

# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	i
RESUME.....	ii
ABSTRACT .....	iii
SOMMAIRE .....	iv
ANNEXES .....	vi
LISTE DES FIGURES .....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	vii
LISTE DES ABREVIATIONS .....	viii
GLOSSAIRE .....	ix
INTRODUCTION.....	1
1. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1.1 Importance des Tephritidae .....	3
1.2 Moyens de lutte disponibles contre les mouches de fruits à Madagascar .....	4
1.3 Importance des attractifs pour les mouches de fruits .....	5
1.3.1 Attractifs visuels .....	5
1.3.2 Attractifs olfactifs .....	5
2. MATERIEL .....	7
2.1 Zone d'étude .....	7
2.1.1 Localisation des sites d'étude.....	7
2.1.2 Caractéristiques des sites d'étude.....	8
2.2 Agrumes.....	9
2.2.1 Oranger.....	9
2.2.2 Mandarinier .....	9
2.3 Pièges à base de vinaigre de cidre .....	10
2.3.1 Support .....	10
2.3.2 Attractif .....	10
3. METHODES.....	12
3.1 Principes de la recherche .....	12
3.2 Dispositif expérimental.....	12

3.3	Fréquence d'observation.....	14
3.4	Paramètres observés .....	14
3.4.1	Nombre de capture .....	14
3.4.2	Identification des captures .....	14
3.4.3	Rendement des fruits sains.....	14
3.4.4	Quantité des fruits véreux .....	15
3.5	Méthodes d'analyse .....	15
3.5.1	Analyse statistique .....	15
3.5.2	Analyse économique .....	15
4	RESULTATS ET INTERPRETATION .....	17
4.1	Importance globale des mouches capturées.....	17
4.2	Évolution des mouches de fruits en fonction des facteurs climatiques .....	18
4.3	Importance des fruits sur le nombre de capture.....	20
4.4	Rémanence du produit .....	20
4.5	Influence de la densité des pièges.....	21
4.6	Relation du nombre des mouches de fruits et du nombre des fruits véreux-tombés en fonction des conditions climatiques .....	22
4.7	Rendement .....	24
4.8	Analyse économique.....	24
5	DISCUSSIONS.....	26
5.1	Mouches de fruits capturées .....	26
5.1.1	<i>Ceratitis malgassa</i> .....	26
5.1.2	<i>Bactrocera dorsalis</i> .....	27
5.2	Surveillance des mouches de fruits par l'utilisation des pièges .....	28
5.3	Contrôle des mouches de fruits par le piège jaune à base de vinaigre de cidre.....	29
5.4	Rentabilité de l'utilisation des pièges .....	31
5.5	Analyse sur la méthodologie de recherche .....	31
5.6	Perspectives d'améliorations .....	32
	CONCLUSION .....	33
	BIBLIOGRAPHIE .....	34

## ANNEXES

Annexe 1: Taxonomie et description morphologique des mouches de fruits .....	a
Annexe 2 : Mouches de fruits attaquant les agrumes avec leurs photos .....	b
Annexe 3 : Clé pratique de détermination des mouches de fruits .....	d
Annexe 4: Différents pièges pour les mouches de fruits.....	d
Annexe 5: Botanique des agrumes .....	e
Annexe 6 : Vinaigre du cidre .....	f
Annexe 7: Produits insecticides utilisés à Madagascar .....	g
Annexe 8: Description des drosophiles .....	h
Annexe 9 : Données climatiques 2011-2015.....	i



## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation géographique des sites d'étude .....	7
Figure 2: Courbe ombrothermique 2011-2015 (Service de la Météorologie).....	8
Figure 3: Bouteille confectionnée pour piège .....	10
Figure 4: Bouteille de vinaigre de cidre Leader Price.....	11
Figure 5: Positionnement du piège pour les mouches de fruits (Gilbert <i>et al.</i> , 2005; emplacement durant l'expérimentation).....	13
Figure 6: Différentes espèces de mouches capturées (*: $p < 0,05$ ; ***: $p < 0,001$ , barre d'erreur type).....	17
Figure 7: Importance globale des espèces de mouches de fruits capturées (***: $p < 0,001$ , barre d'erreur-type) .....	18
Figure 8: Évolution des mouches de fruits capturées par les pièges (ns: $p > 0,05$ , *: $p < 0,05$ ; **: $p < 0,01$ ; *** : $p < 0,001$ ).....	19
Figure 9: Nombre moyen de mouches capturées par pièges (**: $p < 0,01$ , barre d'erreur-type) .....	20
Figure 10: Durée moyenne de l'efficacité du vinaigre de cidre par piège (n=144) .....	20
Figure 11: Influence de la densité de piège sur le nombre de mouches capturées par piège (*: $p < 0,05$ , barre d'erreur-type) .....	21
Figure 12: Évolution du nombre de mouches de fruits capturées en fonction de la densité des pièges (ns: $p > 0,05$ , *: $p < 0,05$ ; **: $p < 0,01$ ; ***: $p < 0,001$ ).....	21
Figure 13: Évolution des fruits véreux- tombés durant l'expérimentation (**: $p < 0,01$ ; ***: $p < 0,001$ ) .....	23
Figure 14: Production moyenne d'agrumes par pied (*: $p < 0,05$ ; ** : $p < 0,01$ ; *** : $p < 0,001$ ; barre d'erreur-type).....	24

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Analyse statistique de l'évolution des deux espèces de mouches capturées (F: ratio de Fischer, p: probabilité associée à la valeur de F) .....	19
Tableau 2: Analyse statistique de l'influence de la densité des pièges (F: ratio de Fischer, p: probabilité associée à la valeur de F) .....	22
Tableau 3: Analyse statistique des fruits véreux- tombés durant l'expérimentation (F: ratio de Fischer, p: probabilité associée à la valeur de F).....	22
Tableau 4: Analyse statistique du rendement obtenu en fonction du traitement (F: ratio de Fischer, p: probabilité associée à la valeur de F) .....	24
Tableau 5: Analyse de la rentabilité économique en fonction du traitement pour 50 kg de pieds d'agrumes.....	25

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b><i>B. dorsalis</i></b>	: <i>Bactrocera dorsalis</i>
<b><i>B. invadens</i></b>	: <i>Bactrocera invadens</i>
<b><i>C. capitata</i></b>	: <i>Ceratitis capitata</i>
<b><i>C. malgassa</i></b>	: <i>Ceratitis malgassa</i>
<b>CR</b>	: Cout de Revient
<b>CREAM</b>	: Centre de Recherches, d'Études et d'Appui à l'analyse économique à Madagascar
<b>DPV</b>	: Direction de la Protection des Végétaux
<b>FAO</b>	: Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation)
<b>GTZ</b>	: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
<b>INSTAT</b>	: Institut National des Statistiques
<b>MCD</b>	: Ministère de la Coopération et du Développement
<b>MEADR</b>	: Ministère d'État à l'Agriculture et au Développement Rural
<b>P</b>	: Protégé
<b>pH</b>	: potentiel Hydrogène, mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution
<b>RN</b>	: Route Nationale
<b>RVC</b>	: Rapport Valeur Cout
<b>RVP</b>	: Rapport Valeur Peine
<b>S</b>	: Semaine
<b>T</b>	: Témoin

## GLOSSAIRE

- Diapause** : phase d'arrêt du développement, génétiquement déterminée, permettant de résister aux conditions défavorables de l'environnement
- Endophytes** : organismes qui accomplissent tout ou une partie de leur cycle de vie à l'intérieur d'une plante
- Monophage** : organisme dont le régime alimentaire se restreint à une seule espèce.
- Multivoltine** : espèce dont plus de deux générations sont obtenues en une année
- Organisme transfrontalier** : organisme capable de se disséminer sur de longues distances donc de franchir les frontières
- Oviposition** : action de déposer des œufs dans le milieu le plus adéquat pour permettre une éclosion optimale
- Phototropisme** : capacité d'un organisme (exemple: plantes, papillon, plancton) à s'orienter par rapport à la lumière
- Plantes hôtes** : espèces végétales susceptibles d'assurer la survie d'un organisme nuisible donné dans des conditions naturelles.
- Polyphage** : organisme dont le régime alimentaire consiste à se nourrir d'aliments variés
- Pourridié** : maladie cryptogamique des végétaux ligneux, caractérisée par l'attaque souterraine d'un champignon parasite, sévissant au niveau des racines.
- Rémanence** : durée pendant laquelle un produit phytosanitaire reste efficace sur l'objet traité
- Tristeza** : maladie virale qui entraîne le dépérissement des agrumes
- Univoltine** : espèce dont une seule génération est obtenue au cours d'une année

## INTRODUCTION

Les mouches de fruits ou Tephritidae constituent un des groupes de ravageurs qui occasionnent les dégâts les plus importants sur les cultures fruitières dans le monde et à Madagascar (Ngamo-Tinkeu *et al.*, 2010). Les dégâts sur les fruits charnus sont causés par les femelles gravides qui les piquent pour y déposer leurs œufs (Gomina, 2015). Lors de ces attaques, les fruits d'agrumes se déprécient sur la commercialisation et le marché d'exportation.

