine des Eukaryota, règne des Metazoa, phylum des Arthropoda, classe des Insecta, ordre des Lépidoptéra, famille des Noctuidae, genre Spodoptera et espèce *Spodoptera frugiperda* (MAIGA, 2017).

1.2.2. Biologie

Cycle biologique

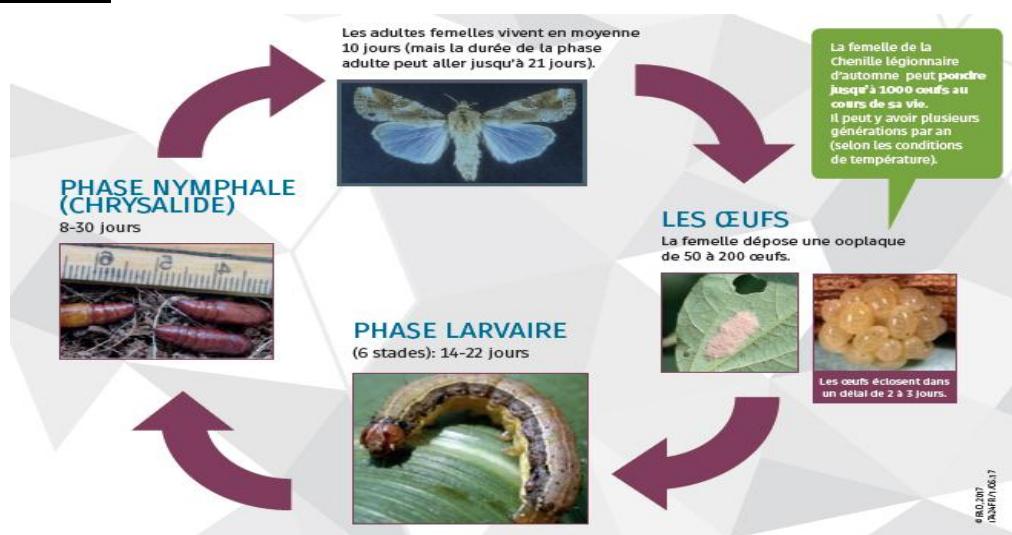


Figure 1: Cycle biologique du *Spodoptera frugiperda* (Source : FAO, 2017)

Oeuf

Les œufs (Figure 1) sont sphériques (0,75 mm de diamètre); Ils sont verts au moment de la ponte et deviennent brun clair avant l'éclosion. La maturité des œufs prend 2-3 jours (20-30°C). Les œufs sont habituellement pondus en masses d'environ 150-200 œufs qui sont déposés dans deux à quatre couches sur la surface de la feuille. La masse d'œufs est habituellement recouverte d'une couche protectrice ressemblant à du feutre d'écailles gris- roses (setae) de l'abdomen de la femelle. Jusqu'à 1 000 œufs peuvent être pondus par chaque femelle.



Figure 2: Amas d'œufs du *Spodoptera Frugiperda* sur la face inférieure de la feuille de maïs

(Source : Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger, 2017)

Larve

Les larves du *Spodoptera frugiperda* ont huit fausses pattes et une paire de fausses pattes sur le dernier segment abdominal. Les grandes larves sont caractérisées par une forme d'Y inversé en jaune sur la tête, des pinacules dorsales noires avec de longues soies primaires (deux de chaque côté de chaque segment dans la zone dorsale pâle) et quatre tâches noires disposées en carré parfait sur le dernier segment abdominal. Les larves peuvent avoir différentes teintes, du jaune à la couleur « café » ou marron qui est la plus courante. Au premier stade, les larves peuvent présenter une couleur verte claire ou brune. Au dernier stade, c'est-à-dire au sixième stade, les larves sont grandes et mesurent 3 à 4 cm de long (MAIGA, 2017 et MADOUGOU *et al*, 2017).



Figure 3:Traits caractéristiques des larves du *Spodoptera fruperda*
(Source : Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger, 2017)



Figure 4: Différentes couleurs de chenilles au premier stade larvaire
 (Source : Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger, 2017)

Pupe

Les chrysalides (Figure 4) sont plus courtes que les larves matures (1,3-1,5 cm chez les mâles et 1,6-1,7 cm chez les femelles) et sont brunes.



Figure 5: Chrysalide du *Spodoptera frugiperda*
 (Source : FAO, 2017)

Mâle

La longueur du corps du mâle (Figure 5) est de 1,6 cm et l'envergure de 3,7 cm. L'aile antérieure est marbrée (brun clair, gris, paille) avec une cellule discale contenant de la couleur de paille sur les trois quarts de la zone et brun foncé sur un quart de la zone.

Femelle

La femelle (Figure 6) mesure 1,7 cm avec une envergure de 3,8 cm. L'aile antérieure est marbrée (brun foncé, gris). Les hampes sont de couleur paille avec une marge marron foncé.



Figure 6: Adulte femelle du *Spodoptera frugiperda*
 (Source : FAO, 2017)



Figure 7: Adulte mâle du *Spodoptera frugiperda*
 (Source : FAO, 2017)

1.2.3. Ecologie

Les œufs sont pondus la nuit sur les feuilles de la plante-hôte, collés à la face inférieure de la partie inférieure des feuilles. L'éclosion des œufs nécessite 2 à 10 jours (habituellement 3 à 5). Les jeunes larves se nourrissent profondément dans la spirale (cornée). Les deux premiers stades larvaires se nourrissent de façon grégaire sur la face inférieure des jeunes feuilles, provoquant un effet de squelette ou de «fenêtrage» caractéristique, et le point de croissance de la plante peut être détruit.

Les larves de plus grande taille deviennent cannibales et donc une ou deux larves par spirale (cornée) est habituelle. Le taux de développement larvaire à travers les six stades est contrôlé par une combinaison du régime alimentaire et des conditions de température, et prend généralement 14 à 21 jours. Les larves plus grosses sont nocturnes, à moins qu'elles n'entrent dans la phase de la chenille légionnaire quand elles essaient et se dispersent, cherchant d'autres sources de nourriture.

La pupaison a lieu à l'intérieur d'un cocon mou dans une cellule de terre, ou rarement entre les feuilles sur la plante hôte, et 9 à 13 jours sont nécessaires pour le développement. Les adultes émergent la nuit et utilisent habituellement leur période naturelle de pré-oviposition pour voler sur plusieurs kilomètres avant de s'installer pour la ponte, migrant parfois sur de longues distances. En moyenne, les adultes vivent 12 à 14 jours.

1.2.4. Symptômes et dégâts

Les larves du *Spodoptera frugiperda* attaquent toutes les parties aériennes du maïs : les tiges, les feuilles, les fleurs et les épis. Sur les jeunes plants, les larves se nourrissent à l'intérieur de la cornée de plantes. Les feuilles de maïs sont consommées et la cornée (entonnoir) peut être perforée et remplie d'excréments de larves de couleur marron, avec les bordures des jeunes feuilles déchiquetées. Les jeunes plants peuvent être coupés à la base par les larves. Les plantes matures subissent, quant à elles, une attaque des organes reproductifs (fleurs et épis). Les fleurs sont détruites et les épis sont attaqués par les larves qui creusent entre les grains (MAIGA, 2017 ; MADOUGOU *et al.*, 2017 et ALI *et al.*, 2017).



Figure 8: Symptômes et dégâts sur feuilles et épis

(Source : FAO et Auteur, 2017)

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériels

2.1.1. Zones d'études

2.1.1.1. Localisation géographique

Les zones d'études sont localisées dans le Moyen-Ouest de Madagascar : la Commune rurale d'Analavory (Région Itasy) et la Commune rurale de Tsinjoarivo Imanga (Région Bongolava).

La commune rurale d'Analavory se trouve dans le district de Miarinarivo, Région Itasy. Elle se situe à 22 km à l'Ouest de Miarinarivo qui est le Chef-lieu de la Région Itasy. Ses coordonnées géographiques sont de $18^{\circ}58'42.01''$ de latitude Sud et $46^{\circ}42'45.35''$ de longitude Est.

Tandis que, la Commune rurale de Tsinjoarivo Imanga se trouve dans le district de Tsiroanomandidy qui est le Chef-lieu de la Région de Bongolava. Ses coordonnées géographiques sont de $18^{\circ}46'12''$ de latitude Sud et $46^{\circ}03'00''$ longitude Est.

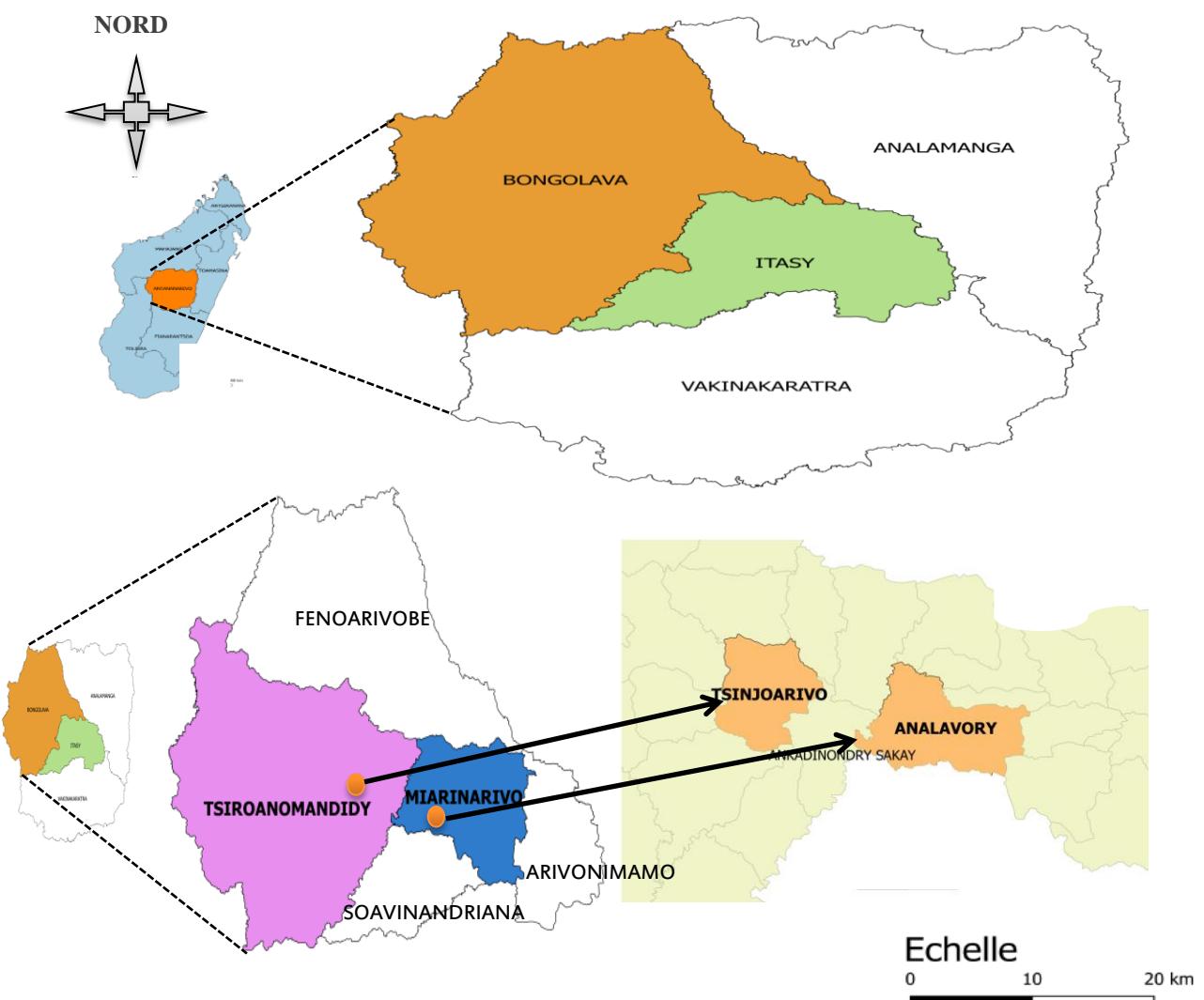


Figure 9: Localisation des zones d'études

(Source : BD 200 FTM, Auteur)

2.1.1.2. Description agro-climatique des sites

- **Climat :**

Le climat rencontré dans le Moyen-Ouest ressemble à celui rencontré sur toutes les autres hautes terres centrales malgaches, à savoir un climat tropical d'altitude dont les principales caractéristiques sont l'alternance de deux saisons contrastées : une saison chaude-humide d'octobre à mars et une saison sèche-froide d'avril à septembre. Ce climat s'asséchant au fur et à mesure que l'on va vers l'Ouest (ONE, 2016).

La courbe ombrothérmiq[ue des cinq (5) dernières années (2013 à 2017) du Moyen Ouest (Station météorologique d'Antananarivo) ci-après montre que :

- L'année se subdivise en deux (2) saisons bien distinctes : une période chaude-humide ($P \geq 2T$, $P \geq 50$ mm et $T \approx 23$ °C) du mois d'octobre à fin mars et une période sèche-froide ($P \leq 2T$, $P \leq 50$ mm et $T < 25$ °C) du mois d'avril à septembre.
- Le maximum de pluie se trouve au mois de février dont la moyenne mensuelle est de 267,44 mm tandis que le minimum se situe au mois d'août dont la moyenne mensuelle est de 3,84 mm.
- Le maximum de température se situe au mois de décembre dont la moyenne mensuelle est de 22,43 °C tandis que le minimum de température se trouve au mois de juillet dont la moyenne mensuelle est de 15,44 °C.

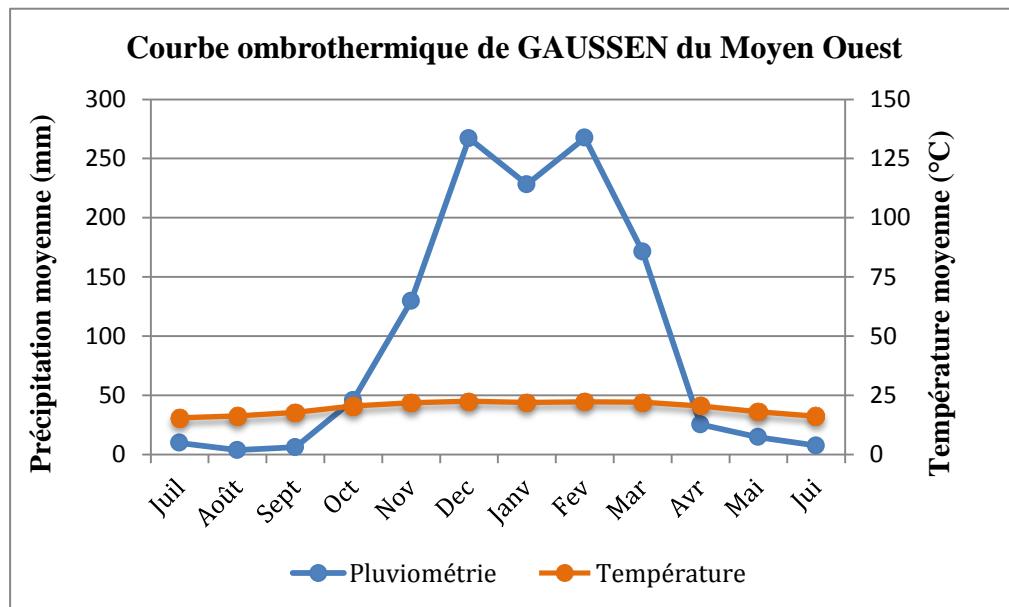


Figure 10: Courbe ombrothermique de GAUSSEN (P=2T), Régions Itasy et Bongolava

(Source : Données météorologique de 2013 à 2017 (station Antananarivo), Auteur)

- **Sol :**

Trois (3) types de sols caractérisent le Moyen-Ouest de Madagascar. Ils sont classés selon les ensembles topographiques locaux et en fonction de leurs aptitudes agronomiques (ONE, 2016):

- Les sols d'alluvions, ou baiboho de l'Itasy, aux aptitudes culturales élevées sur les berges du lac Itasy et le long des larges vallées d'Analavory et d'Ifanja (partie Ouest du district de Soavinandriana et partie Nord-Ouest du district de Miarinarivo)
- Sols néo – volcaniques (partie Ouest et Sud-Ouest du district de Miarinarivo, partie Est et Sud Est du district de Soavinandriana et partie Sud du district d'Arivonimamo)
- Sols ferralitiques couvrant une grande partie de deux régions (Itasy et Bongolava). Ces sols sont compacts, fragiles, difficiles à travailler. Néanmoins, convenablement amendés, ils sont favorables à des cultures de maïs et de manioc, et peuvent se prêter à la culture de pommes de terre dans les zones d'Ankaratra (froide) et à l'arboriculture.

2.1.2. Matériel végétal : le maïs

Le maïs est une herbacée annuelle appartenant à la famille des Poaceae, à la tribu des Maydea (fleurs mâles distinctes des fleurs femelles). La tribu des Maydea comprend huit genres, dont cinq asiatiques (*Coix*, *Polytoca*, *Sclerachne*, *Chionachne*, *Trilobachne*) de faible importance économique et trois américaines (*Zea*, *Tripsacum* et *Téosintes*). Le genre *Zea* ne comprend qu'une seule espèce : *Zea mays L.* (ROBINSON et TREHARNE, 1985).

L'espèce *Zea mays* possède beaucoup de variétés. Ces variétés sont généralement réparties en groupes d'après certaines de leurs caractéristiques : précocité, couleur du grain, texture du grain, etc. Certaines classifications adoptent aussi comme critères : la forme des grains (arrondie, déprimé en dent de cheval, pointu), la dimension des grains et la consistance (dure, tendre, dure à la périphérie mais tendre à l'intérieur) (RAZAFIMAHATRATRA, 2017).

La variété IRAT 200 a été choisie pendant l'expérimentation car c'est la variété la plus appréciée par les producteurs du Moyen-Ouest. Le cycle cultural de cette variété varie de 105 à 120 jours, la couleur de grain est de jaune à orange et le rendement potentiel est environ 5,4 à 6,6 t/ ha (ANCOS, 2016).