Madagascar connaît ce problème lié à la présence des mouches de fruits. La production des agrumes est de 102 900 tonnes en 2013 pour Madagascar (FAO, 2016). Mais, la quantité d'agrumes exportée à l'étranger n'est que 17 719,02 kg en 2015 sous forme transformée (INSTAT, 2016). La grande île ne peut pas exporter des fruits frais parce qu'elle constitue une zone de haute prévalence de mouches de quarantaine et les pays importateurs évitent l'introduction de ces mouches de fruits dans leurs pays.

La présence de ces mouches de fruits aussi a des effets sur le rendement de production des fruits d'agrumes. Selon Norrbom (2004), les mouches de fruits sont parmi les ravageurs les plus importants en agriculture au monde. Les pertes dues aux mouches peuvent atteindre 90% de la récolte si aucune mesure n'est prise (Vayssières, 1999). Les Tephritidae s'attaquant aux fruits et légumes font l'objet de nombreuses études en raison de leur importance économique (White et Elson-Harris, 1992).

Beaucoup de producteurs vivent à partir de la production d'agrumes à Madagascar.

A Madagascar, il n'y a pas de lutte efficace contre les mouches de fruits à la portée des paysans producteurs: les phéromones proposées par la Direction de la Protection des Végétaux n'existent pas sur le marché et l'utilisation des pesticides n'est pas maîtrisée.

Ainsi, les producteurs rencontrent de graves problèmes face à la présence de ces insectes dans les vergers d'agrumes. Une lutte alternative qui permet aux producteurs de réduire les dégâts causés par ces ravageurs est recherchée afin de diminuer la pratique de la lutte chimique.

C'est dans cette optique que se situe la présente recherche intitulée: « *Efficacité du vinaigre de cidre pour contrôler les mouches de fruits, Tephritidae* ». Pour cela, le vinaigre de cidre, un produit naturel et non chimique, accessible aux producteurs va être testé dans la lutte contre les mouches de fruits afin d'obtenir de fruits sains et sans résidus de pesticides tout en préservant l'environnement et sans risques pour la santé humaine.

La problématique à laquelle on essayera de répondre tout au long de cette étude est la suivante: « **Est-ce qu'on peut gérer la population des mouches de fruits par la méthode alternative à la portée des paysans?** »

L'objectif de cette étude consiste à mettre en évidence, l'effet de l'utilisation des pièges à base de vinaigre de cidre sur les populations des mouches de fruits.

Il s'agit spécifiquement, (i) d'identifier les espèces de mouches de fruits présentes dans les vergers, (ii) d'évaluer l'importance des mouches de fruits capturées par pièges, et (iii) d'évaluer l'efficacité et la rentabilité de la méthode de lutte proposée.

Pour répondre à cette problématique et atteindre ces objectifs, des hypothèses sont testées au cours de cette étude telles que:

- Hypothèse 1: A titre d'avertissement, la présence d'un piège à base de vinaigre de cidre dans le verger permet de détecter la présence ou absence des mouches de fruits
- Hypothèse 2: La mise en place des pièges à base de vinaigre de cidre, à densité élevée (1 piège pour 10 pieds), permet de contrôler les mouches de fruits
- Hypothèse 3: L'utilisation des pièges à base de vinaigre de cidre est rentable

Nous allons donc voir: en première partie la revue bibliographique des connaissances majeures acquises sur les Tephritidae, les méthodes de lutte possibles et les différents attractifs des mouches de fruits, suivie de la deuxième partie, le matériel. La troisième partie concerne les méthodes adoptées. La quatrième partie présente les résultats avec l'interprétation. La dernière partie sera axée sur les discussions avec les propositions d'amélioration sur l'utilisation des pièges à base de vinaigre de cidre.



## **1. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **1.1 Importance des Tephritidae**

Les mouches de fruits appartiennent à la famille de Tephritidae (ordre des Diptères, superfamille: *Tephritoidea*). La famille des Tephritidae, dont les représentants les plus connus sont communément appelés « mouches de fruits » comprend environ 4 000 espèces réparties à travers le monde dans les régions tempérées (espèces univoltines, le plus souvent monophages), subtropicales et tropicales (espèces multivoltines sans diapause hivernale, polyphages) (White et Elson-Harris, 1992, Quilici, 2004). Environ 35% des espèces attaquent les fruits (« mouches de fruits » sensu stricto) tandis que 40% se développent dans les fleurs d'Asteraceae (Quilici, 2004). Selon Dubois (1965), cette famille comprend plus de 40 espèces à Madagascar.

La femelle dépose ses œufs par petits paquets à la partie supérieure du fruit (Paulian, 1950, Baldy, 2014). Selon Ouedraogo (2011), endophytes, les larves des mouches de fruits se développent dans les tissus végétaux après les piqûres de pontes des femelles gravides qui peuvent avoir lieu au niveau d'espèces végétales très diverses.

Ces mouches de fruits se développent très rapidement. Le cycle complet des mouches dure 3 semaines et varie selon l'espèce et la température. Les adultes émergés peuvent vivre 40- 90 jours (Vayssières *et al.*, 2008 b). Selon Noussourou et Diarra (1995), certaines espèces réalisent leur cycle de vie complet en 30 jours, lorsque la température se situe entre 25 et 30°C, ce qui peut aboutir à 12 générations au cours d'une année.

Selon Bateman (1972), l'humidité de l'environnement a une influence particulièrement importante dans l'abondance de nombreuses espèces de Tephritidae. Dans la plupart des cas dans le monde, les mouches de fruits ont une abondance saisonnière avec des populations élevées en été et faibles en hiver (Ouedraogo, 2011).

Les mouches de fruits s'attaquent à une large gamme de plante hôtes: aux fruits tels que: agrumes, pêches, prunes, poires, mangues, pommes...et aux légumes comme pastèques, courges, tomates, etc.

La famille des Tephritidae (mouches de fruits) a une importance économique car de nombreuses espèces de cette famille attaquent les cultures fruitières et légumières des régions tropicales et subtropicales (White et Elson-Harris, 1992). Elles déprécient la qualité des fruits et ont des conséquences sur les exportations des fruits. Elles occasionnent des pertes estimées à plusieurs milliards de dollars en provoquant des dégâts directs sur une grande diversité d'espèces fruitières, légumières et florales (citrus, pomme, mangue,...) (Ouedraogo, 2011).

## **1.2 Moyens de lutte disponibles contre les mouches de fruits à Madagascar**

Différentes méthodes de lutte contre les mouches de fruits ont été développées et entreprises suivant les zones de production. Elles concourent à la suppression ou à l'éradication de ces ravageurs. La suppression est l'application des mesures phytosanitaires dans une zone infestée pour réduire la population d'un ravageur alors que l'éradication consiste à supprimer la présence de ce ravageur dans la zone (FAO, 2005)

Parmi les lutttes entreprises, la lutte prophylactique est utile pour diminuer les populations des mouches de fruits. La lutte consiste au ramassage et à la destruction par enfouissement des fruits véreux à une profondeur minimum de 50 cm, simples, à la portée de tous, et susceptibles de produire une forte diminution des dégâts. Selon Dubois (1965), il est utile de signaler que les premières générations de mouches sont les plus utiles à combattre parce qu'elles sont encore peu importantes et le ramassage des fruits doit être aussi entamé 3 à 4 semaines avant l'époque de maturation.

Les piègeages sont surtout utilisés comme système d'avertissement signalant la présence des mouches de fruits dans les vergers et l'importance de l'infestation. Ce sont les pièges ou gobe-mouches dans lesquels on met un attractif alimentaire (hydrolysate de protéines, jus de fruits...) additionné d'insecticide, les pièges adhésifs qui sont des cartons badigeonnés de glu qui vont retenir les mouches qui s'y posent, les phéromones et leurs dérivés (Ravaomanarivo, 1996).