2.1.3. Produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires utilisés ont été : AGRIMETRINE 24 EC, CORRIDA 52 SC, COTAC 1.9 % EC, CYAMID 175 SC, INDOX 150 SC, KUNG FU B 5 EC, MORTAK 1.8 % EC, NINJA 20 SP.

Ce sont tous des produits AGRIVET. Ils sont utilisés pour lutter contre divers chenilles sur d'autres cultures telles les cultures légumières, les cultures céréalières et les cultures fruitières.

Le tableau suivant montre les différentes matières actives et familles chimiques de chaque produit.

Tableau 1: Produit avec les matières actives et familles chimiques

Matières actives	Familles chimiques	Noms commerciales
Cyperméthrine 240 g/l EC	Pyrethrinoïde	AGRIMETRINE 24 EC
Lambdacyhalotrine 36 g/l+ acetamipride 16 g/l EC	Pyrethrinoïdes+néonicotinoïde	CORRIDA 52 SC
Emamectine Benzoate 1.9% EC	Avermectine	COTAC 1.9 % EC
Imidaclopride 125 g/l+lambdacyhalotrine 50 g/l SC	Chloronicotinyles+pyrethrinoïde	CYAMID 175 SC
Indoxacarbe 150 g/l SC	Oxadiazine	INDOX 150 SC
Lambdacyhalotrine 5 % EC	Pyrethrinoïde	KUNG FU B 5 EC
Abamectin 18 g/l EC	Avermectine	MORTAK 1.8 % EC
Acetamipride 200 g/l SP	Néonicotinoïde	NINJA 20 SP

(Source : AGRIVET, 2017)

2.1.4. Autres matériels nécessaires pour l'expérimentation

Les matériels utilisés pendant le traitement sont le pulvérisateur et le masque de protection. Il s'agit d'un pulvérisateur porté à dos dont la capacité est de 16 l. Ensuite, le micro seringue de 25 ml et la bouteille de 1,5 l sont utilisés pour le dosage des produits à utiliser. Enfin, les piquets, le mètre ruban et la balance de précision ont été utilisés pour les prélèvements de données et pour le pesage des grains.

2.2. Méthodes

2.2.1. Pré-test pour les produits à évaluer

Pour éliminer les produits qui ne peuvent pas tuer la chenille légionnaire d'automne, deux séries de pré-test ont été effectuées durant l'expérimentation. Le pré-test est fait à Analavory et à Ankadinondry sur le maïs en stade végétative, trois semaines avant le test final.

Pour la 1^{ère} série, cinq (5) produits sont testés :

- Acetamipride 20 SP
- Imidacloride+lambdacyhalotrine 175 SC
- Indoxacarbe 150 SC, produit déjà homologué qui sert de référence et de témoin
- Lambdacyhalotrine+acetamipride 52 SC
- Emamectine benzoate 1.9% EC

Pour la 2^{ème} série, des mélanges des produits (pour avoir un effet synergique) ont été effectués :

- Acetamipride 20 SP + lambdacyhalotrine 5 EC ;
- Acetamipride 20 SP+ cyperméthrine 24 EC ;
- Acetamipride 20 SP+ emamectine benzoate 1.9 % EC ;
- Acetamipride 20 SP + abamectin 1.8 % EC.

Les produits retenus durant le pré-test sont évalués du point de vue technico-économique pendant un cycle cultural du maïs.

2.2.2. Description de l'essai

Dans le cadre de l'homologation des produits efficaces contre *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs à Madagascar, la comparaison des efficacités des produits a été faite en considérant les questions technico-économiques (facilité d'application, coût, rémanence, temps d'application le plus opportun...).

2.2.3. Choix des sites des essais

Deux (2) sites d'expérimentations sont choisis pour les essais :

- Ambatondramijay dans la Commune rurale Analavory (région Itasy) et
- Ampizarantany dans la Commune rurale Tsinkiarivo Imanga (région Bongolava).

Les deux sites sont choisis suivant les conditions climatiques différentes sur les deux régions surtout la température. En suivant la Route Nationale 1 (RN 1), partant d'Analavory (Région Itasy) vers Tsiroanomandidy (Région Bongolava), la température devient de plus en plus chaude en allant vers l'ouest.

Et le choix des producteurs a été basé sur leur volonté de collaborer sur la réalisation de ces essais et surtout le stade végétatif de leur culture. Néanmoins, les parcelles plus accessibles sont priorisées pour servir de démonstration et pour faciliter le suivi.

2.2.4. Dispositifs expérimentaux

Le dispositif choisi pour cette expérimentation pour les deux sites est le bloc de FISCHER randomisé (répartition au hasard) à trois (3) répétitions (blocs).

Pour le site d'Ambatondramijay, l'expérimentation est placée sur une superficie totale de 0,5 ha tandis que celui d'Ampizarantany, elle est placée sur une superficie totale de 0,25 ha.

En effet, pour chacun des deux sites, 1 116 m² sont utilisés au total pour les tests. Ainsi, pour chaque site, l'essai comporte 31 parcelles élémentaires dont chacune mesure 36 m² (9 m*4 m).

Les parcelles élémentaires sont séparées entre elles par des distances de 1 m suivant la longueur de la bande et de 2 m suivant la largeur.

Les temps d'application choisis sont le matin (vers 6h) et le soir (vers 19h), parce que c'est le moment où les chenilles ne sont pas encore sorties du verticille de la plante. Et les modalités suivantes sont retenues :

- **T1** : Indoxacarbe 150 SC Matin
- **T2** : Emamectine benzoate 1,9 % EC Matin
- **T3** : Acetamipride 20 SP+ Emamectine benzoate 1,9 % EC
- **T4** : Imidaclopride+lambdacyhalotrine 175 SC Matin
- **T5** : Acetamipride 20 SP+ abamectin 1,9 % EC Matin
- **T6** : Indoxacarbe 150 SC Soir
- **T7** : Emamectine benzoate 1.9 % EC Soir
- **T8** : Acetamipride 20 SP+ emamectine benzoate 1,9 % EC Soir
- **T9** : Imidaclopride+lambdacyhalotrine 175 SC Soir
- **T10** : Acetamipride 20 SP+ abamectin 1,9 % EC Soir
- **T** : Témoin non traité, placé dans le vent et à 50 mètre de la parcelle traitée.

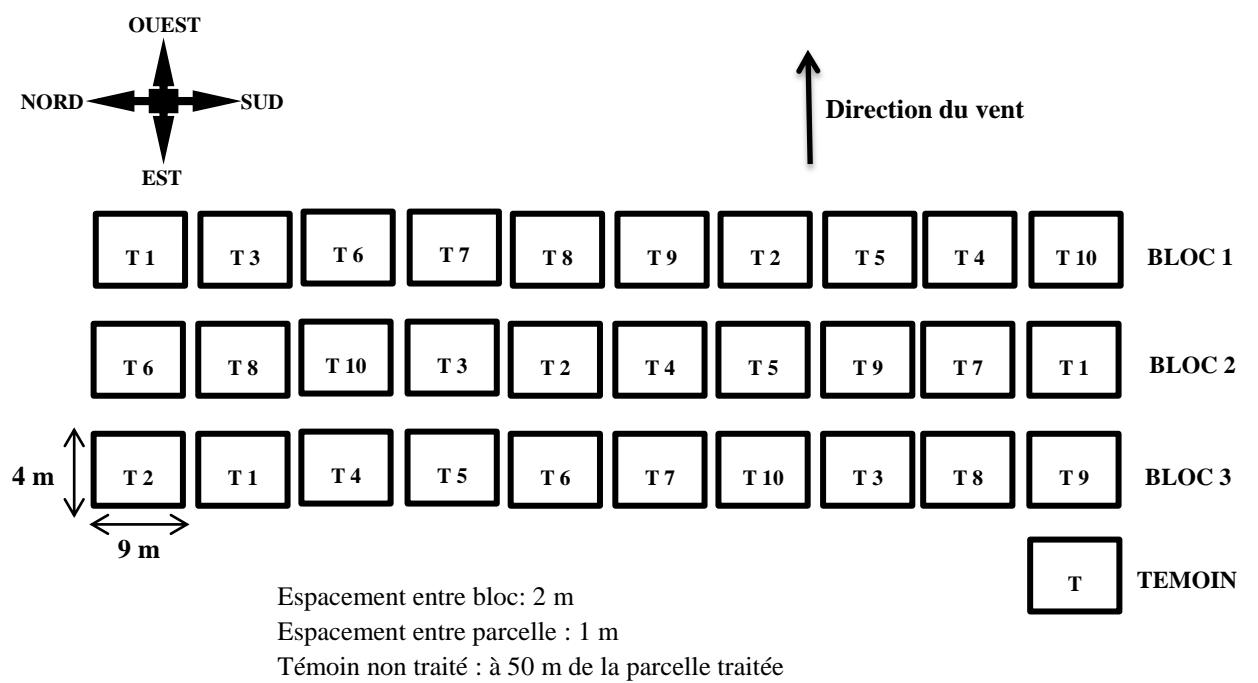


Figure 11: Schéma du dispositif à Tsinjoarivo Imanga

(Source : Auteur)

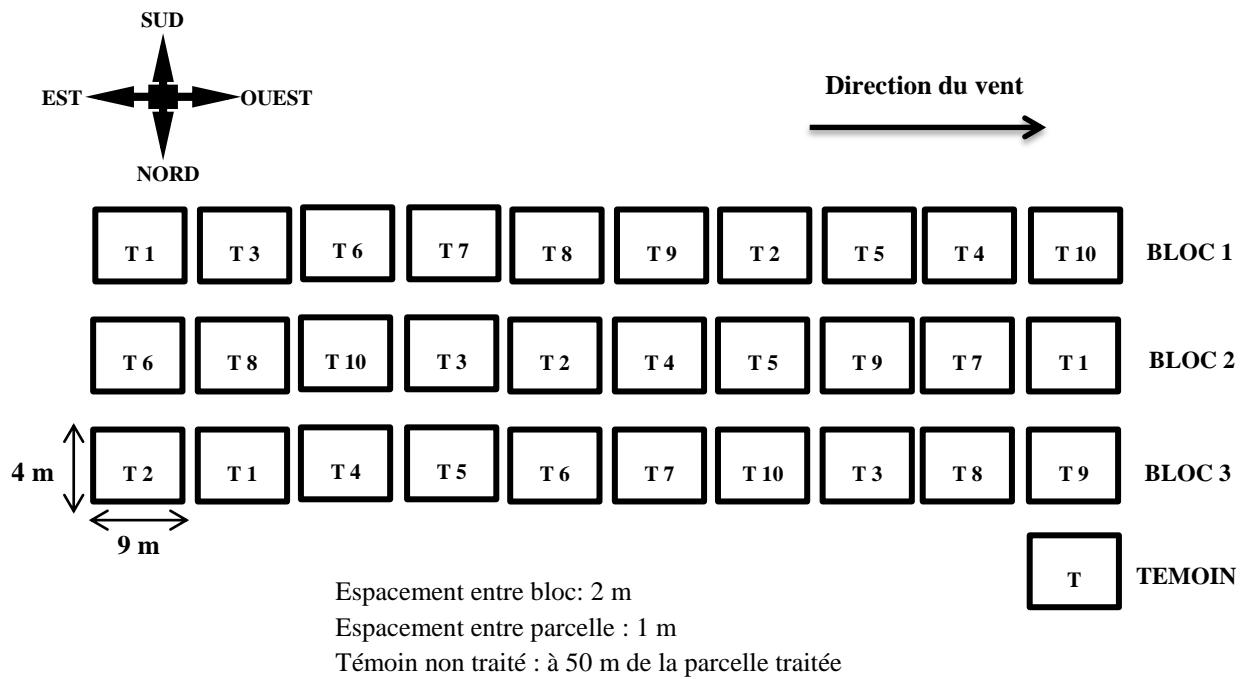


Figure 12: Schéma du dispositif à Analavory

(Source : Auteur)

Pour la préparation des produits, le tableau 2 ci-après montre les dosages appliqués.

Tableau 2: Dosage des produits

Produits	Doses
Indoxacarbe 150 SC	0.25 l/ha
Emamectine Benzoate 1,9 % EC	1 l/ha
Acetamipride 20 SP +Emamectine Benzoate 1,9 % EC	100 g/ha + 0,5 l/ha
Imidaclopride+lambdacyhalotrine 175 SC	0,5 l/ha
Acetamipride 20 SP+Abamectin 1,8 %EC	100 g/ha+0,5 l/ha

(Source : AGRIVET, 2017)

Des essais à blanc avec de l'eau (étalonnage) ont été faits pour ajuster la dilution des produits, suivant les doses prescrites.

- Etalonnage

390 pieds pour 2 l'd'eau donc 100 pieds (1 parcelle élémentaire) pour 0,5 l'd'eau

- Dosage après étalonnage

53 000 pieds pour 1 ha de maïs, alors pour 100 pieds (1 parcelle élémentaire), on a :

- 0,47 ml : Indoxacarbe 150 SC
- 1, 88 ml : Emamectine benzoate 1,9 % EC
- 0,18 g + 0,94 ml : Acetamipride 20 SP+Emamectine benzoate 1,9 % EC
- 0,94 ml : Imidaclopride+lambdacyhalotrine 175 SC
- 0,18 g + 0,94 ml : Acetamipride 20 SP + Abamectin 1,8 % SC:

2.2.5. Mise en place des essais

Les expérimentations sont effectuées dans le cadre du système de culture pluviale sur « tanety » dans le Moyen-Ouest.

Les itinéraires techniques adoptés sont ceux des itinéraires techniques pratiqués par la moyenne des producteurs dans la région.

Pour les deux sites, le labour est effectué avec du charrue à bœufs à la fin du mois de janvier. Et le semis manuel est réalisé une semaine après le labour, dont la densité est de 2 grains par poquet dans un écartement 1m*1m.

Pour les deux sites, le 1^{er} traitement phytosanitaire avec les produits à tester est effectué dès le début de l'infestation, au début du mois de mars. Le maïs est au stade végétatif, plus précisément au stade 8 feuilles.

Pour le site d'Ambatondramijay, deux sarclages ont été réalisés pendant le mois de février, chimique et manuel, tandis que, pour le site d'Ampizarantany, un sarclage manuel a été réalisé durant le mois de mars.

Pour le site d'Ambatondramijay, l'épandage des engrais est réalisé à la fin du mois de février ; tandis que pour le site d'Ampizarantany, l'exploitant n'applique aucune fertilisation d'entretien.

Le buttage pour les deux sites a été effectué en fin mars.

Pour les deux sites, un 2^{ème} traitement phytosanitaire avec les produits à tester est réalisé au mois d'avril c'est à dire durant la période d'épiaison.

La récolte est réalisée à partir du moment où le maïs a atteint le stade de maturité physiologique complète, ce qui correspond généralement aux observations suivantes : les quasi-totalités des spathes sont sèches ; les grains ne sont plus rayables à l'ongle ; la majorité des feuilles sont desséchées ; une couche noire est visible au niveau du point d'insertion du grain à la rafle.

2.2.6. Paramètres et méthodes d'observation

Les paramètres et les méthodes d'observation ont été élaborés avec la DPV (Direction de la Protection des Végétaux) dans le cadre d'une homologation des nouveaux produits phytosanitaires contre *Spodoptera frugiperda*.

Pour l'hypothèse 1 : Les méthodes d'observation suivantes ont été adoptées:

- Avant traitement c'est-à-dire observation 0 (**Obs0**) : identification des parcelles non encore traitées, comptage des larves du *Spodoptera frugiperda* sur les plants de maïs suivant les deux diagonaux de la parcelle, délimitation des parcelles élémentaires, comptage des larves du *Spodoptera frugiperda* sur 20 pieds de maïs pris au hasard pour chaque parcelle élémentaire. Les pieds pris au hasard ont été fixés pour la suite de l'observation.
- Pour le traitement, la fréquence est fixée deux (2) fois. Le premier est effectué pendant le stade de huit (8) feuilles c'est-à-dire après observation 0 (**Obs0**) et le deuxième est réalisé au début de l'épiaison.
- Après traitement : comptage des chenilles encore vivantes sur 20 pieds pris au hasard précédemment pour chaque parcelle élémentaire, à 1 jour (Observation 1 : **Obs1**), 3 jours (Observation 2 : **Obs2**), 6 jours (Observation 3 : **Obs3**) et 9 jours (Observation 4 : **Obs4**) après traitement. Ces jours d'observations sont retenus parce que les délais d'attentes des produits utilisés sont compris entre 3 à 10 jours.

Pour l'hypothèse 2 : Les mesures sont effectuées pendant le stade végétatif, stade reproductif et après pesage des grains de maïs sec récoltés. Les méthodes d'observation effectuées sont les suivantes :

- Evaluation des dégâts à l'état initial de chaque parcelle élémentaire pendant le stade végétatif. L'évaluation des dégâts est effectuée dans une surface de 1m² répétées 3 fois, suivant la ligne diagonale de la parcelle élémentaire. Les dégâts sont mesurés à l'aide du nombre de pieds attaqués. Les petites surfaces sont fixées pour la suite de l'observation. La méthode « système de scoring » a été utilisée. L'attribution des scores est référencée aux dires des agents de la DPV (Direction de la Protection des Végétaux) selon leurs expériences.
 - [0 ; 1] : Parcelle faiblement attaquée
 - [2; 3] : Parcelle moyennement attaquée
 - [4;6] : Parcelle fortement attaquée
- Comptage du nombre de pieds/m² et comptage du nombre de l'épi par pieds dans les carrés d'observation fixés auparavant, pour chaque parcelle élémentaire.
- Récolte des maïs pour chaque parcelle élémentaire, comptage des rangées par épis et des grains par rangée, séchage du maïs récolté, égrainage et pesage de 1000 grains.