La lutte biologique est possible avec l'utilisation des appâts de l'hydrolysate de protéine, du sang de bœuf dilué à moitié dans l'eau ou encore d'un mélange de la pulpe d'orange ou du concombre plus de 100 ml d'ammonium dilué à moitié dans l'eau (Rajoelisoa, 2002). Ce mélange doit être laissé se reposer 48 h et sera ajouté de 15 ml d'eau avant de le verser dans les pièges.

La lutte chimique se fait par pulvérisations d'insecticides. Les produits proposés et vus sur le marché local sont: dimethoate (Organophosphorés- Daphene fort EC 400), malathion (Organophosphorés- Malixol EC 50) et methidation (Organophosphorés- Ultracide EC 20, EC 40), dichlorvos (Organophosphorés- Nogos EC 500) (MEADR/ DPV/ GTZ/ Coopération Suisse, 1994).

La lutte « hawaïenne » consiste à projeter sur la frondaison de chaque arbre à l'aide d'un petit balai après la préparation du mélange d'attractif et insecticide dans un seau (Lacoste, 1970). Le mélange est faisable avec 0,5 l de malathion (Organophosphorés) et 1 l d'hydrolysate de protéine ajouté de 10 l d'eau. Cette solution est destinée pour 200 pieds et à répéter chaque semaine durant les mois de mars, avril et mai (DIARY VALY, 1993, Ratsimbazafy, 1999). Elle est pratiquée tant que les pièges décèlent la présence des mouches. Ces aspersions se font sur un seul coté de l'arbre (Lacoste, 1970).

### **1.3 Importance des attractifs pour les mouches de fruits**

#### **1.3.1 Attractifs visuels**

Prokopy et Owen (1983) ont établi que chez les insectes herbivores diurnes, particulièrement chez les Tephritidae, la vision pouvait jouer un rôle prépondérant dans la localisation des plantes-hôtes et des ressources essentielles comme les sites de nourriture, d'accouplement et d'oviposition. De plus, ce stimulus peut apporter le signal de luminosité des couleurs (intensité de la lumière réfléchiée perçue), la teinte des couleurs (longueur d'onde dominante) et la saturation (pureté spectrale de la lumière réfléchiée) (Mille, 2010).

Les Tephritidae répondent aux stimuli visuels tels que les objets de formes, de tailles et de couleurs différentes. L'attractif visuel ne fait pas de distinction mais attire à la fois les mâles et/ ou les femelles des mouches de fruits.

Katsoyannos (1987) a montré que, chez *Ceratitis capitata*, l'attractivité de sphères, peintes en jaune était supérieure à celle d'autres sphères oranges, rouges, bleues, noires ou vertes, dans l'ordre décroissant.

Meats (1983) affirme que le jaune fluorescent s'est révélé la couleur la plus attractive. Les grands objets jaunes attirent les mouches de fruits parce que la couleur et le feuillage où elles devraient trouver de la nourriture sont assimilés par les mouches.

Selon Franck (2008), le piège coloré est fabriqué dans une plaque (environ 20 x 30 cm) en plastique souple de couleur jaune vif (bouton d'or) et enduite de glu. Ce piège est suspendu dans la végétation et permet d'attraper un très grand nombre d'insectes notamment les hémiptères, les diptères, les hyménoptères et certains coléoptères comme les coccinelles.

#### **1.3.2 Attractifs olfactifs**

##### **➤ Paraphéromones**

Les paraphéromones ou attractifs sexuels sont des substances chimiques qui attirent sélectivement les mâles de Tephritidae. La mise en place des pièges contenant de paraphéromones permet de surveiller les fluctuations des mouches de fruits. Ils constituent une méthode efficace de capture permettant de réduire les populations de mouches de fruits mâles. Ils renseignent sur l'importance des populations et la détermination du moment propice pour les gérer.

Les pièges à sec tels que le Jackson Trap, le Tephri Trap, le Steiner Trap contiennent des attractifs sexuels (paraphéromones) qui attirent essentiellement les mâles (Vayssières et Sinzogan, 2008).

Les différentes paraphéromones les plus utilisées sont le Méthyl-eugénol ou 4-Allyl-1,2-dimethoxybenzenele Trimedlure ou Tert-butyl-4-(5) chloro-2 methyl cyclohexane-1-carboxylate et le Cue-lure. Le Méthyl-eugénol est attractif à des distances allant jusqu'à 1 km (Steiner, 1969). Le Trimedlure est efficace à une distance au moins 20 m (Delrio et Zumreoglu, 1982) et le Cue-lure à plus de 25 m (Praveen *et al.*, 2012).

Le Méthyl-eugénol et le Cue-lure attirent principalement les espèces de *Bactrocera* et le Trimedlure pour les espèces de *Ceratitis*. Une majorité de mouches du genre *Bactrocera* répondent au Cue-lure, et dans une moindre mesure, plusieurs espèces répondent au Méthyl-eugénol en particulier *Bactrocera dorsalis* et *Bactrocera umbrosa* (Mille, 2010). Vayssières *et al.* (2004) ont montré que le Trimedlure attirait essentiellement les mâles de *Ceratitis capitata*.

➤ **Appâts protéinés empoisonnés**

L'utilisation des appâts protéinés empoisonnés se base sur l'utilisation d'un mélange de substances alimentaires attractives variées avec un insecticide.

Les attractifs alimentaires sont des protéines, des sucres, d'arômes de fruits.... Ces attractifs alimentaires sont mélangés à des insecticides tels que le fenthion et le malathion (Organophosphorés), la deltaméthrine (Pyrethrinoides) (Mille, 2010) ou un insecticide à base de spinosad issue d'une bactérie du sol, *Saccharopolyspora spinosa* (Vayssières et Sinzogan, 2008 b).

Les mouches de fruits sont attirées par l'appât qu'elles consomment jusqu'à satiété et meurent rapidement sous l'effet de l'insecticide. Avec ses propriétés attractives, l'appât est appliqué généralement sur une partie du verger ou de l'arbre.

L'application de ces traitements par taches a donné des résultats très intéressants au Bénin (Vayssières *et al.*, 2009 b) au niveau de la lutte contre *Bactrocera invadens* et *Ceratitis cosyra*.

➤ **Attractif alimentaire**

L'attractif alimentaire est utilisé pour suivre les fluctuations de populations des mouches de fruits et dans le cadre d'un piégeage de détection. L'attractif alimentaire exerce son action sur les deux sexes et sur toutes les espèces. Les mouches de fruits ont besoin de sucre et de protéines pour leur survie et leur reproduction.

Les pièges alimentaires sont constitués d'un appât (attractif) et d'un dispositif de rétention. Cet appât est habituellement constitué d'une source alimentaire, dont l'insecte se nourrit ou dans laquelle il pond ses œufs.

Fletcher et Prokopy (1991) ont mentionné sur la possibilité qu'ont les femelles de Tephritidae de détecter une odeur de fruit à une distance d'au moins 20 m.

Franck (2008) montre que le piège à hydrolysate de protéine est généralement utilisé pour capturer des mouches de fruits et des légumes et permet de recenser les espèces présentes et il peut aussi être utilisé comme méthode de lutte. Il y a aussi des pièges à fruits qui contiennent des fruits bien mûrs qui sont très attractifs pour les mouches Drosophilidae, certains papillons et certains coléoptères.

Vayssières et Sinzogan (2008) ont utilisé les attractifs alimentaires qui sont des pastilles de Torula (TOR) hydrosolubles ou des mélanges à base d'hydrolysate de protéines en l'occurrence le Nulure plus le Borax (NUB) dans les pièges McPhail.

## 2. MATERIEL

### 2.1 Zone d'étude

#### 2.1.1 Localisation des sites d'étude

La présente étude a été effectuée dans la région d'Analamanga, une des régions de Madagascar, productrice d'agrumes. Deux districts de la région sont concernées tels que: Antananarivo Atsimondrano et Ambohidratrimo. Pour le district d'Antananarivo Atsimondrano, l'étude a eu lieu dans le fokontany Soavinimerina et dans le fokontany Ambohidrazana pour le district d'Ambohidratrimo, situés entre les latitudes 18°54' et 18°56' Sud et les longitudes 47°24' et 47°25' (figure 1).

Le fokontany Soavinimerina est voisin au fokontany d'Ambohijafy, tous deux appartiennent à la commune rurale de Fenoarivo. Fenoarivo se situe à 12 km sur la RN 1 au départ de la capitale Antananarivo. Le fokontany Soavinimerina se trouve à 3,5 km de la RN 1.

Le fokontany Ambohidrazana de la commune rurale de Fiadanana se trouve à côté du fokontany Soavinimerina à une distance de 1 km. Ces deux fokontany sont des zones productrices d'agrumes parce qu'ils présentent beaucoup de champs d'agrumes. Lors de l'acheminement des agrumes, tous les produits passent dans le fokontany Ambohijafy.