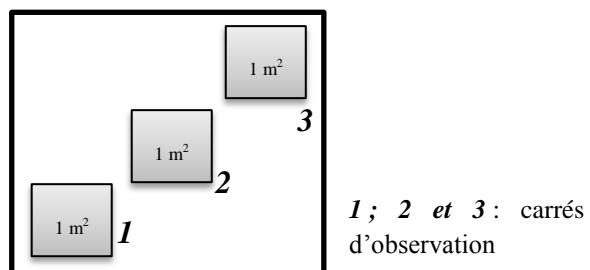


Figure 13: Schéma de la parcelle d'observation

(Source : Auteur)

Pour l'hypothèse 3 : Les données économiques sont obtenues à partir des coûts de production et des revenus engendrés par la culture durant le cycle cultural suivant les modalités de traitement.

2.2.7. Méthodes d'analyse

L'efficacité des nouveaux produits phytosanitaires est évaluée à partir de la formule d'HENDERSON TILTON (DPV Madagascar, 2017).

$$\% \text{d'efficacité} = \left[1 - \frac{\text{Tap} * \text{Cav}}{\text{Tav} * \text{Cap}} \right] * 100$$

Tap : insectes vivants dans la parcelle traitée après traitement

Cav : insectes vivants dans la parcelle témoin avant traitement

Tav : insectes vivants dans la parcelle traitée avant traitement

Cap : insectes vivants dans la parcelle témoin après traitement

Les résultats sont traités sous le logiciel XLSTAT. Le test d'ANOVA est utilisé pour savoir s'il y a une différence significative entre chaque modalité de traitements.

Le rendement pour chaque modalité est en fonction du nombre de pieds par ha (NP / m²), nombre d'épis par pieds (NE / P), nombre de grains par épi (NG / E) et du poids moyen d'un grain (P1G). Ainsi, le rendement (kg/ha) est égal au produit du nombre des grains avec le poids moyen d'un grain, dans une surface d'un hectare.

Les rendements obtenus sont aussi traités sous le logiciel XLSTAT. Le test d'ANOVA est utilisé pour savoir s'il y a une différence significative entre les rendements pour chaque modalité. Puis, la méthode « grouper » est utilisée pour savoir la relation entre les dégâts à l'état initial de la parcelle et les rendements obtenus.

Selon RANDRIANARISOA (2008), la rentabilité économique des différentes modalités est évaluée à partir du calcul des différents ratios suivants :

- Le rapport valeur coût (RVC) permet d'évaluer la rentabilité économique ou non, de chaque modalité.
 - RVC < 1 signifie que la modalité en question n'est pas intéressante du point de vue économique.
 - 1 < RVC < 2 veut dire que la modalité nécessite une amélioration pour être vulgarisée.
 - RVC > 2 implique que la modalité est apte à la vulgarisation.
- Le coût de revient désigne le coût de production d'un kilogramme de grains de maïs. Un coût de revient bas est intéressant.
- Le Rapport Valeur Peine (RVP) est caractérisé par la valeur ajoutée produite par rapport aux efforts de travail investis par l'exploitation.

2.2.8. Limites de travail

La réalisation de cette étude a rencontré quelques problèmes :

- Le retard du calendrier des essais : dans les deux (2) sites, le semis est effectué vers la fin du mois de janvier. Cette date de semis a une influence sur la croissance et le développement de la plante, notamment sur le rendement.
- Le vol des épis pendant la phase de maturation sur la totalité des parcelles à Tsinjoarivo Imanga. Ainsi, l'analyse de rendement et l'étude économique dans la région Bongolava n'ont pas pu être effectuées.

3. RESULTATS

3.1. Résultat du pré test

A la fin du pré test, les matières actives suivantes sont retenues :

- Indoxacarbe 150 SC, référence
- Imidaclopride+lambdacyhalotrine 175 SC
- Emamectine benzoate 1.9 % EC
- Acetamiprid 20 SP + Emamectine benzoate 1.9 % EC
- Acetamiprid 20 SP + abamectin 1.8 % EC. L'indoxacarbe 150 SC sert de témoin.

Ce sont des matières actives qui peuvent tuer les chenilles légionnaires d'automnes.

3.2. Résultats de l'expérimentation

3.2.1. Efficacité des produits

3.2.1.1. Un jour après traitement (Obs1)

Les figures suivantes montrent le taux d'efficacité de tous les produits utilisés après un jour de traitement (AT=Après Traitement).

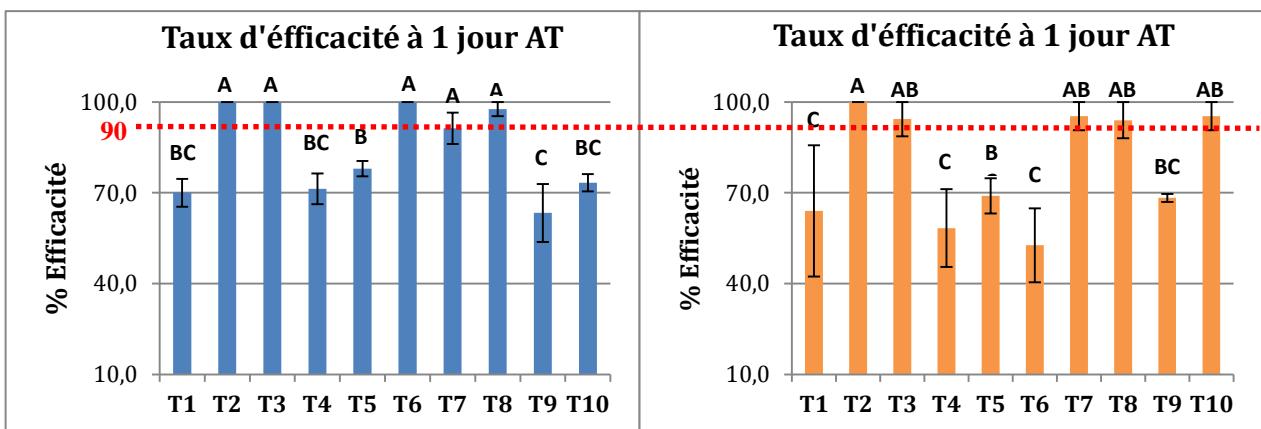


Figure 14: Taux d'efficacité à 1 jour AT
Analavory (source : Auteur)

Figure 15: Taux d'efficacité à 1 jour AT
Tsinjoarivo (source : Auteur)

D'après les deux figures ci-dessus, l'efficacité des produits est influencée par la variable traitement. L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative entre le taux d'efficacité des traitements ($F=11,592$, $P< 0,0001$ pour le site d'Analavory et $F=3,564$, $P=0,009$ pour le site de Tsinjoarivo) (Cf Annexe 5).

Concernant le site d'Analavory (Figure 14), la comparaison des moyennes du taux d'efficacité fait apparaître quatre (4) groupes distincts : A, B, BC et C. Le groupe A (taux supérieur à 90 %) appartient aux produits qui peuvent éliminer l'infestation du *S. frugiperda* à un jour AT. Ce sont : T2, T3, T6, T7 et T8. Les groupes B, BC et C (taux inférieur à 90 %) appartiennent aux

produits qui ne peuvent pas encore éliminer l’infestation du *S. frugiperda* à un jour AT. Ce sont : T1, T4, T5 et T9.

Pour le site de Tsingy de Bemaraha (Figure 15), la comparaison des moyennes des taux d’efficacité fait apparaître quatre (4) groupes aussi : A, AB, BC et C. Les groupes A et AB (taux supérieur à 90%) appartiennent aux produits qui peuvent éliminer l’infestation du *S. frugiperda* à un jour AT à un jour AT. Ce sont : T2, T3, T7, T8, T10. Les groupes BC et C (taux inférieur à 90 %) appartiennent aux produits qui ne peuvent pas encore éliminer l’infestation du *S. frugiperda* à un jour AT. Ce sont : T1, T4, T5, T6 et T9.

3.2.1.2. Trois jours après traitement (Obs2)

Les figures 15 et 16 suivantes montrent l’efficacité des produits utilisés après trois (3) jours de traitement (AT=Après Traitement).

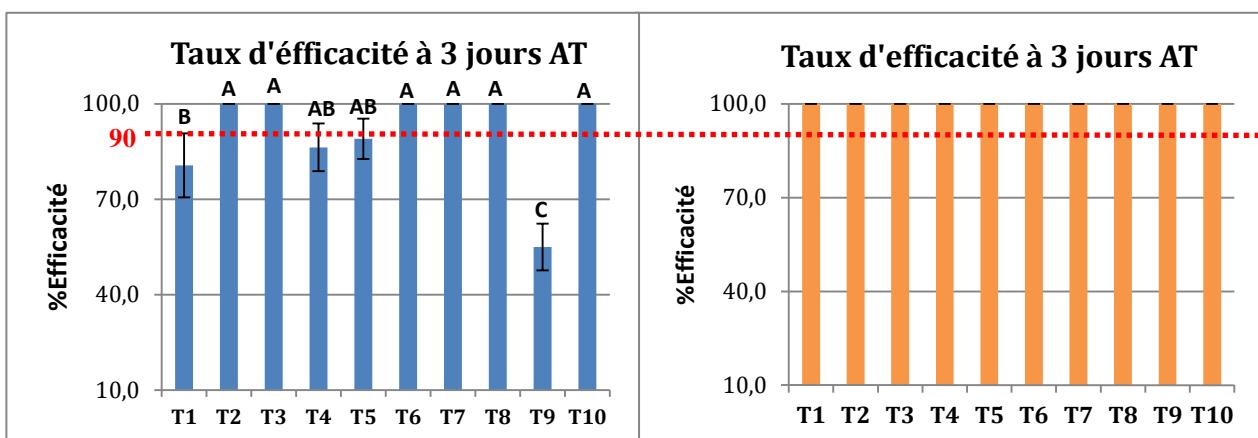


Figure 16: Taux d’efficacité à 3 jours AT
Analavory (source : Auteur)

Figure 17: Taux d’efficacité à 3 jours AT
Tsingy de Bemaraha (source : Auteur)

L’analyse de la variance pour le site d’Analavory (Figure 16) montre qu’il y a une différence significative entre le taux d’efficacité des traitements ($F=8,4$; $P<0,0001$). La comparaison des moyennes du taux d’efficacité fait apparaître quatre (4) groupes : A, AB, B et C. Le groupe A (taux supérieur à 90 %) appartient aux produits qui peuvent éliminer l’infestation du *S. frugiperda* à trois jours AT. Ces produits sont : T2, T3, T6, T7, T8 et T10. Les groupes AB, B et C (taux inférieur à 90 %) appartiennent aux produits qui ne peuvent pas encore éliminer l’infestation du *S. frugiperda* à trois jours AT. Ce sont : T1, T4, T5 et T9 (Cf Annexe 5).

L’analyse statistique pour le site de Tsingy de Bemaraha (Figure 17) montre qu’après trois (3) jours de traitement, tous les produits utilisés atteignent le taux maximum de 100 %. Toutes les matières actives utilisées peuvent éliminer l’infestation du *S. frugiperda* à trois jours AT. (Cf Annexe 5).

3.2.1.3. Six jours après traitement (Obs3)

Les figures suivantes montrent l'efficacité des produits après six (6) jours de traitement (AT=Après Traitement).

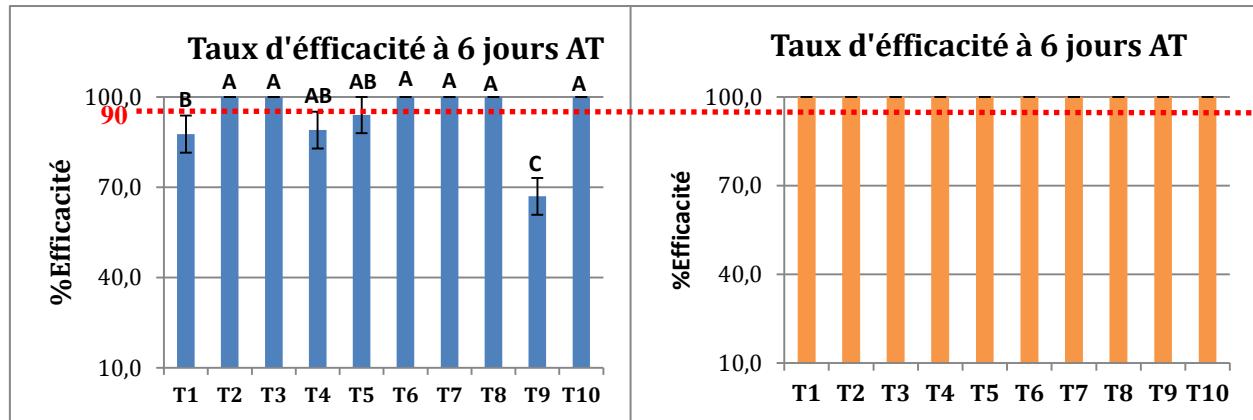


Figure 18: Taux d'efficacité à 6 jours AT
Analavory (source : Auteur)

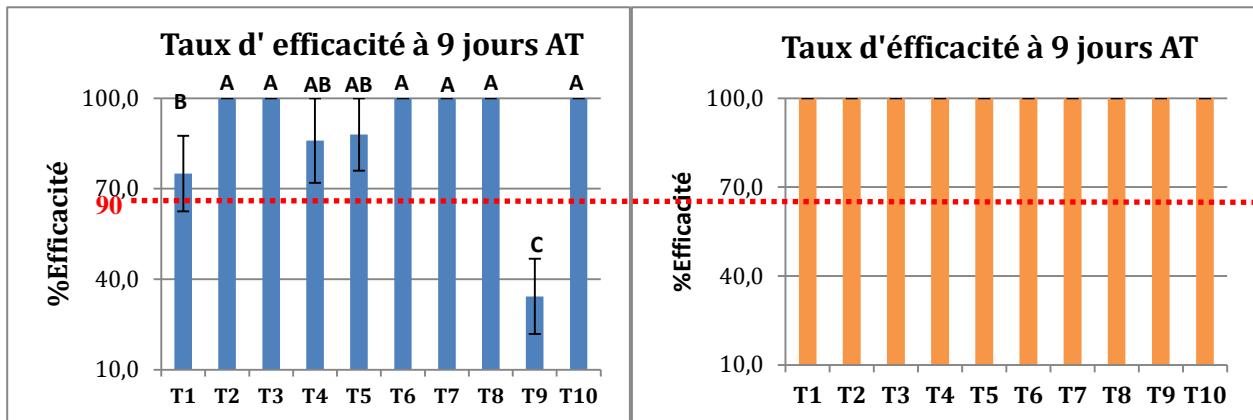
Figure 19: Taux d'efficacité à 6 jours AT
Tsinjoarivo (source : Auteur)

L'analyse de la variance pour le site d'Analavory (Figure 18) montre qu'il y a une différence significative entre le taux d'efficacité des traitements ($F=7,557$; $P<0,0001$). La comparaison des moyennes du taux d'efficacité fait apparaître quatre (4) groupes : A, AB, B et C. Les groupes A et AB (taux supérieur à 90 %) appartiennent aux produits qui peuvent éliminer l'infestation du *S. frugiperda* à six jours AT. Ces produits sont : T2, T3, T4, T5, T6, T7 et T8. Les groupes B et C (taux inférieur à 90 %) appartiennent aux produits qui ne peuvent pas éliminer l'infestation du *S. frugiperda* à six jours AT. Ce sont : T1 et T9 (Cf Annexe 5).

L'analyse statistique pour le site de Tsinjoarivo (Figure 19) montre que l'efficacité de toutes les matières actives testées atteint le taux maximum 100% après six (6) jours de traitement. Toutes les matières actives utilisées peuvent éliminer l'infestation du *S. frugiperda* à six jours AT (Cf Annexe 5).

3.2.1.4. Neuf jours après traitement (Obs4)

Les figures 20 et 21 suivantes montrent l'efficacité des produits après neuf (9) jours de traitement (AT=Après Traitement).



Pour le site d'Analavory (Figure 20), l'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative entre le taux d'efficacité des traitements à 6 jours après traitement ($F=6,676$; $P=0.0002$). La comparaison des moyennes fait apparaître les groupes suivants : A, AB, B et C. Seuls les produits appartenant au groupe A (taux supérieur à 90 %) peuvent éliminer l'infestation du *S. frugiperda* à neuf jours AT. Ces produits sont : T2, T3, T6, T7, T8 et T10. Les produits appartenant aux groupes AB, B et C (taux inférieur à 90 %) qui ne peuvent pas éliminer l'infestation du *S. frugiperda* à neuf jours AT. Ces produits sont : T1, T4, T5 et T9 (Cf Annexe 5).

Après neuf (9) jours de traitement, l'analyse statistique pour le site de Tsinjoarivo (Figure 21) montre que tous les matières actives atteignent le taux d'efficacité maximum de 100 %. Toutes les matières actives utilisées peuvent éliminer l'infestation du *S. frugiperda* à neuf jours AT (Cf Annexe 5).

3.2.2. Evolution des effets des produits dans le temps

Les figures 22 suivantes montrent l'évolution d'efficacité de tous les produits utilisés pour le site d'Analavory.

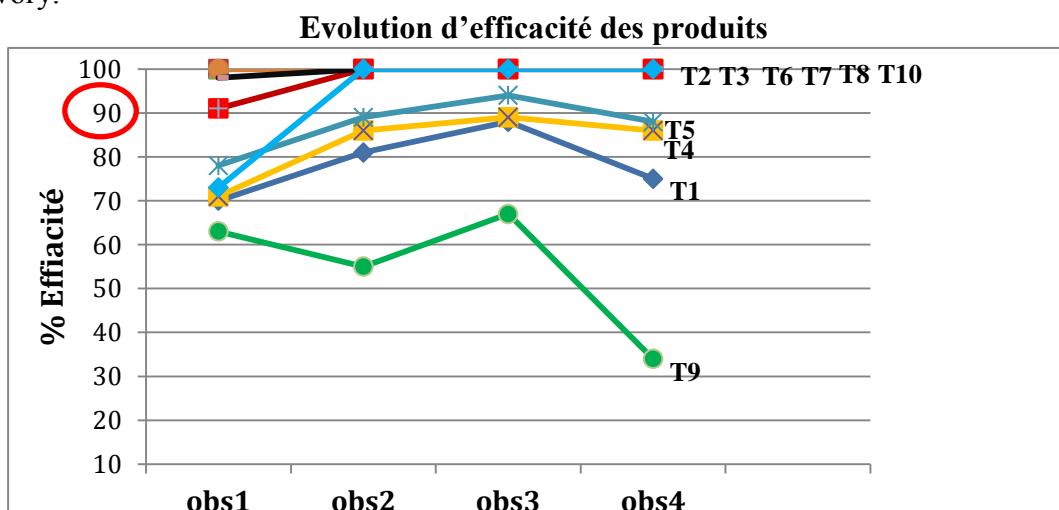


Figure 22: Evolution d'efficacité des produits par jour d'observation Analavory (source : Auteur)

Pour le site d'Analavory (Figure 22), concernant l'indoxacarbe, l'augmentation du taux d'efficacité est constaté pour le produit T1 de l'observation 1 jusqu'à l'observation 3. A partir de l'observation 3, ce taux diminue ; tandis que le taux d'efficacité du produit T6 reste constante (100%) tout au long de l'observation. Concernant l'Emamectine benzate, le taux d'efficacité (100%) du produit T2 reste constant tout au long de l'observation ; tandis qu'une augmentation du taux d'efficacité est constaté de l'observation 1 jusqu'à l'observation 2 pour le produit T7. A partir de l'observation 2, ce taux reste constante (taux d'efficacité 100%) jusqu'à l'observation 4. Concernant l'acetamipride+emamectine benzoate, le taux d'efficacité (100%) reste constant tout au long de l'observation pour le mélange T3. Et une petite augmentation du taux d'efficacité (98 % à 100%) est constatée pour le mélange T8, de l'observation 1 à l'observation 2. Ce taux 100 % reste constant jusqu'à l'observation 4. Pour l'imidaclopride+lambdacyaholitrine à Analavory (Figure 21), une augmentation du taux d'efficacité est constatée pour le produit T4 de l'observation 1 jusqu'à l'observation 3. A partir de l'observation 3, le taux d'efficacité diminue. Et le taux d'efficacité du produit T9 est instable. Ce taux diminue dans l'observation 2 et augmente dans l'observation 3. Et à la fin de l'observation, une diminution du taux à 34 % est constatée. Pour le mélange d'acetamipride+abamectin à Analavory (Figure 21), la courbe montre une augmentation du taux d'efficacité de l'observation 1 jusqu'à l'observation 2 pour les produits T5 et T10. A partir de l'observation 2, la courbe atteint le taux maximum de 100% et reste constante jusqu'à la fin de l'observation pour le produit T10. Et pour le produit T5, la courbe augmente dans l'observation 3 et diminue dans l'observation 4.

Et la figure 23 suivante montre l'évolution d'efficacité des produits pour le site de Tsinjoarivo.

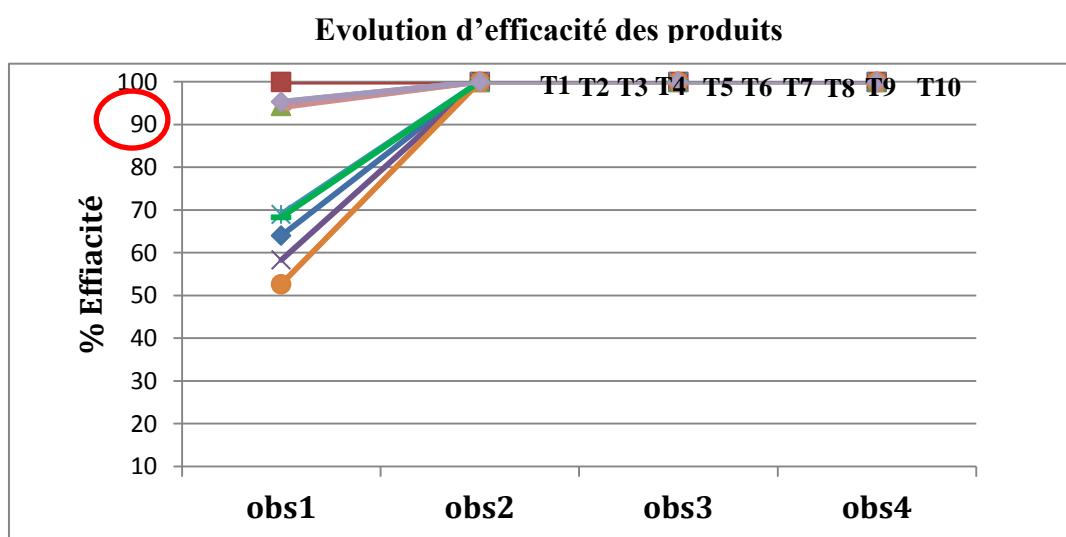


Figure 23: Evolution d'efficacité des produits par jour d'observation Tsinjoarivo (source : Auteur)

Pour le site de Tsinjoarivo (Figure 23), concernant l'indoxacarbe, la courbe montre une augmentation du taux d'efficacité à 100% de l'observation 1 jusqu'à l'observation 2 pour les produits T1 et T6. A partir de l'observation 2, ce taux reste constante (100%) jusqu'à

l'observation 4. Et pour l'emamectine benzoate, le taux d'efficacité (100%) du produit T2 reste constant tout au long de l'observation ; tandis que la courbe d'évolution du taux d'efficacité du produit T7 augmente 100 % dans l'observation 2. Ce taux reste constant jusqu'à l'observation 4. Pour le mélange d'acetamipride+emamectine benzoate, une augmentation du taux d'efficacité à 100 % est constatée pour le mélange T3 et T8 de l'observation 1 à l'observation 2. A partir de l'observation 2, ce taux reste constant jusqu'à l'observation 4. Pour l'imidaclopride+lambdacyhalotrine, une augmentation du taux à 100% est remarquée dans l'observation 2 pour les produits T4 et T9. Et ce taux reste constant jusqu'à l'observation finale. Et enfin pour le mélange d'acetamipride+abamectin, la courbe montre une augmentation du taux d'efficacité à 100 % pour les produits T5 et T10. Et ce taux reste constante jusqu'à l'observation 4.

3.3. Rendement

3.3.1. Rendement par modalité

La figure 24 suivante montre les rendements obtenus pour chaque modalité.

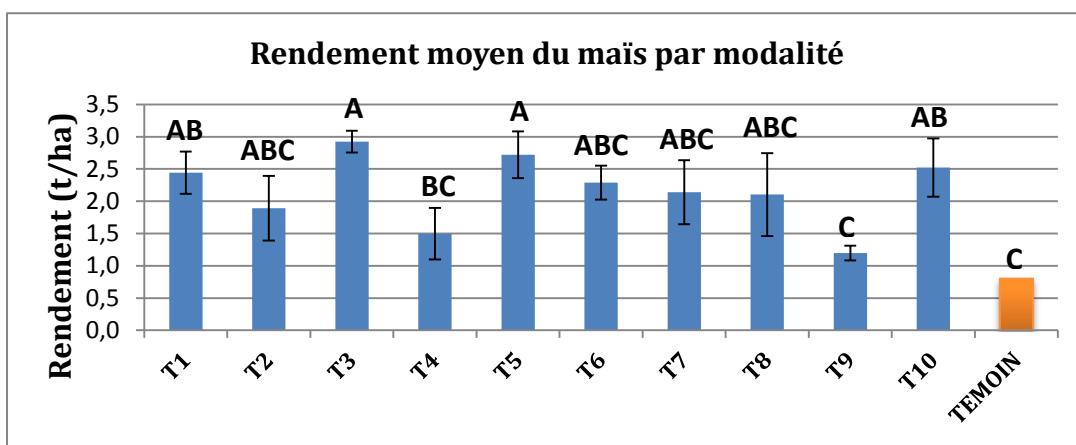


Figure 24: Rendement du maïs par modalité, Analavory (source : Auteur)

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative entre les rendements obtenus ($F=1,954$, $P = 0,097$). La comparaison des moyennes fait apparaître quatre (4) groupes : A, AB, BC et C. Le groupe A appartient à des parcelles ayant le rendement le plus important (supérieur à 2,5 t/ha). Ce sont T3 et T5. Le groupe AB appartient à des parcelles dont le rendement est environ 2,5 t/ha. Ce sont T1 et T10. Le groupe ABC appartient à des parcelles dont le rendement compris entre 1,9 à 2,3 t/ha. Ce sont T2, T6, T7 et T8. Le groupe BC appartient à des parcelles dont le rendement est d'environ 1,4 t/ha qui est T4. Et enfin le groupe C appartient à des parcelles ayant le plus faible rendement qui est d'environ 1 t/ha. Ce sont T9 et Témoin non traité (Cf Annexe 6).

3.3.2. Influence de l'intensité des dégâts de culture sur les rendements

La figure 25 suivante montre l'influence de l'intensité des dégâts de culture sur le rendement.

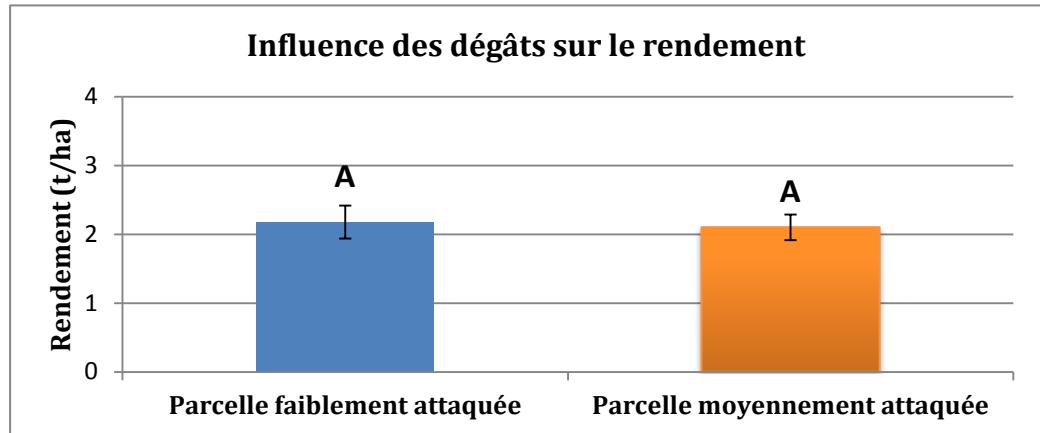


Figure 25: Influence des dégâts sur le rendement, Analavory (source : Auteur)

L’analyse statistique montre que les parcelles faiblement attaquées et moyennement attaquées ont le même rendement parce que la comparaison des moyennes fait apparaître un seul groupe (groupe A).

3.4. Analyses économiques

3.4.1. Coût de production du maïs

Le coût de production de maïs dans une surface de 1ha est calculé en considérant les charges en intrants et en main-d’œuvre et les coûts des matériels amortissables.

3.4.1.1. Charges en intrants pour une surface de 1 ha

Le tableau 3 ci-après montre les charges en intrants de toutes les modalités pour une surface de 1 ha (*Cf Annexe 8*).

Tableau 3: Charge en intrant de toutes les modalités pour une surface de 1 ha

Intrants	Montant total en Ariary
PARCELLES TRAITEES	
Semence	48 000
Engrais chimiques	80 000
Total des charges avec Indoxacarbe 150 SC	220 499,84
Total des charges avec Emamectine benzoate 1,9 % EC	179 139,84
Total des charges avec Acetamipride 20 SP+Emamectine benzoate 1,9 % EC	166 486,51
Total des charges avec Imidaclopride+lambdacyhalotrine 175 SC	155 899,84
Total des charges avec Acetamipride 20 SP+Abamectin 1,8 % EC	171565,84
PARCELLE NON TRAITEE (TEMOIN)	
Semence	48 000
Engrais chimiques	80 000
Produits de conservation	2 499,84
Total	130 499,84

Source : Auteur

D'après ce tableau, les charges en intrants des parcelles traitées sont différentes selon la nature des produits utilisés. Cette différence est due au prix des matières actives. Pour l'indoxacarbe la charge est de 220 499,84 Ariary, Pour l'emamectine benzoate (Cotac), elle est de 179 139,84 Ariary. Pour le mélange d'acetamipride + emamectine benzoate (Ninja+Coatc), elle est de 166 486,51 Ariary. Pour l'imidaclopride+lambdacyhalotrine (Cyamid), elle est de 155 899,84 Ariary. Pour le mélange d'acetamipride+abamectin (Ninja+Coatac), la charge est de 166 486,51 Ariary. Et aussi, les charges en intrants des parcelles traitées sont plus élevées que celles de la parcelle non traitée qui est de 130 499,84 Ariary.

3.4.1.2. Charges en main d'œuvre pour une surface de 1 ha

Les charges en main d'œuvre sont calculées à partir du tableau 4 ci-dessous (Détails en Annexe 9).

Tableau 4: Charges en main d'œuvre pour une surface de 1 ha

Itinéraires techniques	Montant total en Ariary
PARCELLES TRAITEES	
Labour	20 000
Semis	14 000
Sarclage	26 000
Engrais	14 000
Buttage	28 000
Traitements phytos	48 000
Récolte	200 000
Transport	30 000
Egrenage	30 000
Conditionnement ³	100 000
Total	510 000
PARCELLE NON TRAITEES (TEMOIN)	
Labour	20 000
Semis	14 000
Sarclage	48 000
Engrais	14 000
Buttage	28 000
Traitements phytos	200 000
Récolte	15 000
Egrenage	8 000
Conditionnement	32 000
Total	357 000

Source : Auteur

D'après ce tableau, les charges en main-d'œuvre des parcelles traitées sont plus élevées que celles de la parcelle non traitée. La charge est de 510 000 Ariary pour les parcelles traitées et de 357 000 Ariary pour la parcelle non traitée.

3.4.1.3. Coût des matériels amortissables

Le matériel amortissable utilisé par l'exploitant est le pulvériseur.

³ Conditionnement avec dockers

Tableau 5: Calcul de l'amortissement de matériel pour une surface de 1 ha

Amortissement des matériaux	Montant en Ariary	Durée de vie en Année	Annuité aux amortissements (Ariary/an)	Anuité par spéculation (Ariary)
PARCELLES TRAITÉES				
Pulvérisateur	150 000	5	30 000	5 000
Total				5 000
PARCELLE NON TRAITÉE (TEMOIN)				
Pulvérisateur	150 000	5	30 000	5 000
Total				5 000

Source : Auteur

L'annuité à l'amortissement intègre non seulement la culture de maïs, mais également d'autres cultures pratiquées pendant la même année. Les cultures concernées par l'utilisation de ce matériel amortissable sont : la tomate, le haricot, le petit pois, le poivron et le haricot vert. Considérons que ces plantes sont traitées aux pesticides à des mêmes fréquences de traitement. Ainsi, l'annuité à l'amortissement est divisée par six (6), ce qui nous amène à déduire l'annuité à l'amortissement d'un pulvérisateur.

L'annuité à l'amortissement d'un pulvérisateur est de même pour les parcelles traitées et la parcelle non traitée qui est de 5 000 Ariary.

3.4.2. Calcul des revenus engendrés par la culture de maïs pour une surface de 1 ha

Le tableau ci-dessous montre les revenus engendrés par la culture pour une surface de 1 ha (*Cf Annexe 10*).

Tableau 6: Calcul des revenus pour une surface de 1 ha

Charges (Ariary)	Indoxacarbe 150 SC	Emamectine benzoate 1,9% EC	Acetamiprid e 20 SP+Emamectine benzoate 1,9 %EC	Imidaclopride +lambdacyhalotrine 1,9% EC	Acetamipride 20SP+Abamectin 1,8%EC	TEMOIN
PB	2 838 000	2 420 004	3 015 996	1 616 400,00	3 146 004	960 000
CI	220 499,84	179 139,84	166 486,51	155 899,84	171 565,84	130 499,84
VAB	1 671 500,16	1 434 196,16	1 844 177,49	2 256 100,16	1 925 770,16	509 500,16
Ammortissement	5000	5000	5000	5000	5000	5000
VAN	2 612 500	2 235 864,16	2844509,49	1 455 500,16	2 969 438,16	824 500,16
Revenu/Ha	2 102 500,16	1 725 864,16	2 334 509,49	945 500,16	2 459 438,16	467 500,16
(1)Total Charge	735 499,84	694 139,84	681 486,51	670 899,84	686 565,84	492 499,84
(2)RVC	3,86	3,49	4,43	2,41	4,58	1,95
(3)CR	0,26	0,29	0,23	0,42	0,22	0,51
(4)RVP	4,12	3,38	4,58	1,85	4,82	1,31

Source : Auteur

PB =Produit brut

CI =Consommation intermédiaire

VAB=Valeur ajoutée brute

VAN=Valeur ajoutée nette

(1) Total Charge = CI + Main-d'oeuvre + Amortissement

(2) Rapport Valeur Coût (RVC) = Total produit brut / Total charge

(3) Coût de revient (CR) = Total charge / produit brut

(4) Rapport valeur Peine (RVP) = Revenu / Total main d'œuvre

Le prix de vente d'un kilogramme de maïs grains est basé sur le prix de maïs semence dans la zone d'étude (1 200 Ariary/kg).

Le produit brut le plus important est celui de la parcelle traitée avec le mélange d'acetamipride+abamectin (Ninja+Mortak), puis celui de la parcelle traitée avec le mélange d'acetamipride +emamectine benzoate (Ninja+Cotac), ensuite celui de la parcelle traitée avec l'Indoxacarbe (Indox) et emamectine benzoate (Cotac), après celui de la parcelle traitée avec le mélange imidaclopride+lambdacyhalotrine (Cyamid). Et les produits bruts des parcelles traitées sont plus importants par rapport à ceux de la parcelle non traitée (Témoin).