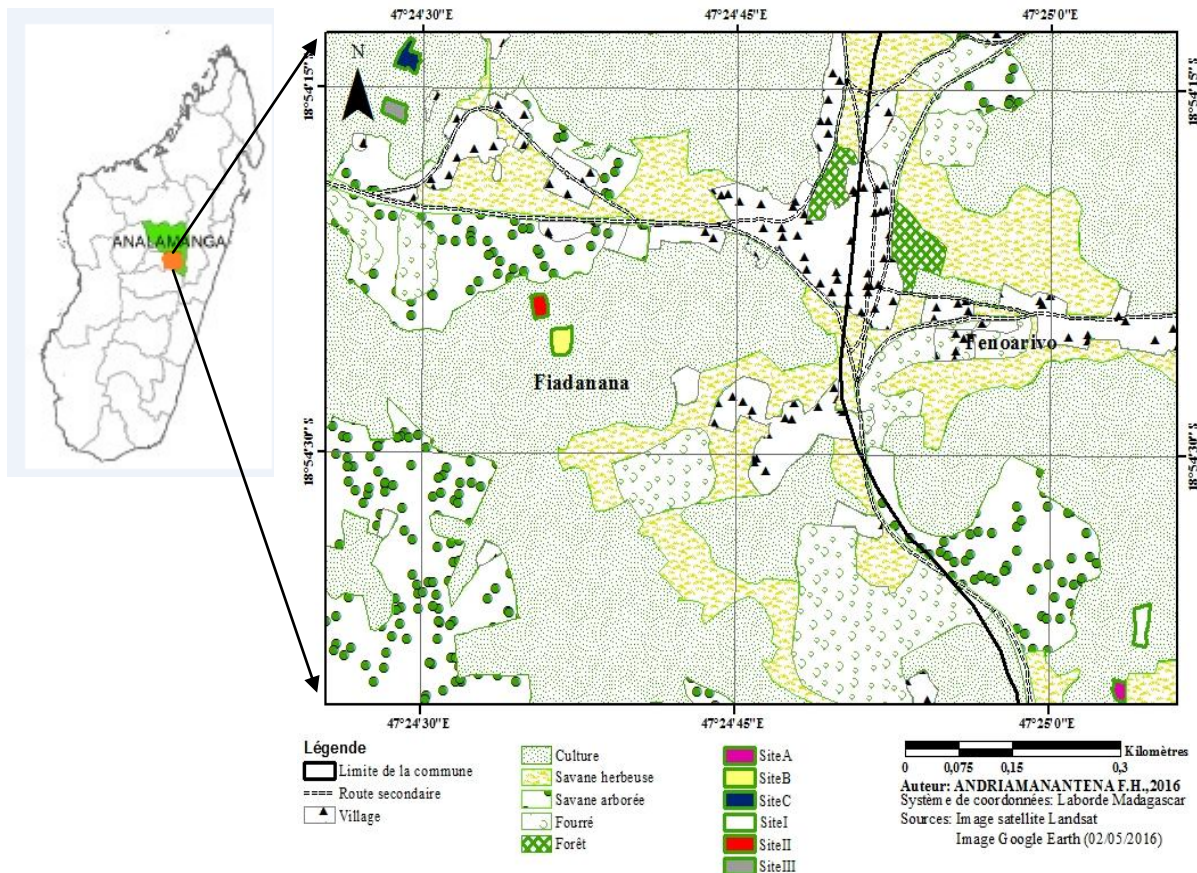


Figure 1: Localisation géographique des sites d'étude

### 2.1.2 Caractéristiques des sites d'étude

Comme la région d'Analamanga, les sites d'études jouissent d'un climat tropical d'altitude supérieure à 900 m (CREAM, 2013).

Ce climat tropical est caractérisé par l'alternance d'une saison pluvieuse et chaude (octobre à mars) avec une saison fraîche et relativement sèche (avril à septembre) (figure 2) (Service de la météorologie, 2015).

Les précipitations totales annuelles sont égales à 1109 mm. L'intensité des pluies atteint son maximum en février avec une précipitation moyenne de 260 mm et une température moyenne de 22,1°C. La température moyenne est égale à 19,9°C avec une température moyenne maximale de 22,8°C en décembre et une température moyenne minimale de 15,8°C en juillet (Service de la météorologie, 2015). Donc, ce climat est caractérisé par 7 mois secs et 5 mois pluvieux.

Dans les sites d'études, cinq types de sols sont rencontrés. Il y a les sols hydromorphes des vallées, les sols organiques des marais ou sols noirs, les sols argilo-sableux de colluvionnement, les sols limono-sableux d'alluvionnement et les sols ferralitiques ou sols de tanety particulièrement argileux (Razanakoto, 2008).

Des champs de cultures et des savanes arborées bordent les sites d'études. Des savanes herbeuses aussi sont très nombreuses aux environs des sites d'études et dominées par *Aristida* sp. Des formations arbustives ou pérennes sont essentiellement constituées par *Psidia altissima*, *Tephrosia vogelii* (Razanakoto, 2008).

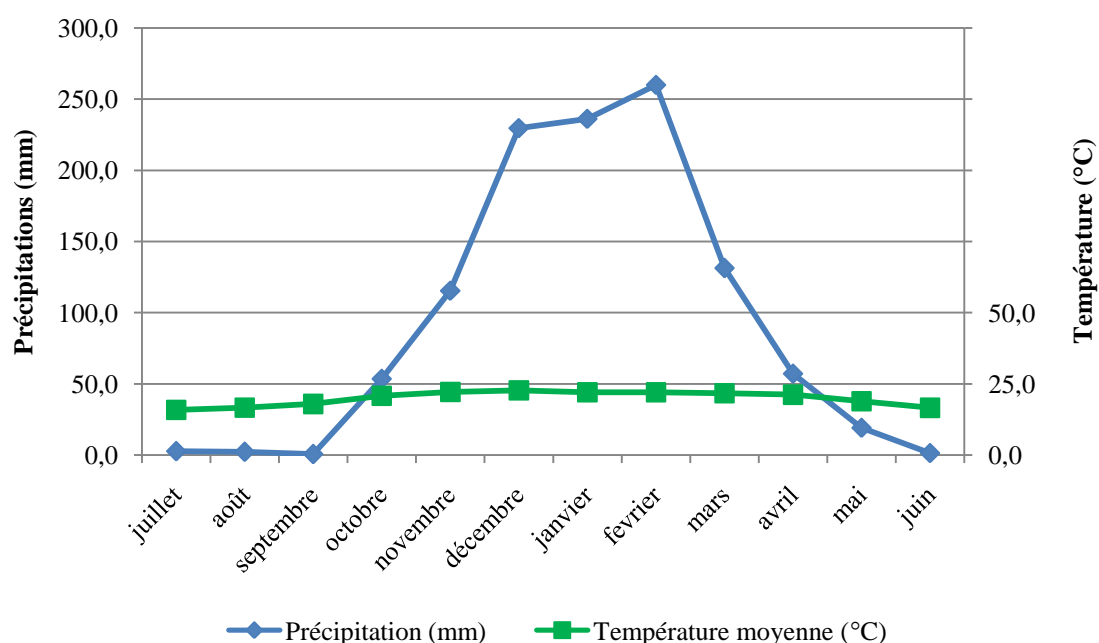


Figure 2: Courbe ombrothermique 2011-2015 (Service de la Météorologie)

Cette diversité climatique des sites d'études permet de développer une grande diversification de spéculations agricoles.

La culture d'agrumes est la plus pratiquée dans les sites d'études, suivie des rizicultures et des cultures maraîchères qui sont réalisées tout au long de l'année. Les rizicultures (septembre à janvier) sont vues dans les bas fonds. Aussi, des cultures vivrières sont conduites en mode pluvial comme le manioc et le maïs et sont pratiquées sur les zones de tanety près des habitations. On en trouve aussi des vergers d'agrumes en monoculture et des vergers d'agrumes avec des cultures maraîchères comme les choux, le haricot vert, la morelle et les différentes brèdes. Ces vergers occupent plus de 300 ha des superficies cultivées (Raharimalala, 2012).

## **2.2 Agrumes**

Les agrumes appartiennent à la famille des *Rutaceae* (MCD, 1984). Ils sont les plante-hôtes des mouches de fruits étudiées parce qu'elles sont disponibles lors de la période d'expérimentation et que la culture des agrumes connaît de contraintes dues à la présence des mouches de fruits qui est un frein à l'exportation.