Le revenu par hectare engendré par le mélange d'imidaclopride+lambdacyhalotrine (Cyamid) est le plus important dont la valeur est de 2 947 100, 16 Ariary, suivi de celui engendré par le mélange d'acetamipride+abamectin (Ninja+Mortak) qui est de 2 459 438, 16 Ariary, puis de celui engendré par le mélange d'acetamipride+emamectine benzoate (Ninja+Cotac) qui est de 2 334 509, 49 Ariary, ensuite de celui engendré par l'indoxacarbe et l'emamectine benzoate qui est respectivement de 2 102 500, 16 Ariary et 1 725 864, 16 Ariary. Le Témoin non traité génère des revenus le plus faible revenu qui est de 467 500,16 Ariary.

Concernant les charges, toutes les matières actives utilisées ont presque la même charge sauf l'indoxacarbe qui nécessite beaucoup plus de charges par rapport aux autres. Et la parcelle non traitée (Témoin) reste la moins chère.

Du point de vue Rapport valeur coût (RVC), toutes les matières actives utilisées sont économiquement intéressantes et aptes à la vulgarisation car leurs RVC sont supérieurs à 2.

Par rapport à la valeur du coût de revient (coût de revient de 1 kg de maïs grains), toutes les matières actives utilisées et le témoin non traité ont des valeurs du coût de revient inférieures à 1. Et aussi, la valeur du coût de revient issue de la parcelle témoin non traitée est plus grande qu'à celle des parcelles traitées. Les parcelles traitées sont plus intéressantes par rapport au témoin non traité.

Concernant les valeurs du Rapport Valeur Peine RVP, tous les produits utilisés et même le témoin non traité ont tous des RVP positifs. Mais dans tous les cas, la valeur du RVP du témoin non traité reste inférieure à celle des parcelles traitées.

4. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

4.1. Efficacité des produits

Tout d'abord, pour contrôler l'attaque du *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs, il faut au moins deux (2) traitements phytosanitaires avec des matières actives efficaces pendant un cycle cultural. Le premier traitement devrait être fait dès le début d'infestation du *Spodoptera frugiperda* sur la parcelle, pendant la phase végétative dont un produit systémique à effet immédiat est recommandé pour protéger les jeunes plants à des nouvelles invasions. Le deuxième devra être fait pendant la formation de l'épi (phase reproductive).

Selon les résultats obtenus, pendant tous les jours d'observation, l'efficacité des matières actives utilisées est la même pour le traitement du matin (vers 6h) et celui du soir (vers 19h). Mais, la différence d'efficacité dépend surtout de la nature et des propriétés des matières actives. D'après Benjamin P. et Nicolas B. (2016), en pulvérisation, quels que soient le produit et le volume de bouillie appliqués, il faut viser l'hygrométrie maximale pour limiter les pertes par volatilisation. Et les bonnes conditions d'hygrométrie commencent à partir de 60 %, ce qui est souvent le cas le matin et le soir.

D'après Werner P. (1981), l'efficacité des produits phytosanitaires contre *Spodoptera frugiperda* est bonne lorsque le taux est supérieur à 90 % et celle-ci est douteuse voire inefficace lorsque ce taux est inférieur à 90 %.

Pour le site d'Analavory, l'efficacité d'indoxacarbe (Indox) est douteuse contre *Spodoptera frugiperda*, un jour après traitement et trois (3) jours après traitement car ce taux est respectivement 70 % et 80, 67 %. A partir de sixième jours après traitement, son efficacité est bonne. Cette efficacité est due à la propriété de cette matière active qui peut tuer la chenille légionnaire présente sur la parcelle. D'après IPROCHEM et AGRIVET (2017), l'insecte exposé à l'indoxacarbe cesse de s'alimenter, présente des mouvements désordonnés et meurt par paralysie. Et ce résultat est confirmé aussi par l'étude faite par la DPV (Direction de la protection des végétaux) en 2017 concernant l'efficacité d'indoxacarbe contre *Spodoptera frugiperda*. Ensuite, l'emamectine benzoate (Cotac) est efficace dès le premier jour après traitement et son efficacité atteint le taux maximum (100%) à la fin de l'observation. L'emamectine benzoate a un effet immédiat contre la chenille légionnaire. Grâce à sa propriété chimique, ce produit agit par contact et par ingestion sur diverses chenilles. De même pour le mélange d'acetamipride+emamectine benzoate (Ninja+Cotac), il est efficace dès le premier jour après traitement et atteint le taux maximum (100%) neuf (9) jours après traitement. Ce taux est dû à l'absence de la chenille légionnaire sur la parcelle traitée. Ainsi, le mélange de ces deux matières actives a un effet synergique sur la chenille légionnaire d'automne. L'emamectine benzoate paralyse et même tue directement la chenille tandis que l'acetamipride, par son action systémique, arrive à protéger les plantes sur une longue période (au moins 2 semaines) et à empêcher une

réinfestation rapide. Puis, l'efficacité du mélange d'imidaclopride+lambdacyhalotrine (Cyamid) est douteuse voire inefficace dès le premier jour après traitement jusqu'au neuvième jour après traitement. C'est-à-dire qu'après traitement avec ce mélange de deux (2) matières actives, les chenilles légionnaires d'automne continuent de se propager sur les cultures. Enfin, le mélange d'acetamipride+ abamectin (Ninja+Mortak) a aussi une efficacité douteuse contre *Spodoptera frugiperda* après un jour et trois (3) après traitement. Et c'est à partir de sixième jours qu'il a une efficacité bonne, ce qui correspond aussi à la diminution du nombre des chenilles légionnaires d'automne présente sur la parcelle. Ainsi, le mélange de ces deux matières actives donne également un effet synergique contre la chenille. L'abamectin paralyse et même tue directement la chenille tandis que l'acetamipride, par son action systémique, arrive à protéger les plantes sur une longue période.

L'hypothèse stipulant que « il existe d'autres produits phytosanitaires (matières actives) efficaces non encore homologués mais disponibles sur le marché contre *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs et accessibles par les maïsiculteurs» est vérifiée.

Pour le site de Tsinjoarivo, le premier traitement (mois de Mars) avec des différentes matières actives coïncide à un temps sec et ensoleillé, accompagné de température élevée. Cette condition climatique facilite la vaporisation de la matière active et diminue son efficacité, sauf si les matières actives sont surdosées lors de la manipulation. PéliSSARD J. et Michel D. (2016) a confirmé qu'en cas de forte chaleur, l'application des produits phytosanitaires peut provoquer la formation de vapeurs toxiques et des phénomènes de phytotoxicité, même à distance. Or, sur terrain on a observé deux résultats : à partir du troisième jour de traitement, toutes les matières actives sont efficaces contre *Spodoptera frugiperda* ; et aussi un phénomène de phytotoxicité est observé sur les parcelles. Ces résultats peuvent être expliqués par un surdosage des matières actives utilisées lors de la préparation des produits.

4.2. Discussion sur le rendement

Selon les résultats obtenus durant l'expérimentation, le rendement moyen du maïs issu de la parcelle traitée varie suivant la nature et les propriétés chimiques de la matière active utilisée, mais il ne dépend pas de l'importance des dégâts à l'état initial de la parcelle.

Les rendements issus de la parcelle traitée avec l'acetamipride+ emamectine benzoate le matin (T3), avec acetamipride+abamectin le matin (T5) et avec l'acetamipride+abamectin le soir (T10) sont les plus importants et atteignent la valeur supérieure à 2,5 t/ha. Ensuite, celui de la parcelle traitée avec l'indoxacarbe le matin (T1) et avec l'emamectine benzoate le soir (T10) qui est respectivement 2,4 t/ha et 2,5 t/ha. Puis, celui de la parcelle traitée avec l'emamectine benzoate le matin et le soir (T2 et T7), l'indoxacarbe le soir (T6) et l'acetamipride+emamectine benzoate le soir (T8) qui est d'environ 2 t/ha. Enfin le rendement issu de la parcelle traitée avec

l'imidaclopride le matin et le soir (T4 et T9) et celui du témoin non traité sont les plus faibles (environ 1 t/ha).

Compte tenu des rendements moyens par matière active :

- le mélange d'acetamipride+abamectin (Ninja+ Mortak) présente le rendement le plus important qui est d'environ 2,6 t/ha ;
- le mélange d'acetamipride+emamectine benzoate (Ninja+Cotac) offre un rendement de l'ordre de 2,5 t/ha ;
- l'indoxacarbe (indoxacarbe) donne un rendement d'environ 2,3 t/ha ;
- l'emamectine benzoate (Cotac) permet d'obtenir un rendement d'environ 2 t/ha ;
- l'imidaclopride+lambacyhalotrine donne un rendement d'environ 1 t/ha.
- Le témoin non traité a le rendement le plus faible qui est de l'ordre de 0,8 t/ha.

Ainsi, les matières actives utilisées ont un rôle majeur sur les rendements en grains de maïs.

Selon l'ANCOS (2016), le rendement potentiel de la variété IRAT 200 en suivant les itinéraires techniques recommandés (densité des plants, engrais,...) est de 5 t/ha. Par rapport à ce chiffre, les rendements réellement obtenus sont faibles. Ces faibles rendements sont dus aux dégâts provoqués par les chenilles légionnaires sur les feuilles de maïs et aussi aux pourcentages des plants de maïs qui n'ont pas fleuri. Les dégâts sur les feuilles ont des répercussions négatives sur l'activité photosynthétique de la plante. Lorsque l'activité photosynthétique est perturbée au moment de la croissance végétale, il est fort probable que les réserves produites diminuent. Edmeades et Daynard (1979) confirment qu'il y a une relation entre la photosynthèse et le rendement chez le maïs. L'activité photosynthétique assure le développement et la croissance de la plante jusqu'à la formation des organes reproductives. Et elle participe à la formation et remplissage des grains, puisque durant cette phase la morphologie de la plante ne varie plus. De plus, Hruska et Gould (1997) ont confirmé que les infestations durant le stade de développement du maïs allant du milieu à la fin du cycle entraînaient des pertes de rendement de 15 à 73% lorsque 55 à 100% des plants étaient infestés par *Spodoptera frugiperda*.

De plus, ces faibles rendements sont dus au retard du calendrier de la mise en place des essais. En effet, l'essai coïncide à des moments où la pluie n'existe plus. D'après M'BAREK *et al.*, (1996) et RIOU (1993), l'eau a un rôle fondamental dans la vie des plantes, dans la mesure où elle conditionne leurs activités physiologiques et métaboliques. Elle est le vecteur des éléments nutritifs de la plante. Sa carence peut affecter la croissance, elle est, de ce fait, le principal facteur limitant sur la production dans les régions arides et semi-arides. Et, Razafimahatratra (2017) a mentionné que les besoins mensuels en eau du maïs sont estimés 100 mm durant toute la période de sa végétation, le maïs étant une plante exigeante en eau, surtout en phase de : germination, croissance, floraison, fécondation et grossissement des grains. Mais la période la

plus critique pour l'eau s'étend sur les 15 jours qui précèdent et les 15 jours qui suivent l'apparition des inflorescences mâles.

Ensuite, du point de vue statistique, les parcelles faiblement et moyennement attaquées par *Spodoptera frugiperda*, traitées avec les différentes matières actives ont le même rendement (environ 2 t/ha). Ce résultat explique que les matières actives utilisées permettent d'éliminer l'infestation de *Spodoptera frugiperda* sur les parcelles. Au Nicaragua, Van Huis (1981), a constaté une augmentation de 33% du rendement du maïs lorsque les plantes étaient protégées par un insecticide. Ainsi, on peut gérer l'infestation de la parcelle en utilisant les matières actives efficaces contre *Spodoptera frugiperda* si le taux d'infestation est encore compris entre 16 % à 66 % de la parcelle totale.

Même si, les conditions (dégâts de culture, sécheresse) entraînant une diminution excessive de rendement sont tous réunis, les rendements moyens issus des parcelles traitées arrivent à atteindre jusqu'à 2 t/ha.

L'hypothèse qui stipule que « les nouveaux produits phytosanitaires utilisés contre *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs améliorent les rendements en grains de maïs » est vérifiée.

4.3. Rentabilité économique

L'analyse économique montre que toutes les parcelles traitées génèrent des profits différents. La différence des profits est due au prix des matières actives. L'indoxacarbe coûte le plus cher, suivi de l'emamectine benzoate, puis du mélange d'acetamipride+abamectin et du mélange d'acetamipride+emamectine benzoate. L'imidaclopride+lambdacyhalotrine reste le produit le moins cher.

Par rapport au revenu par hectare, les matières actives qui sont les moins chères engendrent beaucoup plus de revenu par rapport au produit le plus cher. Ici, l'indoxacarbe est le produit qui est le plus cher, alors il engendre le moins de revenu par hectare. De plus, le coût de la fréquence de traitement aussi joue un rôle majeur sur les revenus par hectare. Si la fréquence de traitement augmente, le revenu diminue. Enfin, le prix de vente d'un kilogramme des grains de maïs joue un rôle sur l'augmentation des revenus par hectare sur les parcelles (traitées ou non). Même s'il y a le coût des produits et le coût de la fréquence de traitement, le témoin non traité engendre moins de revenus par rapport à des parcelles traitées puisque la production obtenue est moindre.

Compte tenu des calculs des différents ratios, toutes les matières actives utilisées sont économiquement intéressantes et aptes à la vulgarisation car leur rapport valeur coût RVC sont supérieurs à 2 ; tandis que le témoin non traité n'est pas intéressant du point de vue économique et nécessite une amélioration pour être vulgarisée car son RVC est compris entre 1 et 2.

Concernant les rapports valeurs peines RVP, toutes les parcelles traitées ont des RVP positifs et supérieurs à 1 ; tandis que le témoin a de RVP inférieur à 1. Alors les revenus obtenus issu des parcelles traitées arrivent à combler toutes les charges sur la parcelle.

L'hypothèse 3 stipulant que « l'utilisation des produits phytosanitaires efficaces obtenus contre *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs est rentable et rémunératrice » est vérifiée.

4.4. Recommandations et perspectives

Concernant la méthodologie, le traitement avec les différentes matières actives et le comptage des chenilles encore vivantes après traitement, dans deux régions distinctes, dans un intervalle d'une journée est un travail qui est difficile à réaliser. Il faut au moins deux personnes par région pour que le test soit mené à l'heure exacte (temps de traitement et comptage des chenilles encore vivantes après traitement).

Actuellement à Madagascar voire dans le monde, les matières actives efficaces et homologuées contre la chenille légionnaire d'automne sur la culture de maïs sont encore peu. En effet, cette étude aide les firmes importatrices des produits à accélérer la demande d'homologation de toutes les matières actives efficaces.

Concernant le taux d'efficacité 100 % après trois jours de traitement (à partir de l'observation 2) dans la région Bongolava, il est fort probable que les produits sont surdosés lors de la manipulation. Alors, il est nécessaire de mener un nouveau test sur les différentes matières actives utilisées dans cette même région.

Pour les matières actives efficaces contre *Spodoptera frugiperda*, l'étude concernant le phénomène de résistance au laboratoire est nécessaire afin de limiter le nombre maximal de la fréquence de traitement. Mais, face à l'infestation du *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs, il faut au moins deux (2) traitements pour avoir un rendement assez significatif. Et traiter au moment opportun où les chenilles n'est pas encore sorties du vorticelle de la plante (le matin vers 6 h et le soir vers 19h). Si les chenilles sortent déjà à l'extérieur du vorticelle, elles tombent par terre pendant la pulvérisation et remontent sur les feuilles quelques temps après.

Concernant l'utilisation des matières actives efficaces et économiquement intéressantes contre *Spodoptera frugiperda*, les producteurs ont des choix sur l'indoxacarbe, l'emamectine benzoate, le mélange d'acetamipride+emamectine benzoate et le mélange d'acetamipride+emamectine benzoate, selon leur disponibilité sur le marché. Mais pour le mélange des produits, il faut faire attention pour que les matières actives ne soient pas surdosées.

Ensuite, le respect du calendrier cultural est un facteur non négligeable pour avoir un bon rendement en maïsiculture car la mise en place de notre essai est tardive par rapport au calendrier cultural normal. Ce retard a une répercussion négative sur la production en grains de maïs.

Le prix de vente d'un kilogramme de maïs grains joue aussi un rôle important sur le revenu par hectare. Alors, choisir le moment où le prix de vente est assez élevé pour la vente, si on veut profiter une meilleure rentabilité.

CONCLUSION

Cette analyse de la lutte chimique, dans le Moyen Ouest de Madagascar a été réalisée pour connaitre les pesticides efficaces contre *Spodoptera frugiperda* sur la culture de maïs, dans le cadre d'homologation des nouveaux produits pour ce bioagresseur redoutable.

Pour cela, une expérimentation et une analyse économique sur la lutte chimique contre *Spodoptera frugiperda* ont été faites dans les Régions Itasy et Bongolava. Durant les expérimentations, deux séries de pré-test ont été effectuées à Analavory (région Itasy) et à Ankadinondry (région Bongolava) pour présélectionner les produits qui sont efficaces contre *Spodoptera frugiperda*. Seules les matières actives retenues durant le pré-test sont évaluées du point de vue technico-économique en considérant les temps d'application : le matin (vers 6 h) et le soir (vers 19 h). Les résultats ont montré que traiter le matin (vers 6h) ou le soir (vers 19h) n'affecte pas l'efficacité des produits. D'autant plus que l'organisation logistique le soir peut augmenter les charges (éclairage, travail de nuit...). Mais, la différence d'efficacité dépend de la nature des matières actives. Dans la région Itasy, toutes les nouvelles matières actives testées sont efficaces contre *Spodoptera frugiperda* (taux 100%), sauf l'imidaclopride+lambda-cyhalotrine dont le taux d'efficacité réduit à 34 %, après neuf (9) jours de traitement. Et dans la région Bongolava, toutes les matières actives utilisées sont efficaces (taux 100%) à la fin de l'observation (9 jours après traitement) faute de surdosage des produits.

Du côté rendement, l'acetamipride+abamectin donne le plus de production (2,6 t/ha) et la parcelle non traitée est la moins productive (0,8 t/ha). Par rapport au rendement potentiel de la variété IRAT 200 (environ 5 t/ha), les rendements obtenus sont faibles. Mais, en tenant compte des dégâts sur la parcelle et la sécheresse, les rendements obtenus issus de la parcelle traitée sont significatifs.

Du point vue économique, les matières actives efficaces tels que l'indoxacarbe, l'emamectine benzoate, le mélange d'acetamipride+emamectine benzoate et le mélange d'acetamipride +abamectin, sont économiquement intéressantes et aptes à la vulgarisation car leur rapport valeur coût RVP sont tous supérieurs à 2.

Dans le cadre d'homologation des produits efficaces contre la chenille légionnaire d'automne à Madagascar, ces produits efficaces sont prêts pour cette formalité.

Bref, si ces matières actives sont efficaces contre *Spodoptera frugiperda*, à quelle fréquence de traitement que la chenille légionnaire d'automne peut résister à ces produits pour éviter le phénomène de résistance à ces produits ?

BIBLIOGRAPHIE

1. **ALI H., HAOUGUI A., BASSO A., AMINOU S., PATRICK D., 2016.** Alerte *Spodoptera frugiperda* une nouvelle chenille, ravageur du maïs. p.3.
2. **ANCOS, 2016.** Registre des espèces et variétés exploitées dans le « système des semences de qualité déclarée » dans le sud de Madagascar, 2^{ème} édition, Ministère de l'agriculture. p.77.
3. Arrêté n° 7450 / 92 portant modalités de contrôle et d'échantillonnage des produits agropharmaceutiques.
4. **BANQUE MONDIALE, 2011.** Marchés agricoles à Madagascar : contraintes et opportunités. Rapport No. 66028-MG /Madagascar/ Étude économique et sectorielle (ESW). P.133.
5. **BENJAMIN P. et NICOLAS B., 2016.** Faut-il traiter le matin, le soir ou la nuit ; in Arvalis-institut du végétal terre-Media. p.1.
6. **CABI, 2017.** Scientists discover new crop-destroying Armyworm is now "spreading rapidly" in Africa. Wallingford, UK: CABI. p.8.
7. **Décret n° 92-473,** Portant réglementation des produits agropharmaceutiques
8. **Décret n° 95 - 092,** Instaurant les sanctions relatives aux infractions sur la commercialisation, la distribution et l'utilisation des pesticides.
9. **FAO/OMS. 2010.** Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides. Directives pour l'homologation des pesticides.44p
10. **Décret n° 99-798.** Portant homologation des agents de lutte biologique et des biopesticides et réglementant leur commercialisation et leur utilisation.
11. **DRISS M., 1997.** L'étude de la variation interspécifique de la vitesse spécifique de croissance et modélisation de l'effet des attributs morphologiques, physiologiques et d'allocation de biomasse. Thèse présentée au département de biologie en vue de l'obtention du grade de Docteur ès sciences (PhD), Faculté des Sciences-Université de Sherbrooke. p. 178.
12. **EDMEADES G. et DAYNARD T. 1979.** The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plants. p.16.
13. **FAO, 2017.** Cycle biologique de la chenille légionnaire d'automne (en Amérique latine). p. 1.
14. **FAO et PAM. 2015.** Evaluation des récoltes et de la sécurité alimentaire à Madagascar Rapport spécial. Mission FAO/PAM. p.52.
15. **FAO, 2017.** Note d'orientation de la FAO sur la Chenille légionnaire d'automne en Afrique. p.8.
16. **FAO, 2017.** Question/Réponse sur la chenille légionnaire d'automne.p.4.
17. **FARE Y., 2004.** Expérimentations agronomiques et compréhension des systèmes de production. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur

- agronome. Département Agriculture, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo-Madagascar. p.121.
18. **HENDERSON F., et TILTON W., 1955.** Tests with acaricides against the brown wheat mite, J. Econ. Entomol. 48:157-161.
 19. **HERINANDRASANA M., 2014.** Pratique de la maïsiculture (*zea mays*) chez quelques paysans de la commune rurale d'Analavory de la région d'Itasy. Mémoire en vue de l'obtention du Certificat d'Aptitude Pédagogique de l'Ecole Normale (CAPEN), Département de formation initiale et scientifique, Ecole Normale Supérieure, Université d'Antananarivo. p. 111.
 20. **HRUSKA AJ, GOULD F, 1997.** Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolata* (Lepidoptera: Pyralidae): impact of larval population level and temporal occurrence on maize yield in Nicaragua. Journal of Economic Entomology, 90(2):611-622; 27.
 21. **HUIS AVAN, 1981.** Integrated pest management in the small farmer's maize crop in Nicaragua. Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen, 81(6):221 p.
 22. **INSTAT, 2010.** Enquête auprès des Ménages. Policy brief. p22.
 23. **MAIGA I., NDIAYE M., GAGARE S., 2017.** La chenille d'automne *Spodoptera frugiperda*, nouveau ravageur du maïs en Afrique de l'Ouest, a atteint le Niger. Bulletin spécial. p.7.
 24. **MADOUGOU G., HAOUGUI A., ALI B., AÏSSA K., PATRICK D., PATRICK, SALISSOU O., 2017.** La Chenille légionnaire du maïs *Spodoptera frugiperda*. p.4.
 25. **MAIGA I., 2017.** Note d'informations générales sur la noctuelle du maïs *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith : Un ravageur redoutable et très polyphage à surveiller. p.16.
 26. **M'BAREK B., MOUNIR N- MOHSEN S., 1996.** Effet d'un déficit hydrique, survenant à différents stades de développement du blé sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. p.8.
 27. **Ministère de l'Agriculture, 2010.** Annuaire statistique agricole du 2009 à 2010. p.109.
 28. **MPAE, 2017.** Fiche technique pour la lutte contre la chenille légionnaire d'automne. p.1.
 29. **ONE, 2007.** Tableau de bord environnemental Régions Itasy et Bongolava. p.176.
 30. **PELISSARD J. ET DOMINIQUE M., 2016.** L'usage raisonné des produits phytosanitaire. Association des maires de France et Association des Techniciens Territoriaux de France. p.28.
 31. **PGPP. 2014.** Plan de gestion des parasites et des pesticides. 82p
 32. **PÜNTENER W., 1981.** Manuel pour essai de plein champ. Protection des végétaux Division Agriculture, Ciba-Geigy SA. p.100.
 33. **RAKOTOARISOA F., 2016.** Effet du système de culture sous couvert végétal sur le comportement des champignons mycorhiziens en vue de lutter contre *Striga asiatica* (L.) Kuntze sur la culture de maïs variété IRAT 200. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention

- d'un diplôme de master II, département de biologie et écologie végétales, Faculté des Sciences-Université d'Antananarivo-Madagascar. p. 64.
34. **RAKOTONIRINA H., 2005.** Les cultures associées comme moyen de protection du maïs contre *Sesamia calamistis*. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme d'Etudes Approfondies en Foresterie, Développement. Département Eaux et Forêts, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo-Madagascar. p.110.
 35. **RANAIVOTSILAVO H., 2017.** Effets des fertilisants chimiques et du système sous couvert végétal sur l'attaque de *striga asiatica L. Kuntze* aux cultures de maïs *Zea mays L* variété plata à Kianjasoa. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme de master II, Domaine Sciences et technologies, Université d'Antananarivo-Madagascar. p.76.
 36. **RANDRIANARISOA A., 2008.** Comparaison entre conduite « Ady Gasy » et conduite chimique en Système de culture paysannat du haricot sec « *phaseolus vulgaris* »: cas des Hautes Terres de Madagascar. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur agronome. Département Agriculture, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo. p.88.
 37. **RAKOTOMALALA H. 2016.** Mise en place de l'approche mus sur le système d'adduction d'eau d'Ampizaratany – Ambararatabe : utilisation du logiciel epanet pour la simulation de son fonctionnement. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur hydraulique au grade de master II, Département Hydraulique, Ecole Supérieure Polytechnique, Université d'Antananarivo. p. 141.
 38. **RIOU C., 1993.** L'eau et la production végétale. Sècheresse. p.83.
 39. **ROBINSON J., et TREHARNE K., 1985.** Exploited plants : Maize in Biologist n° 32, BRISTOL. p 199 – 270 (1)
 40. **RAMIREZ G., BRAVO M., LANDERAL C., 1987.** Development of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) under different conditions of temperature and humidity. Agrociencia, 67:161-171.
 41. **SERVICE DE LA PHYTOPHARMACIE.** Textes règlementaires sur les produits agropharmaceutiques à Madagascar. p.33.
 42. **RAZAFIMAHATRATRA, 2017.** Support de Cours Culture Vivrière : Le maïs. p.11.
 43. **VAN HUIS, 1981.** 1^{er} Conseiller principal du DFPV à AGRHYMET et Chercheur de l'Université de Wageningen. p.8.
 44. **WERNER P., 1981.** Manuel pour essai de plein-champs (Protection des végétaux). Division Agriculture, Ciba-Geigy SA. p.100.

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Le maïs	b
Annexe 2 : Fiche technique des produits	g
Annexe 3: Procédure d'homologation.....	i
Annexe 4: Données météorologique de la région Itasy et Bongolava (Station Antanarivo).....	n
Annexe 5: ANOVA pour les efficacités des produits par jours d'observation	n
Annexe 6: ANOVA pour les rendements obtenus	q
Annexe 7: Prix r référentiel des produits	r
Annexe 8 : Charge en intrant de toutes les modalités pour une surface de 1 ha	s
Annexe 9: Charge en main d'œuvre pour une surface de 1 ha.....	t
Annexe 10: Calcul des revenus pour une surface de ha	u
Annexe 11: Chronogramme d'activité	v

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Plants de maïs	c
Photo 2: Inflorescence mâle du maïs.....	d
Photo 3: Inflorescence femelle du maïs	e
Photo 4: Coupe schématique d'un grain de maïs.....	f

Annexe 1: Le maïs

• Généralités

Sous sa forme actuelle, le maïs n'existe pas à l'état sauvage. Son origine a longtemps été sujette à controverses. Parmi les hypothèses avancées sur cette origine, seules deux semblent pouvoir être retenues : la première proposant soit que le tēosinte actuel serait l'ancêtre sauvage du maïs, soit qu'un téosine primitif serait à 1a fois l'ancêtre du maïs et du téosinte, la seconde proposant qu'une forme disparue de maïs vêtu soit l'ancêtre maïs moderne avec le téosinte comme forme mutante de ce mais vêtu. Aujourd'hui, on considère la première hypothèse comme la plus probable car la plus solidement étayée, mais malgré tout, le doute subsiste

Le maïs est une céréale originaire d'Amérique tropicale. Il s'est propagé rapidement à travers le monde grâce aux navigateurs du XVI^{ème} et XVII^{ème} siècle. Ce sont les Espagnols et les Portugais qui ont introduit le maïs en Afrique occidentale, aux Indes orientales et en Asie. Et à partir XVIII^{ème} siècle que le maïs a été introduit à Madagascar.

• Plants de maïs

Systématique

Règne	: Plantae
Sous Règne	: Tracheobionta
Division	: Magnoliophyta
Classe	: Liliopsida
Sous Classe	: Commelinidae
Ordre	: Cyperales
Famille	: Poaceae
Sous Famille	: Andropogonoidae
Tribu	: Maydeae

La tribu des Maydeae comprend huit genres, dont cinq asiatiques (Coix, Polytoca, Sclerachne, Chionachne, Trilobachne) de faible importance économique et trois américaines (Zea, Tripsacum et les tēosintes, Zea sauvages ou Euclaena). Le genre *Zea* ne comprend qu'une seule espèce: *Zea mays L.*

Espèces, variétés

L'espèce *Zea mays* est très riche de variétés cultivées qui possèdent toutes 2n=20 chromosomes. Les variétés sont généralement réparties en groupes d'après certaines de leurs caractéristiques : précocité, couleur du grain, texture du grain, etc. Certaines classifications adoptent aussi comme

critères : la forme des grains (arrondie, déprimé en dent de cheval, pointu), la dimension des grains et la consistance (dure, tendre, dure à la périphérie mais tendre à l'intérieur).

Parmi les variétés cultivées à Madagascar : IRAT 200, IRAT 218, IRAT 290, MEVA, VOLASOA, ...

Dans le monde une multitude de variété existe et on peut les grouper selon leurs caractéristiques et leurs destinations :

- Le maïs vitreux (semoules)
- Le maïs corné, cultivé particulièrement en Argentine et aux Etats-Unis, utilisé par l'industrie semoulières (corn flakes)
- Le maïs denté, caractéristique en particulier du Corn Belt américain
- Le maïs doux (alimentation humaine)
- Le maïs farineux (peu cultivé)

Plus récemment sont apparues d'autres variétés »

- Des maïs riches en huile (l'huile de maïs est appréciée dans l'alimentation humaine par la présence d'antioxydants qui la rendent plus stable) ;
- des maïs cireux (forte teneur en amylopectine, utilisés par certaines industries agroalimentaires ou papeteries comme épaisseur) ;
- des amylomaïs (forte teneur en amylose, utilisée par l'industrie pour la production de films pour l'emballage des aliments) ;
- des maïs riches en lysine.

Morphologie

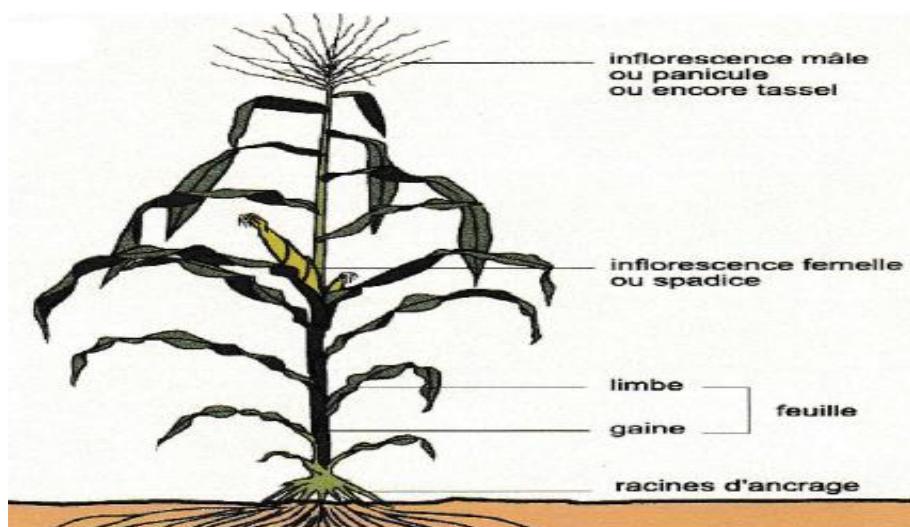


Photo 1: Plants de maïs

Les Racines

Elles sont de type fasciculé. Le système racinaire comprend un très grand nombre de racines adventives qui naissent sur les nœuds situés à la base de la tige, formant des couronnes successives, tant sur les nœuds enterrés que sur les premiers nœuds aériens, dans une zone où les entre-nœuds sont très courts.

La tige

A la différence des autres graminées, le maïs ne talle généralement pas. La tige est donc unique, pleine, lignifiée et formée de plusieurs entre-nœuds d'une vingtaine de centimètres séparés par autant de nœuds. Les entre-nœuds de la base sont plus courts. Cette tige est remplie d'une moelle sucrée. Elle mesure de 1,5m à 3,5 m de haut et 5 à 6 cm de diamètre.

Les feuilles

Les feuilles sont engainantes, elles s'attachent sur la tige au niveau des nœuds. Elles sont formées d'une gaine et d'un limbe plat entre le limbe et la gaine on distingue une petite ligule

Inflorescences

Le maïs est une plante monoïque. Un même individu porte la floraison mâle et la floraison femelle. L'inflorescence mâle est séparée des inflorescences femelles. L'inflorescence mâle ou panicule mâle ou encore "tassel" en anglais est terminale et est donc située au sommet du plant. Elle est composée d'épillets, chaque épillet comporte 2 glumes, 2 fleurs mâles ayant chacune 2 glumelles et 3 étamines.

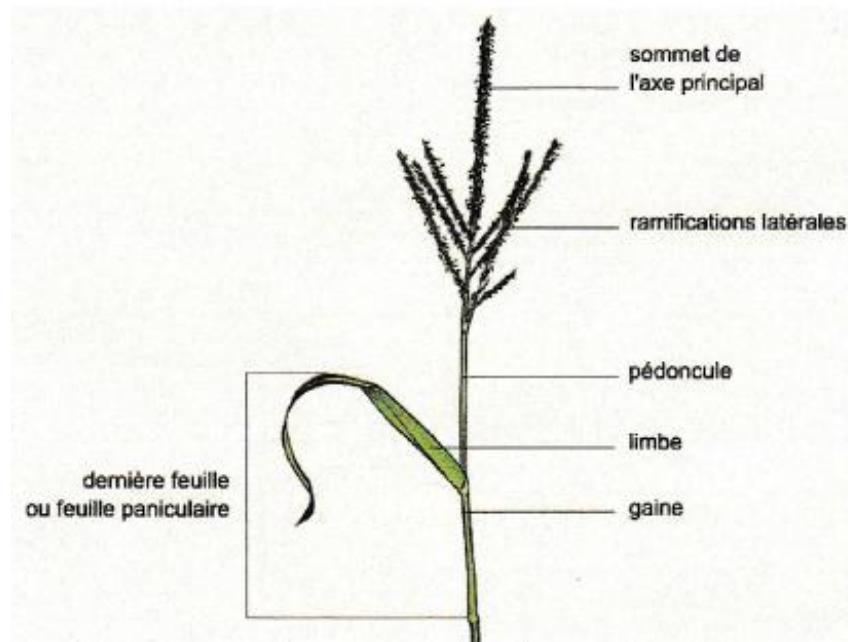


Photo 2: Inflorescence mâle du maïs

Les inflorescences femelles, quant à elles, sont issues des ramifications de la tige prenant naissance aux nœuds. Les épis femelles, au nombre de 1 à 4, sont constitués par :

- des stigmates qu'on appelle « soie ou barbe »
- des spathes c'est-à dire des enveloppes composées de 5 à 20 éléments.
- un axe qu'on appelle « rafle »

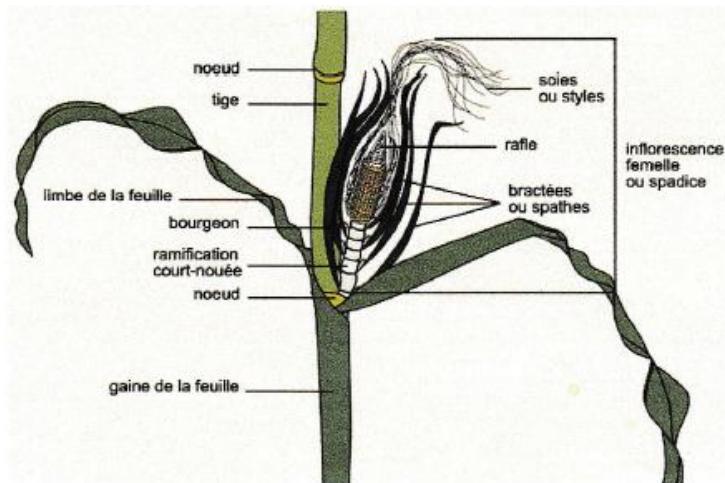


Photo 3: Inflorescence femelle du maïs

Le fruit

Comme chez la plupart des Poacées (Graminées), le fruit des céréales est un fruit sec et indéhiscent dont les téguments sont soudés aux téguments de la graine (qui proviennent des parois de l'ovaire), le grain est donc un caryopse. Chaque grain est disposé en rangées verticales de 8 à 20 selon les variétés) le long de la rafle de l'épi.