Les champs d'agrumes de la zone d'étude contiennent deux types de variétés d'agrumes: les oranges Thomson et la mandarine japonaise.

### **2.2.1 Oranger**

L'oranger ou « *Citrus sinensis* » est l'espèce de Citrus la plus importante tant pour le nombre de variétés que par l'importance des productions (Djamal et Ahmed, 2008). Il porte des rameaux épineux (Quilici et Jeuffrault, 2001). Cette variété présente une écorce épaisse, une pulpe moins juteuse parfumée et sucrée acidulée avec le nombre de pépins variable. Les cotylédons sont en embryons blancs (MCD, 1984). Les feuilles sont lancéolées à pétiole étroitement ailé. Le fruit est subglobuleux à épiderme orange ou rougeâtre (Rebour, 1966). Cette orange est cultivée dans les environs d'Antananarivo. La fructification se situe du mois de novembre au mois de juin ou juillet.

### **2.2.2 Mandarinier**

Le mandarinier « *Citrus reticulata* » est un fruit apprécié. Il est faiblement épineux (MCD, 1984; Quilici et Jeuffrault, 2001). Selon Rebour (1966), cette variété présente des feuilles étroites et des fruits globuleux souvent aplatis aux deux pôles. La pulpe est douce, parfumée et sucrée. Les pépins se distinguent parce que les embryons sont de couleur verte. La peau est fine, non adhérente et de couleur orange ou rouge. Le mandarinier a été croisé avec le bigaradier ou l'oranger amer pour donner d'autres variétés comme la mandarine du Japon ou mandarine greffée. La mandarine du Japon ou « greffin'Ambohijafy » a un port dressé dont le fruit est estimé (DIARY VALY, 1994). Cette mandarine est à peau rigoureuse.



Elle se trouve aux environs d'Antananarivo. La période de fructification se situe du mois de décembre au mois de juillet.

## **2.3 Pièges à base de vinaigre de cidre**

### **2.3.1 Support**

Le support est constitué d'une bouteille vide en plastique de marque Eau Vive de contenance 1,5 l qui est coupée au deux tiers de sa longueur. La bouteille est utilisée comme matière première des pièges afin de la recycler et de préserver l'environnement. La partie supérieure (le tiers de la bouteille) est renversée comme un entonnoir pour que les mouches puissent entrer et ne peuvent plus s'en sortir. La partie basse est couverte de papier chemise jaune pour obtenir la couleur jaune, constituant un attractif visuel des mouches de fruits (figure 3). Cette méthode est adaptée aux conditions climatiques sèches.

Pour la confection du support, l'objectif est d'obtenir un piège de couleur jaune qui contiendra l'appât et une ouverture vers le haut pour permettre aux mouches de fruits d'entrer sans en ressortir.



**Figure 3: Bouteille confectionnée pour piège**

### **2.3.2 Attractif**

Le vinaigre de cidre utilisé durant l'expérimentation est de marque Leader Price, constitué de vinaigre de cidre qui contient de la caséine du lait et le conditionnement est fait par du disulfite de potassium (figure 4). Le vinaigre de cidre est mis en bouteille de 750 ml et vendu au niveau des épiceries ou des grandes surfaces d'Antananarivo.

Le vinaigre de cidre a une couleur ambré, caractérisé par une odeur de pomme à acidité atténuée et de flaveur, cidre. Le vinaigre de cidre a un aspect limpide avec un pH de 3,1, une acidité de 5 g/100 ml et un alcool résiduel  $\leq 0,5\%$ .

Pour 100 g de vinaigre de cidre, la valeur énergétique est à 24 Kcal soit 104 KJ composé de 0,2 g de protéines, 0,3 g de glucides, 0,3 g de lipides dont acides gras 0,05 g et il n'y a pas de fibres.



Le vinaigre de cidre est généralement utilisé pour fabriquer des vinaigrettes, des marinades et pour assaisonner les salades, comme condiment, par exemple pour la conservation des cornichons ou des oignons.

Il peut être aussi utilisé comme attractif pour la plupart des appâts utilisés par les réseaux de dépistage des drosophiles sur cerisier ou fraisier. On utilise 200 ml de vinaigre de cidre de pomme pur avec 2 gouttes de savon inodore, la solution est accessible à tous et utilisée par plusieurs réseaux de dépistage (Lacroix et Harnois, 2013). D'autres auteurs recommandent le mélange comme: 400 ml de vinaigre de cidre de pomme avec 2 gouttes de savon inodore et au choix: [70 ml d'éthanol 95% et 530 ml d'eau] ou [600 ml de vin Merlot] (Lambert *et al.*, 2014) ou 300 ml de mélange: 50% d'eau et 50% de vinaigre de cidre et quelques gouttes de liquide vaisselle (Fontaine et Duffourc, 2013).

De plus, il est utilisé comme appât pour le piège des drosophiles (Fontaine et Duffourc, 2013; Lambert *et al.*, 2014). Il peut piéger toute sorte d'insectes volants (autres drosophiles, abeilles, frelons ...).

Selon Weydert *et al.* (2012), le piège est composé de 150 ml de vinaigre de cidre et de 50 ml d'eau pour le piège des drosophiles sur fraise. Les mouches de fruits sont attirées par l'odeur de l'appât qui ressemble à la pourriture de fruits pour celles-ci. Elles vont entrer dans le piège, se nourrir et vont se noyer dans le liquide.

En outre, il est aussi utilisé pour désinfecter l'environnement où les animaux domestiques comme le chat et les chiens et pour traiter ces animaux contre les puces (Santolini, 2011).

Enfin, comme autres vertus, il est connu pour ses propriétés médicinales et nutritives qui aident à régler plusieurs problèmes de santé dont les rhumes, ceux des cheveux et de la peau, les verrues, le contrôle du poids, les infections, etc. (Orgone, 2013).



**Figure 4: Bouteille de vinaigre de cidre Leader Price**

### **3. METHODES**

#### **3.1 Principes de la recherche**

La recherche repose sur l'évaluation de la pullulation des mouches de fruits en associant l'attractif visuel et olfactif constituant des paramètres importants pour faire fonctionner les pièges attractifs.

En effet, il s'agit de tester l'efficacité du piège dans la perspective de gestion appropriée de la population de mouches de fruits en fonction des objectifs de deux stratégies de lutte:

- Dans le cadre de la mise en place de la lutte intégrée, la mise en place du système d'avertissement permet d'identifier le moment opportun pour lancer l'application de la lutte chimique et de bien la gérer. A titre d'avertissement, il s'agit de mettre en place un piège dans un verger pour détecter la présence ou l'absence des mouches.
- Dans le cadre de la mise en place de la lutte biologique, l'utilisation des pièges en fonction de la densité des agrumes permet d'assurer une protection efficace. La rentabilité de l'utilisation des pièges dans le verger protégé sera évaluée et comparée avec le témoin non protégé.

Les évolutions de capture sont corrélées avec les données météorologiques issues du site [http://climatologie Antananarivo\\_Ivato](http://climatologie.Antananarivo.Ivato) pour les mois de juin et juillet 2016 afin d'évaluer la relation des captures avec des conditions climatiques.

Les résultats des captures hebdomadaires sont alors analysés et interprétés afin de mettre en évidence les périodes de pullulation et afin de tirer la conclusion sur l'efficacité de la méthode de lutte.

#### **3.2 Dispositif expérimental**

L'étude sur la dynamique des populations de mouches des fruits a commencé du 31 mai jusqu'au 26 juillet 2016 dans des vergers d'agrumes. Le vinaigre de cidre est utilisé comme attractif alimentaire associé à un piège confectionné pour avoir une couleur jaune.

Le dispositif expérimental est composé de deux traitements: non protégé ou témoin et protégé. Cette modalité est répétée trois fois. Le témoin est constitué d'un piège par verger déposé par semaine afin de détecter les mouches de fruits et de suivre son importance. Pour le verger protégé, 1 piège pour 10 pieds sont placés par verger par semaine afin de diminuer le nombre des populations de mouches de fruits. Chaque semaine, les anciens pièges ne sont pas enlevés afin de vérifier la rémanence de l'attractif alimentaire.

Pour l'étude, le nombre de pieds d'agrumes de chaque verger varie de 50 à 60 quel que soit le traitement. La distance entre les vergers est au moins 50 m à 1,1 km à vol d'oiseaux afin de réduire les interactions entre les vergers.

Les pieds d'agrumes sont espacés régulièrement avec une distance entre deux plantes de 5 m entre les lignes et sur les lignes. Pendant l'étude, le producteur doit en outre s'engager à ne pas effectuer de traitement chimique sur son verger ou même à sa proximité immédiate pour que les résultats ne sont pas faussés par les traitements chimiques utilisés.