Les grains sont très variables avec les variétés. Quant à leur forme, à leur couleur (blanc, jaune roux, doré, violet, noir), à leur taille, à leur espèce (lisse ou ridé), il est composé d'une enveloppe, d'un albumen, d'un cotylédon et d'un embryon. Un caryopse nu, sans glumelle est formée de 3 parties : le tégument (ou enveloppe), le germe, l'albumen.

Le tégument est formé du péricarpe qui correspond aux téguments du fruit, d'une assise protéique ou couche d'aleurone qui représente la première assise constitutive de l'albumen. Il constitue le son, riche en cellulose et en protéines.

Le germe est formé de l'embryon, d'un cotylédon (scutellum). Il constitue un organe de réserve, riche en protéines et en lipides pour la jeune plantule. L'albumen constitue la majeure partie du grain. Il est constitué de cellules remplies de grains d'amidon.

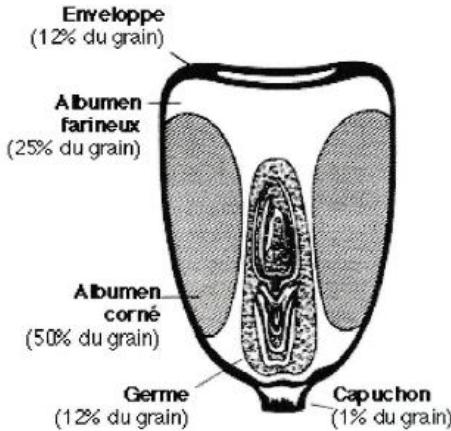


Photo 4: Coupe schématique d'un grain de maïs

- **Physiologie**

L'évolution agricole du maïs varie de 90 à 180 jours en fonction de la variété et de la température moyenne du milieu. Durant un cycle cultural, le maïs passe par les phases suivantes :

Phase de germination

Le grain gonfle sous l'influence de l'humidité et au bout de 2 à 3 jours après le semis, les radicules commencent à apparaître ainsi qu'un premier niveau de racines secondaires dites « séminales ». Au bout de 3 à 4 jours après le semis, une petite tige sort du grain et se développe vers la surface du sol; elle forme un manchon ou coléoptile, contenant les premières feuilles. En même temps, une couronne de racines définitives apparaît à base de la coléoptile. La levée se déroule en général de 8 à 10 jours après le semis.

Phase de croissance:

De la levée de l'apparition des inflorescences mâles, la croissance du maïs est lente, ce stade dure plus ou moins longtemps suivant les variétés, la température (ambiante) et l'état d'humidité du sol. A environ 4 à 5 semaines après le semis, la hauteur du maïs peut atteindre 10 à 15 cm de hauteur et à environ 60 jours, elle est de 50 à 60 cm.

Phase de floraison:

Dès que la croissance est terminée, l'inflorescence mâle apparaît, soit 70 à 95 jours après semis. Quelques jours après, les inflorescences femelles sont prêtes pour la fécondation, soit 5 à 8 jours après l'apparition des inflorescences mâles.

Phase de fécondation :

Elle a lieu 5 à 10 jours après l'apparition des inflorescences mâles.

Phase de maturation

Le grain de maïs passe par plusieurs stades :

- Stade laiteux : la taille définitive est atteinte mais le contenu reste en grande partie liquide
- Stade pâteux : avec un contenu plus épais mais le grain s'écrase encore facilement entre les doigts
- Stade pâteux dur : le grain se durcit mais il peut encore être rayé à l'ongle
- Stade vitreux : le grain ne se raye plus d l'ongle, les feuilles et les spathes se dessèchent

A maturité complète, les grains ont une humidité inférieure à 35 % et la plante est en phase de dessiccation.

Annexe 2 : Fiche technique des produits

- **AGRIMETRINE 24EC**

AGRIMETRINE 24 EC est un insecticide composé de 240 g/l EC de la cyperméthrine (famille des pyréthrinoïdes) agissant sur l'insecte par contact et par ingestion. L'insecticide tue une large variété d'insecte particulièrement les lépidoptères mais également les coléoptères, les diptères, les hémiptères et d'autres catégories sur les fruits dont les agrumes, les vignes, les légumes, le colza, les céréales, le maïs, le haricot, le soja, le coton, le café et le riz. Le délai d'attente est de 15 jours pour les crucifères et vigne, 7 jours pour la tomate et 3 jours pour le poivron. Ce produit est commercialisé sous formulation liquide dont la formule recommandée pour les chenilles et les pucerons est de 250 ml /ha (AGRIVET, 2017).

- **CORRIDA 52 SC**

CORRIDA 52 SC est un insecticide systémique qui agit par contact, ingestion et inhalation et composé de 36g/l de Lambdacyhalotrine (famille des pyréthrinoïdes) et de 16 g/l SC de l'Acetamipride (famille des néonicotinoïdes). Ce produit est utilisé pour contrer les insectes piqueurs suceurs (puceron, mouche blanche, thrips, cicadelle) et les chenilles mineuses. Après application, ce produit continue de protéger les cultures de 2 à 3 semaines. L'acetamipride est utilisé pour lutter contre les piqueurs suceurs alors que la lambdacyhalotrine utilisé pour lutter contre les chenilles défoliarices. Le délai d'attente est de 14 jours avant récolte. Ce produit est commercialisé sous formulation liquide dont la formule recommandée est de 15 ml / 15 l d'eau (AGRIVET, 2017).

- **COTAC 1.9 % EC**

COTAC 1.9 % EC est un insecticide polyvalent contre divers chenilles composé de 1.9 % EC de Emamectine Benzoate et agissant par contact et par ingestion. Ce produit arrive à pénétrer dans les tissus de la feuille par mouvement translaminaire et paralyse les lépidoptères. Ces derniers arrêtent de s'alimenter quelques heures après ingestion et meurent en 2 à 4 jours. Ce produit est utilisé pour lutter contre les lépidoptères sur les légumes, le coton, le tabac, le maïs, etc. Il est commercialisé sous formulation liquide dont la dose est de 500 ml / ha.

- **CYAMID 175 SC**

CYAMID 175 SC est composé de 125 g/l d'Imidaclopride (famille des chloronicotinyles) et de 50 g / l SC de Lambdacyhalotrine (famille des pyrethrinoïdes) agissant par contact et par ingestion sur les insectes. C'est un insecticide systémique à large spectre qui peut continuer de protéger les cultures sur une période de 2 à 4 semaines. Par action systémique, l'Imidaclopride présente un large spectre d'efficacité en particulier sur les insectes piqueurs suceurs, les mineuses et certains coléoptères. Tandis que Lambdacyhalotrine est principalement contre les Chenilles. Le produit est commercialisé sous formulation liquide dont les doses recommandées sont 300 ml/ha pour les maraîchages et 500 ml pour les arbres fruitiers. Le délai d'attente est de 15 jours avant récolte (AGRIVET et IPROCHEM, 2017).

- INDOX 150 SC

INDOX 150 SC est composé de 150 g/l SC de l'Indoxacarbe. C'est un insecticide de contact, ovicide et larvicide à large spectre sur tous les stades larvaires. C'est un insecticide appartenant à la famille des oxadiazines agissant par contact et ingestion sur les lépidoptères. L'insecte exposé au produit cesse de s'alimenter, présente des mouvements désordonnés et meurt par paralysie. Ce produit est commercialisé sous formulation liquide dont la dose recommandée est de 200 ml/ha. Le délai d'attente est de 3 jours avant récolte (AGRIVET et IPROCHEM, 2017).

- KUNG FU B 5 EC

KUNG FU B 5 EC est un insecticide à large spectre composé de 5 % EC de Lambdacyhalotrine (famille des Pyrethrinoïdes) agissant par contact et par ingestion sur les larves de lépidoptères et de coléoptères. Ce produit est commercialisé sous formulation liquide dont les doses recommandées sont 250 à 300 ml / ha pour les céréales, 250 à 300 ml / ha pour les légumes, 25 à 50 ml / ha pour les agrumes et les vignes.

- MORTAK 1.8 % EC

MORTAK 1.8 % EC est composé de 18 g/ l d'Abamectin. C'est un acaricide pour lutter contre les acariens de la tomate et des autres arbres fruitiers. Il est commercialisé sous formulation liquide dont la dose recommandée est 500 à 750 ml / ha pour les légumes. Le délai d'attente est de 25 jours avant récolte (AGRIVET, 2017)

- NINJA 20 SP

NINJA 20 SP est un insecticide systémique à action ovicide, larvicide et adulticide composé de 200 g/ l SP d'Acetamiprid agissant par contact et par ingestion. Par son action systémique, ce produit arrive à protéger les plantes sur une longue période (au moins 2 semaines) et à empêcher une réinfection rapide. C'est un insecticide commercialisé sous formulation poudre mouillable dont la dose recommandée est de 3 à 6 g / l d'eau. Le délai d'attente est de 10 jours avant récolte (AGRIVET et IPROCHEM, 2017).

Annexe 3: Procédure d'homologation

- **Formalités**

Dossier

Les demandes d'autorisation d'expérimentation, d'autorisation provisoire de vente et d'homologation commerciale doivent être déposées auprès du Ministère chargé de l'Agriculture. Les dossiers nécessaires sont énumérés dans le décret n° 92-473, Portant réglementation des produits agropharmaceutiques. Les données requises à l'appui d'une demande d'homologation doivent couvrir tous les aspects pertinents du produit tout au long de son cycle de vie. Elles doivent comprendre l'identité et les propriétés physiques et chimiques de la matière active et de la formulation du produit pesticide, les méthodes d'analyse, la toxicité pour l'homme et l'environnement, les étiquettes et les utilisations proposées, les fiches de sécurité, l'efficacité des applications ou des utilisations proposées, les résidus découlant de leur utilisation, la gestion des emballages et l'élimination des déchets du produit.

- Pour les biopesticides, les dossiers exigés sont :
- un dossier concernant l'organisme nuisible à combattre
- un dossier relatif à la matière active
- un dossier sur le produit formulé
- un dossier relatif au contrôle de la qualité du produit formulé
- un dossier sur l'identification des dangers potentiels

Droit et redevance

Les frais résultant de l'application des procédures d'homologation sont à la charge des demandeurs. Les frais inhérents aux procédures de contrôle, notamment les coûts d'analyse, sont à la charge des opérations concernés. Le coût d'homologation est 75euros par produit. Le coût expérimentation est à voir sur place en fonction lieu d'implantation essais.

- **Réalisation pratique**

Expérimentation

Sous contrôle des services officiels (DPV, Sociétés d'Etat spécialisées), l'expérimentation est prévue pour une durée de 2 à 4 années renouvelables (ou 2 à 4 essais) 1 à 2 années (ou essais) pour les produits dont la matière active est déjà utilisée. L'expérimentation est faite pour vérifier l'efficacité biologique d'un pesticide. Ils ont pour objet de fournir des données suffisantes pour permettre une évaluation du niveau, de la durée et de l'uniformité du contrôle ou de la protection ou des effets attendus du produit formulé.

En principe, un essai doit porter sur trois objets:

- le produit testé ;
- le produit de référence ;

- un témoin non traité.

Le nombre et type d'essais est réparti comme suit :

- première expérimentation : un (1) essai en milieu contrôlé avec des répétitions ;
- deuxième expérimentation : un (1) essai en milieu contrôlé et un (1) essai dans les conditions d'utilisation publique ;

Les modes opératoires qui servent à l'obtention de données à l'appui de l'homologation d'un antiparasitaire varient selon les caractéristiques du produit, la nature de sa formulation, l'organisme nuisible visé, le profil d'emploi du produit, les méthodes et le moment de son application ainsi que selon de nombreux autres facteurs.

Plan d'expérience

Il faut préciser les objectifs des essais ainsi que les critères d'évaluation des résultats. Choisir judicieusement les traitements expérimentaux, en fonction des objectifs. Les essais d'efficacité devraient être ainsi conçus que l'analyse statistique des résultats puisse assurer que tout écart est attribuable aux traitements pesticides. Là où c'est possible, le nombre de sous-échantillons expérimentaux doit être suffisamment grand pour que le niveau de confiance soit de 95 % (les écarts entre les sujets traités et les témoins se révèlent statistiquement significatifs au niveau de 5 %). Réduire au minimum le nombre de traitements au cours d'un essai : plus il est élevé, plus la superficie traitée doit être grande et plus les écarts des variables non contrôlées sont larges, ce qui abaisse la précision des comparaisons entre les traitements. Toutefois, le nombre de traitements et de sous-échantillons doit être assez important pour permettre une bonne analyse statistique. Outre les parcelles non traitées, les traitements essentiels utilisent le ou les produits à évaluer et un produit de référence (c'est-à-dire un produit déjà homologué et utilisé dans le commerce).

Substances à évaluer

C'est généralement la préparation que le demandeur cherche à faire homologuer. Dans la mesure du possible, l'essai comprendra un produit de référence. Si la préparation doit être mélangée à un ou à plusieurs autres produits ou à des adjuvants de pulvérisation, les résultats des essais doivent confirmer leur compatibilité, l'efficacité du mélange et son innocuité (pour l'hôte).

Doses

Expérimenter le pesticide à diverses doses, au-dessus et au-dessous de la dose proposée pour usage commercial. En délimitant un intervalle de doses, on vise un double but : (1) faire en sorte que la dose utilisée est efficace sans être excessive; (2) autoriser l'emploi d'autres stratégies de lutte antiparasitaire, p. ex. les programmes de lutte intégrée.

Exprimer la dose (quantité de matière active, MA) en grandeurs métriques, p. ex. en kilogrammes ou en grammes par hectare (kg ou g MA/ha), en grammes pour 100 litres (g MA/100 L).

Sélection des parcelles expérimentales

Les conditions climatiques et pédologiques ainsi que les pratiques agricoles peuvent influer considérablement sur l'efficacité d'un antiparasitaire. Les essais d'efficacité doivent avoir lieu dans des régions géographiques convenables où le produit est destiné à être utilisé. Généralement, les expérimentations sont pratiquées sur des parcelles destinées à cet effet.

Des études en serre et en laboratoire peuvent être effectuées, dans les conditions convenables. Un certain nombre de facteurs pédologiques comme la texture, l'humidité, la fertilité, la teneur en matière organique et le pH, peuvent influer de façon mesurable sur l'efficacité du produit, notamment si le traitement est appliqué au sol. En tenir compte dans la sélection des parcelles et les enregistrer.

Taille des parcelles

Elle peut varier selon la combinaison de la culture et du ou des organismes nuisibles, le matériel d'application utilisé et la nature des données recherchées. Chaque parcelle doit être suffisamment grande pour que les résultats soient significatifs et que les échantillons soient représentatifs des effets des variables ou des facteurs mesurés.

Techniques d'application

L'efficacité du pesticide peut souvent subir l'influence des modalités d'application. Les méthodes d'application expérimentale et celles du mode d'emploi doivent donc concorder. Il faut tenir un registre détaillé du matériel d'application; du volume du support; de la localisation du pesticide; des dates du traitement et de la récolte; du moment du traitement relativement au nombre de jours avant ou après l'ensemencement, la plantation, la levée ou la récolte; du stade de croissance de la culture au moment du traitement; du stade de croissance ou du moment prévu de sortie de l'organisme nuisible au moment du traitement; de la durée d'exposition au pesticide; des intervalles de temps entre le traitement et l'observation, ordinairement désignés par le nombre de jours après le traitement (JAT).

Analyse de conformité

Des études éco toxicologie, toxicologie et biologie en vue de déceler les impacts de l'utilisation des pesticides sur l'homme et l'environnement. On évalue aussi les résidus des pesticides. En outre, on pratique l'analyse de conformité physico-chimique du produit en comparant les données émanant des expérimentations et des données original du produit.

Etude de dossier

Après la différente étude, le dossier est remis au Comité d'homologation qui va prendre la décision sous forme de rapport présentée au Ministère chargé de l'Agriculture. Selon la destination et l'utilisation de produit, cette décision peut être :

- Un avis favorable à une autorisation ou à l'homologation ;
- Un avis d'ajournement avec mention pour le demandeur de fournir les compléments d'informations requis ;
- Une autorisation provisoire de vente assortie, le cas échéant, de conditions particulières ;
- Une homologation définitive.

La décision motivée prise par le Comité est notifiée au demandeur par le Ministère chargé de l'Agriculture. Une demande de révision de la décision peut être présentée au Ministère chargé de l'Agriculture dans un délai de deux mois après notification.

- **Décision d'homologation**

Il s'agit de l'une des étapes les plus importantes dans le processus d'homologation; elle doit être confiée à des experts qualifiés et se fonder sur des critères et procédures bien établis se rapportant à l'utilisation prévue pour le pesticide. Le processus peut donner lieu à une homologation qui peut être provisoire ou finale, avec ou sans restrictions ou conditions, ou à un refus d'homologation. Généralement, l'utilisation d'un pesticide est approuvée uniquement pour des applications spécifiques c'est-à-dire pour la lutte contre un/des ravageur/s spécifiques sur certaines cultures données ou bien pour des applications spécifiques afin de lutter contre des organismes nuisibles ou des vecteurs de maladies.

Critères d'homologation d'un pesticide

Au moment d'accorder ou non une homologation, le Bureau des pesticides doit prendre ses décisions sur la base de critères juridiquement définis. Un pesticide ne peut être homologué que lorsque la formulation présente les caractéristiques suivantes :

- qu'il est suffisamment efficace vis-à-vis de l'organisme nuisible visé
- qu'il n'est pas phytotoxique dans les conditions normales d'utilisation
- qu'il n'est pas nocif pour l'homme et la faune non cible dans les conditions normales d'utilisation
- qu'il n'a pas d'influence inacceptable sur l'environnement
- Si les composants, les impuretés et les résidus du pesticide peuvent être déterminés par des méthodes d'essais et d'analyse officiellement reconnues.
- Si, pour des produits agricoles visés pour l'homologation et destinés à la consommation humaine, des limites maximales de résidus ont été déterminées.

Autorisation provisoire de vente APV

Autorisation Provisoire de Vente (A.P.V.) accordé aux produits ayant déjà été expérimentés et si la plupart des données requises afin d'évaluer les conditions indiquées ci-dessus sont fournies. Cependant, des informations complémentaires sont considérées nécessaires afin de pouvoir répondre à ces conditions d'une manière satisfaisante. Elles concernent principalement des données qui ne peuvent être fournies que lorsque le pesticide a été appliqué à une assez grande échelle et dans des conditions réelles d'utilisation. Cette autorisation est valable pour une période de 4 ans non renouvelable au cours de laquelle des observations se rapportant aux éventuels impacts du produit sur la santé humaine et l'environnement sont réalisées. Dans un délai de deux (2) mois après l'expérimentation de l'autorisation provisoire de vente (A.P.V.), la décision doit être notifiée au demandeur. Le demandeur après l'autorisation est engagé à ne mettre le produit sur le marché, sous le nom commercial indiqué, qu'une spécialité définie par :

- son nom commercial ;
- le nom du détenteur de la marque ;
- le numéro d'autorisation ou d'homologation ;
- la composition de la spécialité ; et en spécifiant :
- les usages, doses et mode d'emplois autorisés ;
- les précautions à prendre par les utilisateurs et les contre-indications spécifiées dans la décision d'autorisation.

Homologation définitive

L'homologation définitive est délivrée sur demande, après phase APV. Elle est donnée pour une durée indéterminée par le Chef de Service de la protection des végétaux après avis favorables des membres du Comité d'homologation si aucun problème majeur lié à la santé ou à l'environnement au bout de 4 années n'a été signalé. Elle reste révisable, particulièrement quand des risques nouveaux sont à craindre, auquel cas elle peut être suspendue ou retirée après examen du dossier dressé à cet effet par le Service de la Protection des Végétaux. Les produits sous autorisations et homologués sont respectivement inscrits sur des registres officiels tenus au Ministère chargé de l'Agriculture.

Annexe 4: Données météorologique de la région Itasy et Bongolava (Station Antanarivo)

Température et Pluviométrie moyenne durant cinq (5) dernières années (2013 à 2017)

Mois	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Pluviométrie (mm)	228, 2	267,4 4	171,4 2	25,4 6	14,7 4	7,52	9,92	3,84	6,18	46,0 2	129,6 6	267, 1
Température Max (°C)	26,4 6	26,44	26,6	25,1	22,3 6	20,5 2	20,1 2	21,1 4	23,2 8	26,1 4	27,3	27,2 6
Température Min (°C)	17,5 2	17,98	17,52	15,8	13,6 2	11,7 4	10,7 6	11,3	12,1	14,6 2	16,28	17,6
Température Moy (°C)	21,9 9	22,21	22,06	20,5	17,9 7	16,1 3	15,4 4	16,2 2	17,6 9	20,3 8	21,79	22,4 3
Pluviométrie (mm)	228, 2	267,4 4	171,4 2	25,4 6	14,7 4	7,52	9,92	3,84	6,18	46,0 2	129,6 6	267, 1
Température Moy (°C)	21,9 9	22,21	22,06	20,5	17,9 7	16,1 3	15,4 4	16,2 2	17,6 9	20,3 8	21,79	22,4 3

Source : Station météorologique Nanisana, 2017

Annexe 5: ANOVA pour les efficacités des produits par jours d'observation

- Site Analavory

Observation 1

Tableau d'analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	9	5818,167	646,463	11,592	< 0,0001
Erreur	20	1115,333	55,767		
Total corrigé	29	6933,500			

Avec intervalle de confiance de 95 %

Tableau de comparaison des moyennes

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
T3	100,000	A
T6	100,000	A
T2	100,000	A
T8	97,667	A
T7	91,333	A
T5	78,000	B
T10	73,333	B
T4	71,333	B
T1	70,000	B
T9	63,333	C

Observation 2

Tableau d'analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	9	5743,367	638,152	8,400	< 0,0001
Erreur	20	1519,333	75,967		
Total corrigé	29	7262,700			

Avec intervalle de confiance de 95 %

Tableau de comparaison des moyennes

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
T2	100,000	A
T3	100,000	A
T6	100,000	A
T7	100,000	A
T8	100,000	A
T10	100,000	A
T5	89,000	A
T4	86,333	A
T1	80,667	B
T9	55,000	C

Observation 3

Tableau d'analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	9	3028,700	336,522	7,557	< 0,0001
Erreur	20	890,667	44,533		
Total corrigé	29	3919,367			

Avec intervalle de confiance de 95 %

Tableau de comparaison des moyennes

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
T2	100,000	A
T3	100,000	A
T6	100,000	A
T7	100,000	A
T8	100,000	A
T10	100,000	A
T5	94,000	A
T4	89,000	A
T1	87,667	B
T9	67,000	C

Observation 4

Tableau d'analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	9	11748,000	1305,333	6,676	0,000
Erreur	20	3910,667	195,533		
Total corrigé	29	15658,667			

Avec intervalle de confiance de 95 %

Tableau de comparaison des moyennes

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
T2	100,000	A
T3	100,000	A
T6	100,000	A
T7	100,000	A
T8	100,000	A
T10	100,000	A
T5	88,000	A
T4	86,000	A
T1	75,000	B
T9	34,333	C

- **Site Tsinjoarivo**

Observation 1

Tableau d'analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	9	8981,467	997,941	3,564	0,009
Erreur	20	5600,000	280,000		
Total corrigé	29	14581,467			

Avec intervalle de confiance de 95 %

Tableau de comparaison des moyennes

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
T2	100,000	A
T7	95,333	A
T10	95,333	A
T3	94,333	A
T8	94,000	A
T5	69,000	B
T9	68,333	B
T1	64,000	C
T4	58,333	C
T6	52,667	C

Observation 2,3 et 4

Tableau de comparaison des moyennes

Traitement	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
	100,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Moyenne	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ecart-type de la moyenne	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Annexe 6: ANOVA pour les rendements obtenus

- Site Analavory

Rendements

Tableau d'analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	10	9,678	0,968	2,212	0,063
Erreur	20	8,749	0,437		
Total corrigé	30	18,428			

Avec intervalle de confiance de 95 %

Tableau de comparaison des moyennes

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
T3	2,923	A
T5	2,720	A
T10	2,523	A
T1	2,443	A
T6	2,287	A
T7	2,140	A
T8	2,103	A
T2	1,893	A
T4	1,500	B
T9	1,167	C
TEMOIN	0,800	C

Influence des dégâts sur la parcelle

Statistique descriptive

Statistique	Parcelle faiblement attaquée	Parcelle moyennement attaquée
Moyenne	2,205	2,083
Ecart-type de la moyenne	0,228	0,182

Table groupée

Dégât/nombre pieds attaqué	Rendement (t/ha)
Parcelle faiblement attaquée	2,20454545
Parcelle moyennement attaquée	2,0825

Tableau d'analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dégât/nombre pieds attaqué	1	0,106	0,106	0,167	0,686
Erreur	29	18,322	0,632		
Total corrigé	30	18,428			

Avec intervalle de confiance de 95 %

Tableau de comparaison des moyennes

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Parcelle faiblement attaquée	2,597	A
Parcelle moyennement attaquée	2,371	A

Annexe 7: Prix r référentiel des produits

Matières actives	Prix en Ariary par unité (gramme ou litre)
Indoxacarbe 150 SC	180 000
Emamectine benzoate	24 320
Acetamiprid	58,33
Imidaclopride+lambdacyhalotrine	25 400
Abamectin	29 400

Source : AGROBOXX Ankadinindry, 2017

Annexe 8 : Charge en intrant de toutes les modalités pour une surface de 1 ha

	Unités	Prix unitaire (Ar)	Besoin (Unité/ha)	Montant (Ar/ha)	Fréquence traitement	Montant total
PARCELLES TRAITÉES						
Semence	Kilogramme	3 200	15	48 000	1	48 000
Fertilisants						
Engrais chimiques	Kilogramme	1 600	50	80 000	1	80 000
Produits de conservation	Kilogramme	480	5,21	2 499,84	1	2 499,84
Produits phytosanitaires						
Indoxacarbe 150 SC (Indox)	Litre	180 000	0,25	45 000	2	90 000
Total des charges avec Indoxacarbe 150 SC						220 499,84
Emamectine benzoate 1,9 % EC (Cotac)	Litre	24 320	1	24 320	2	48 640
Total des charges avec Emamectine benzoate 1,9 % EC						179 139,84
Acetamiprid 20 SP + Emamectine benzoate 1,9 % EC (Ninja+Coatc)	Gramme et Litre	58,33 + 24320	100 + 0,5	17 993,33	2	35 986,67
Total des charges avec Acetamiprid 20 SP + Emamectine benzoate 1,9 % EC						166 486,51
Imidaclopride+lambdac yhalotrine 175 SC (Cyamid)	Litre	12 700	0,50	12 700	2	25 400
Total des charges avec imidaclopride+lambdac yhalotrine 175 SC						155 899,84
Acetamiprid 20 SP + abamectin 1,8 % EC (Ninja+Mortak)	Gramme et Litre	58,33 + 29 400	100 + 0,5	20 533	2	41 066
Total des charges avec NINJA 20 SP + MORTAK 1,8 % EC						171565,84
PARCELLE NON TRAITÉE (TEMOIN)						
Semence	Kilogramme	3 200	15	48 000	1	48 000
Fertilisants						
Engrais chimiques	Kilogramme	1 600	50	80 000	1	80 000
Produits de conservation	Kilogramme	480	5,21	2 499,84	1	2 499,84
Total						130 499,84

Source : Auteur

Annexe 9: Charge en main d'œuvre pour une surface de 1 ha

Itinéraires techniques	Période	Nombre de Main d'œuvre	Quantité de travail (hj) ⁴	Type de Main-d'œuvre	Montant (Ar)
PARCELLES TRAITÉES					
Labour	Janvier	Forfaitaire (Charrue)	2	Salarié	20 000
Semis	Janvier	4	4	Salarié	14 000
Démariage	Sans				
Sarclage 1 (chimique)	Février	4	4	Salarié	10 000
Sarclage 2 (manuel)	Février	8	8	Salarié	16 000
Engrais	Février	4	4	Salarié	14 000
Buttage	Mars	8	8	Salarié	28 000
Traitement phytos 1	Février	8	8	Salarié	32 000
Traitement phytos 2	Mai	4	4	Salarié	16 000
Récolte	Juin	Forfaitaire		Salarié	200 000
Transport	Juin	Forfaitaire(Motoculteur)		Salarié	30 000
Egrenage	Juin	Forfaitaire		Salarié	30 000
Conditionnement⁵	Juin	Forfaitaire		Salarié	100 000
Total					510 000
PARCELLE NON TRAITÉE (TEMOIN)					
Labour	Janvier	Forfaitaire (Charrue)	2	Salarié	20 000
Semis	Janvier	4	4	Salarié	14 000
Démariage	Sans				
Sarclage 1 (chimique)	Février	4	4	Salarié	10 000
Sarclage 2 (manuel)	Février	8	8	Salarié	16 000
Engrais	Février	4	4	Salarié	14 000
Buttage	Mars	8	8	Salarié	28 000
Traitement phytos	Sans				
Récolte	Juin	Forfaitaire		Salarié	200 000
Transport	Juin	Forfaitaire(Motoculteur)		Salarié	15 000

⁴ 1 hj (Homme-jour) correspond à huit (8) heures de travail

⁵ y compris les dockers

Egrenage	Juin	Forfaitaire	Salarié	8 000
Conditionnement	Juin	Forfaitaire	Salarié	32 000
Total				357 000

Source : Auteur

Annexe 10: Calcul des revenus pour une surface de ha

CONDUITES DE CULTURE	Indoxacar be 150 SC	Emamectine benzoate 1,9 % EC	Acetamiprid e 20 SP + emamectine benzoate 1,9 % EC	Imidaclopride+lambdacyhalotri ne 175 SC	Acetamiprid e 20 SP +abamectin 1,8 % EC	TEMOI N
PRODUITS						
Production commerciale (kg/0,5ha)	2 365	2 016,67	2 513,33	1 347	2 621,67	800
Prix de vente (Ar/kg)	1200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200
PRODUIT BRUT (Ariary)	2 838 000	2 420 004	3 015 996	1 616 400,00	3 146 004	960 000
CONSOMMATION INTERMEDIAIRE CI						
Semence	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000
Fertilisants	80 000	80 000	80 000	80 000	80 000	80 000
Produit de conservation	2 499,84	2 499,84	2 499,84	2 499,84	2 499,84	2 499,84
Produits phytos	90 000	48 640	35 986,67	25 400	41066	
TOTAL CI	220 499,84	179 139,84	166 486,51	155 899,84	171 565,84	130 499,84
VALEUR AJOUTÉ BRUTE	1 671 500,16	1 434 196,16	1 844 177,49	1 460 500,16	1 925 770,16	509 500,16
Amortissement	5000	5000	5000	5000	5000	5000
VALEUR AJOUTÉ NETTE	2 612 500	2 235 864,16	2844509,49	1 455 500,16	2 969 438,16	824 500,16
Charge en main d'œuvre	510 000	510 000	510 000	510 000	510 000	357 000
REVENU / ha	2 102 500,16	1 725 864,16	2 334 509,49	2 947 100,16	2 459 438,16	467 500,16
TOTAL CHARGE (en Ar)	735 499,84	694 139,84	681 486,51	670 899,84	686 565,84	492 499,84
RAPPORT VALEUR COUT (RVC)	3,86	3,49	4,43	2,41	4,58	1,95
COUT DE REVIENT	0,26	0,29	0,23	0,42	0,22	0,51
RAPPORT VALEUR PEINE (RVP)	4,12	3,38	4,58	1,85	4,82	1,31

Source : Auteur

Annexe 11: Chronogramme d'activité

Activités/ Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Préparation de protocole						
Bibliographie						
Descente sur terrain						
Traitement de données						
Soutenance						

Source : Auteur

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	iii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	iv
RESUME.....	v
ABSTRACT.....	vi
FAMINTINANA.....	vii
INTRODUCTION.....	1
1. CADRAGE DE L'ETUDE.....	3
1.1. Organisme d'accueil.....	3
1.2. La chenille légionnaire d'automne « <i>Spodoptera frugiperda</i> ».....	3
1.2.1. Classification.....	3
1.2.2. Biologie	3
1.2.3. Ecologie.....	6
1.2.4. Symptômes et dégâts	6
2. MATERIELS ET METHODES	7
2.1. Matériels.....	7
2.1.1. Zones d'études.....	7
2.1.1.1. Localisation géographique	7
2.1.1.2. Description agro-climatique des sites.....	8
2.1.2. Matériel végétal : le maïs	9
2.1.3. Produits phytosanitaires	9
2.1.4. Autres matériels nécessaires pour l'expérimentation	10
2.2. Méthodes	10
2.2.1. Pré-test pour les produits à évaluer	10
2.2.2. Description de l'essai	11
2.2.3. Choix des sites des essais	11
2.2.4. Dispositifs expérimentaux.....	11

2.2.5.	Mise en place des essais	14
2.2.6.	Paramètres et méthodes d’observation	15
2.2.7.	Méthodes d’analyse	16
2.2.8.	Limites de travail.....	17
3.	RESULTATS	18
3.1.	Résultat du pré test	18
3.2.	Résultats de l’expérimentation	18
3.2.1.	Efficacité des produits.....	18
3.2.1.1.	Un jour après traitement (Obs1).....	18
3.2.1.2.	Trois jours après traitement (Obs2).....	19
3.2.1.3.	Six jours après traitement (Obs3)	20
3.2.1.4.	Neuf jours après traitement (Obs4)	20
3.2.2.	Evolution des effets des produits dans le temps	21
3.3.	Rendement.....	23
3.3.1.	Rendement par modalité.....	23
3.3.2.	Influence de l’intensité des dégâts de culture sur les rendements	23
3.4.	Analyses économiques	24
3.4.1.	Coût de production du maïs.....	24
3.4.1.1.	Charges en intrants pour une surface de 1 ha	24
3.4.1.2.	Charges en main d’œuvre pour une surface de 1 ha.....	25
3.4.1.3.	Coût des matériels amortissables	26
3.4.2.	Calcul des revenus engendrés par la culture de maïs pour une surface de 1 ha	27
4.	DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS	30
4.1.	Efficacité des produits	30
4.2.	Discussion sur le rendement.....	31
4.3.	Rentabilité économique.....	33
4.4.	Recommandations et perspectives	34
	CONCLUSION	36
	BIBLIOGRAPHIE	37
	LISTE DES ANNEXES.....	a
	TABLE DES MATIERES	w