Les pièges sont installés dans les vergers d'agrumes où les fruits se trouvent au stade de maturation, fruits de couleur jaune jusqu'à la fin des récoltes.

Avec ces critères de sélection des vergers, deux vergers sont retenus à Soavinimerina et quatre à Ambohidrazana. Ces vergers disposaient de variétés d'orangers et de mandarine japonais parce que les mouches de fruits ne font pas la distinction entre les variétés d'agrumes.

Le dispositif de piégeage de détection est constitué au total de 144 pièges avec 24 pièges pour les témoins et 120 pour les vergers protégés.

Les pièges ont été suspendus à une branche charpentière du tiers inférieur à la frondaison, à une distance moyenne du centre de l'arbre (Vayssières *et al.*, 2004). Les pièges ne doivent pas recevoir directement les rayons du soleil; on prendra soin de privilégier un emplacement ombré surtout pour les pièges à liquides (Vayssières et Sinzogan, 2008) afin de les préserver contre la dégradation rapide des produits et de l'évaporation de l'attractif alimentaire. Chaque piège ne doit pas être caché dans le feuillage dans le but de faciliter l'entrée des diptères à l'intérieur (figure 5).

L'entretien du piège comprend le maintien du piège dans un état propre après chaque relevé qui se fait régulièrement une fois par semaine. Le produit dans les pièges déposés antérieurement n'est pas renouvelé mais de nouveaux pièges sont mis en place sur d'autres arbres chaque semaine.



**Figure 5: Positionnement du piège pour les mouches de fruits (Gilbert *et al.*, 2005; emplacement durant l'expérimentation)**

### **3.3 Fréquence d'observation**

Les relevés de pièges se faisaient à intervalles réguliers de sept jours (Ngamo-Tinkeu *et al.*, 2010; Ouedraogo, 2011). Donc, le comptage des mouches de fruits se fait hebdomadaire à jour fixe durant la période d'expérimentation.

Les mouches sont tamisées et lavées dans une passoire. Elles sont ensuite conservées dans un sachet avec double étiquetage: l'un à l'intérieur et l'autre à l'extérieur. Elles sont récupérées et comptabilisées.

L'étiquetage portera le nom du site, la date du prélèvement, le numéro du piège, le nombre de mouches récupérées et l'attractif utilisé (Vayssières et Sinzogan, 2008).

Les informations recueillies au cours du relevé des pièges sont, par la suite, enregistrées dans des fiches. Lors de ces relevés, l'attractif est vérifié si la quantité diminue.

Les fruits véreux- tombés sont aussi comptés régulièrement lors de la collecte des mouches de fruits. A la fin de la campagne, les fruits récoltés sont pesés.

### **3.4 Paramètres observés**

#### **3.4.1 Nombre de capture**

Différents insectes sont capturés par le piège. A chaque collecte, les insectes sont dénombrés et identifiés suivant leurs espèces.

#### **3.4.2 Identification des captures**

L'identification des adultes de Tephritidae capturés dans les pièges a été effectuée sous loupe binoculaire en observant les caractères morphologiques. Comme les mouches de fruits capturées sont putréfiées au moment de l'observation surtout les ailes qui constituent le moteur clé de l'identification, la différenciation des espèces capturées se limite au niveau du thorax (Annexe 3).

La clé d'identification repose sur la présence des taches sur le scutum formant un H au niveau du thorax pour *C. malgassa* et une présence de deux lignes jaunes thoraciques et de couleur orange avec un T central sur l'abdomen pour *B. dorsalis* ou *B. invadens* (Vayssières *et al.*, 2008 b).

#### **3.4.3 Rendement des fruits sains**

La récolte des fruits d'agrumes se fait au mois de juillet. Les producteurs ont récolté leurs fruits à la sixième semaine de l'expérimentation. Tous les fruits des vergers protégés et témoin sont pesés. Ceci permet d'estimer l'efficacité des pièges à base de vinaigre de cidre si l'utilisation de cette méthode de lutte permet de tirer des profits ou non.

### **3.4.4 Quantité des fruits véreux**

Les fruits véreux sont dus aux pourritures dues aux attaques éventuelles des asticots ou des maladies (Tristeza, pourridiés). Ces fruits véreux sont pesés et sont comptés pour chaque pied d'agrumes chaque semaine afin de connaître les pertes induites par ces ravageurs et suivre l'évolution de la production fruitière.

Les fruits véreux sont mis dans un sachet et sont exposés au soleil puis enterrés loin des vergers car ces fruits véreux sont des foyers de réinfestation.

## **3.5 Méthodes d'analyse**

### **3.5.1 Analyse statistique**

Les données collectées au cours de cette étude ont été traitées avec le logiciel Excel 1997-2003 de Microsoft office 2003. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Xl Stat 8 d'Addinsoft pour mettre en évidence une éventuelle différence.

L'analyse de variance a été effectuée au seuil de 5% afin de déterminer l'efficacité de l'attractif sur les captures des mouches de fruits dans les vergers en fonction des facteurs environnementaux (les températures et les précipitations) et de la phénologie des agrumes.

### **3.5.2 Analyse économique**

L'analyse économique est réalisée afin d'évaluer la rentabilité économique de la méthode qui se base sur l'utilisation de ces pièges à base de vinaigre de cidre pour les diptères, *Tephritidae*.

Trois ratios sont essentiellement calculés pour atteindre cet objectif.

Le Coût de Revient (CR) par kilogramme indique le coût de production d'un kilogramme des agrumes. Un coût de revient bas est toujours intéressant. Il a pour but de déterminer le bénéfice de cette lutte.

$$CR = \frac{\text{Total Charge}}{\text{Production Commerciale}}$$

Le Rapport Valeur Coût (RVC): il s'agit d'évaluer la rentabilité économique ou non de l'utilisation de ces pièges.

$$RVC = \frac{\text{Produit Brut}}{\text{Total Charges}}$$

La valeur de RVC est interprétée comme suit :

- Si  $RVC < 1$ , cela explique que l'utilisation de cette méthode de lutte n'est pas intéressante du point de vue économique
- Si  $1 < RVC < 2$ , cela désigne que cette méthode de lutte nécessite une amélioration pour être vulgarisée
- Si  $RVC > 2$ , cela signifie que cette méthode de lutte est intéressante et apte à la vulgarisation

Le Rapport Valeur Peine (RVP) est aussi calculé afin de savoir lequel des traitements est intéressant du point de vue revenu brut journalier en Ariary, pour une personne qui s'occupe un verger d'agrumes de 50 pieds.

$$RVP = \frac{\text{Revenu brut}}{\text{Durée totale de travail}}$$

La durée totale de travail est basée sur la durée de tout l'entretien tel que les préparations des pièges, les installations des pièges, le ramassage des fruits véreux, la récolte et les suivis des captures lors de l'expérimentation.

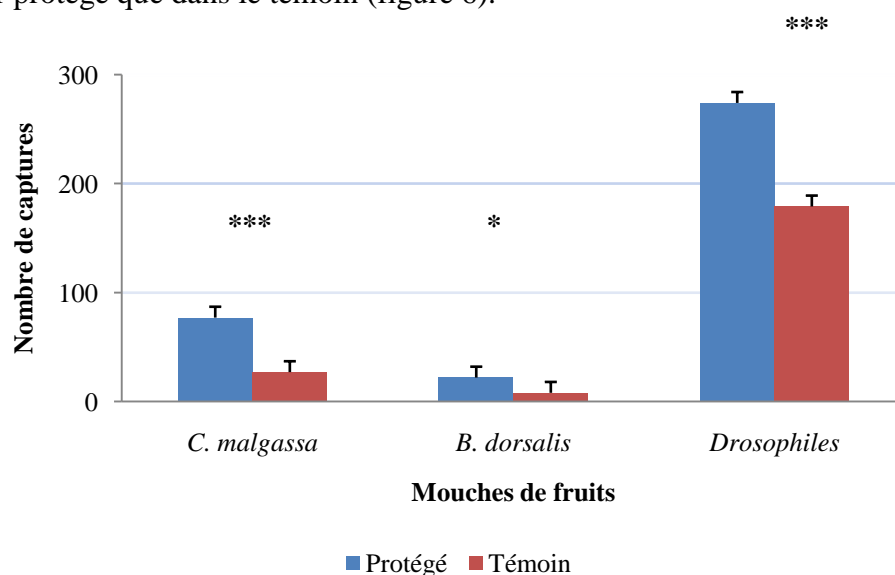
Les tarifs (coût de main-d'œuvre, prix des agrumes, matériels etc...) appliqués tiennent compte du contexte économique local.

## 4 RESULTATS ET INTERPRETATION

### 4.1 Importance globale des mouches capturées

Sur une période de capture de 2 mois du 31 mai au 26 juillet 2016, le dispositif de piégeage mis en place dans le cadre de cette étude a permis de capturer et d'identifier 134 mouches de fruits et 453 drosophiles .

Pour toutes les espèces de l'ordre des Diptères que ce soit *Ceratitis malgassa* ou *Bactrocera dorsalis* ou Drosophiles, le nombre de chaque espèce est nettement supérieur dans le verger protégé que dans le témoin (figure 6).

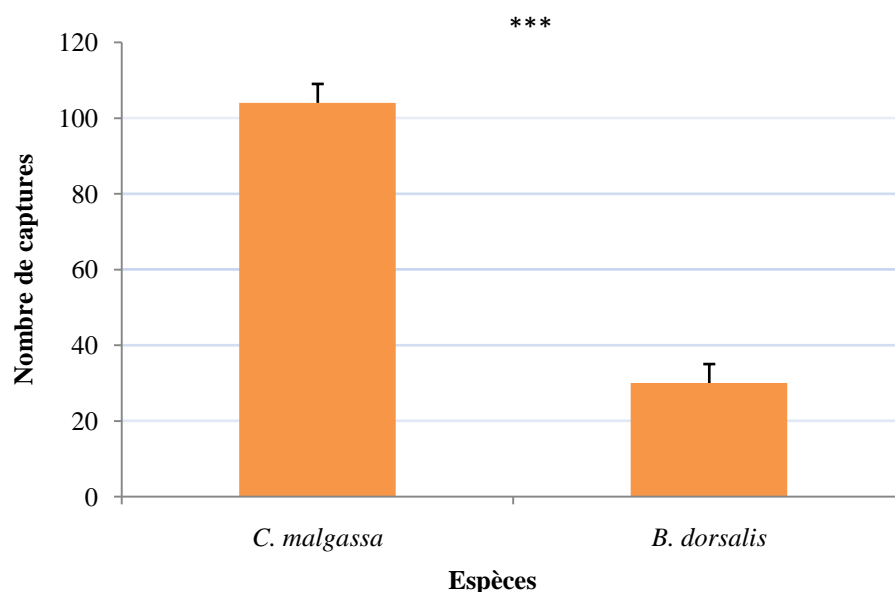


**Figure 6: Différentes espèces de mouches capturées (\*:  $p < 0,05$ ; \*\*\*:  $p < 0,001$ , barre d'erreur type)**

Il est à remarquer que tous les pièges ont capturé des drosophiles néanmoins pour la suite, notre étude se focalise seulement sur les mouches de fruits.

Parmi les espèces de mouches de fruits présentes, deux espèces de Tephritidae dominant: *Ceratitis malgassa* Munro représentant 77,6% des captures et *Bactrocera dorsalis* (Hendel) représentant 22,4% des captures (figure 7). Il est à noter que *Bactrocera dorsalis* était autrefois connu sous le nom de *Dacus dorsalis*. D'autres synonymes incluent *Bactrocera invadens* Drew, Tsuruta et White, *Bactrocera papayae* Drew et Hancock et *Bactrocera philippinensis* Drew et Hancock (Schutze *et al.*, 2015).

Donc, les vergers d'étude sont encore sous l'invasion massive de *Ceratitis* et *Bactrocera* commence à s'adapter dans les vergers.



**Figure 7: Importance globale des espèces de mouches de fruits capturées (\*\*\*:  $p < 0,001$ , barre d'erreur-type)**

#### 4.2 Évolution des mouches de fruits en fonction des facteurs climatiques

La température et les précipitations sont les deux facteurs climatiques considérés dans cette étude.

La courbe ombrothermique obtenue lors de cette étude montre que l'investigation a été menée généralement pendant la période sèche et froide de l'année (juin- juillet). La température moyenne est de  $15,4^{\circ}\text{C}$  et la moyenne hebdomadaire des précipitations enregistrées est inférieure à 6,5 mm de pluies (figure 8).

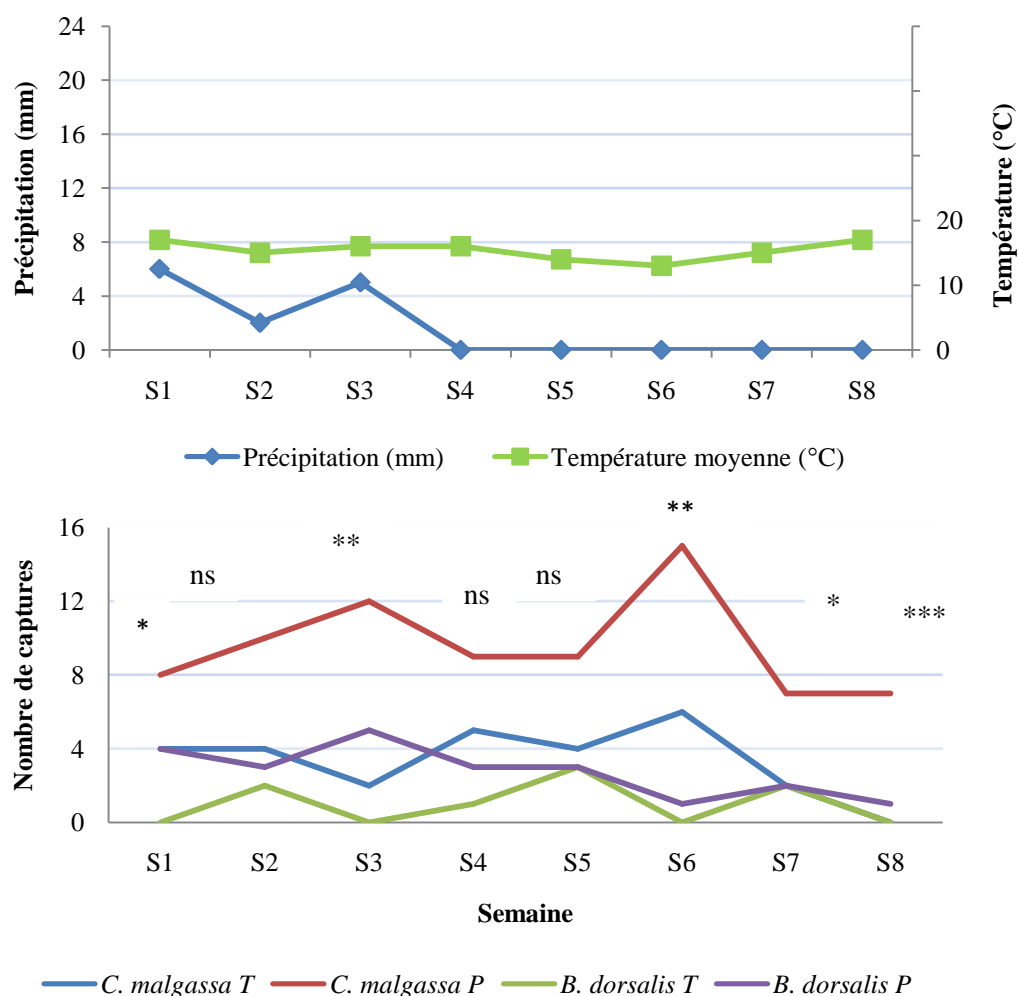
L'évolution des captures des deux espèces de mouches de fruits est variable durant l'expérimentation. Les observations en S1, S3, S6, S7 et S8 montrent que *C. malgassa* reste nettement important dans les deux traitements en particulier dans les vergers protégés que *B. dorsalis* (tableau 1, figure 8).

En S6 où la température est de  $13^{\circ}\text{C}$ , l'espèce *C. malgassa* dans le verger protégé est en grand nombre mais l'espèce *B. dorsalis* est absente dans le verger témoin.

En S7, il n'y a plus de fruits après récolte et le nombre des espèces de mouches capturées diminuent brusquement dans les deux traitements.

En S8, les deux espèces mouches de fruits sont absentes dans les vergers témoins et elles persistent dans les vergers protégés avec une nette diminution.





**Figure 8: Évolution des mouches de fruits capturées par les pièges (ns:  $p > 0,05$ , \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; \*\*\* :  $p < 0,001$ )**

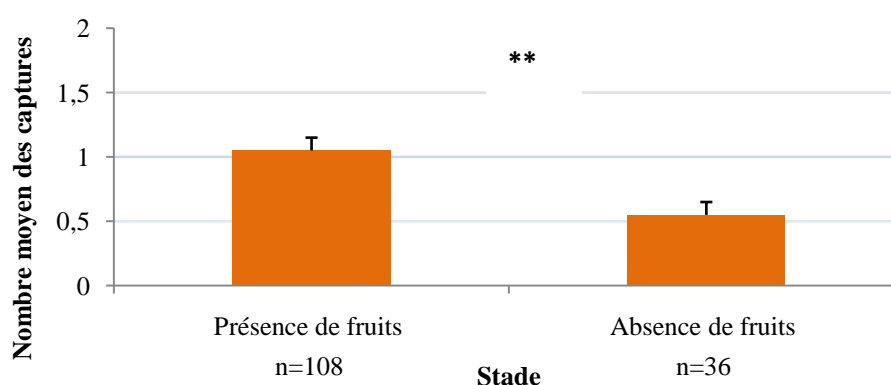
**Tableau 1: Analyse statistique de l'évolution des deux espèces de mouches capturées (F: ratio de Fischer, p: probabilité associée à la valeur de F)**

Semaine	F observée	p
S1	7,111	0,012
S2	1,435	0,303
S3	7,881	0,009
S4	1,458	0,297
S5	2,538	0,130
S6	13,595	0,002
S7	7,333	0,011
S8	22,667	0,000

### 4.3 Importance des fruits sur le nombre de capture

Lors de la mise en place de pièges, les agrumes sont déjà au stade de maturation de fruits, de couleur jaune et la récolte a eu lieu après la sixième semaine. Les arbres d'agrumes se trouvent au stade végétatif sans fruits à partir de la septième semaine.

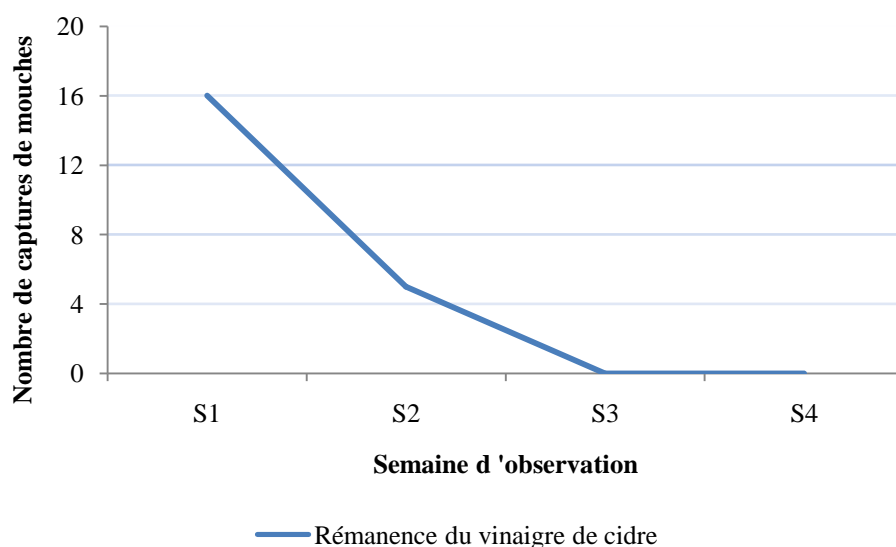
Le nombre de mouches de fruits est en relation avec la phénologie des agrumes. Un piège permet de capturer plus de mouches en présence de fruits qu'en absence de fruits ( $F=10,692$ ,  $p= 0,008$ ) (figure 9).



**Figure 9: Nombre moyen de mouches capturées par pièges (\*\*:  $p<0,01$ , barre d'erreur-type)**

### 4.4 Rémanence du produit

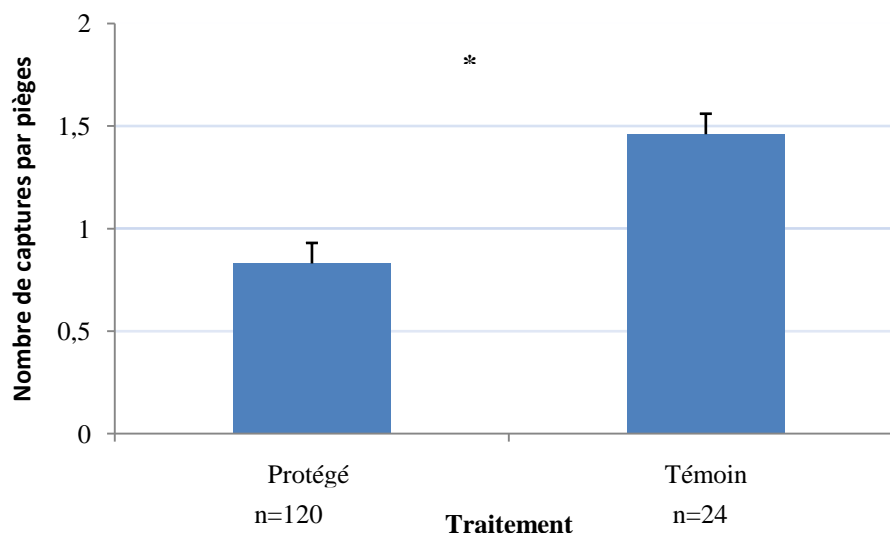
La rémanence du produit olfactif des pièges ne dépasse pas deux semaines quel que soit la période de mise en place de l'attractif et quel que soit le traitement. Cependant, le nombre capture diminue pour la deuxième semaine (figure 10).



**Figure 10: Durée moyenne de l'efficacité du vinaigre de cidre par piège (n=144)**

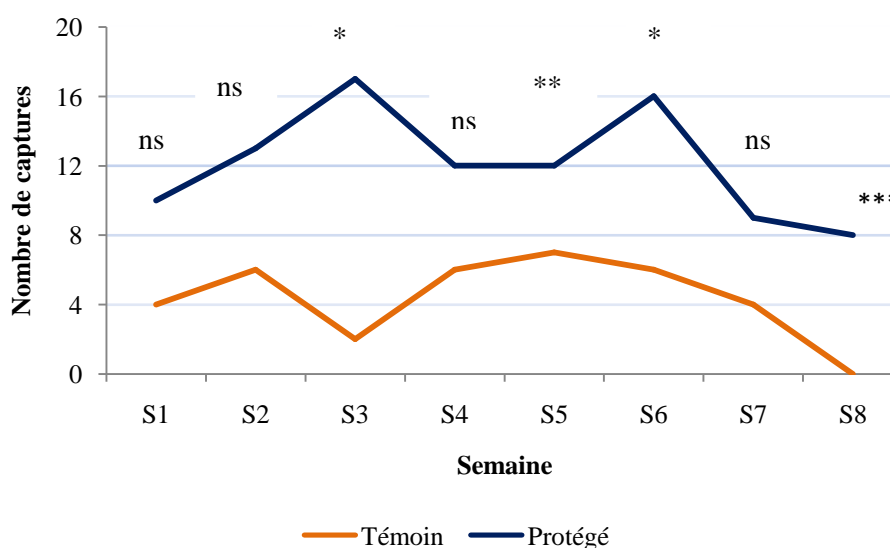
#### 4.5 Influence de la densité des pièges

Le nombre de mouches de fruits capturé varie en fonction des traitements. Dans le verger témoin, un piège permet de capturer plus de mouches de fruits dans les vergers témoins par rapport aux vergers protégés ( $F= 14,887$ ,  $p=0,018$ ) (figure 11).



**Figure 11: Influence de la densité de piège sur le nombre de mouches capturées par piège (\*:  $p<0,05$ , barre d'erreur-type)**

L'évolution du nombre de mouches de fruits total capturées est influencée par la densité des pièges. En S3, S5, S6 et S7, la capture est significativement supérieure pour les protégés que les témoins (figure 12, tableau 2).



**Figure 12: Évolution du nombre de mouches de fruits capturées en fonction de la densité des pièges (ns:  $p>0,05$ ; \*:  $p<0,05$ ; \*\*:  $p<0,01$ ; \*\*\*:  $p<0,001$ )**

**Tableau 2: Analyse statistique de l'influence de la densité des pièges (F: ratio de Fischer, p: probabilité associée à la valeur de F)**

Semaine	F observée	p
S1	6,400	0,065
S2	1,750	0,256
S3	11,250	0,028
S4	0,923	0,391
S5	25,000	0,007
S6	10,125	0,033
S7	6,000	0,070
S8	64,000	0,001

#### **4.6 Relation du nombre des mouches de fruits et du nombre des fruits véreux-tombés en fonction des conditions climatiques**

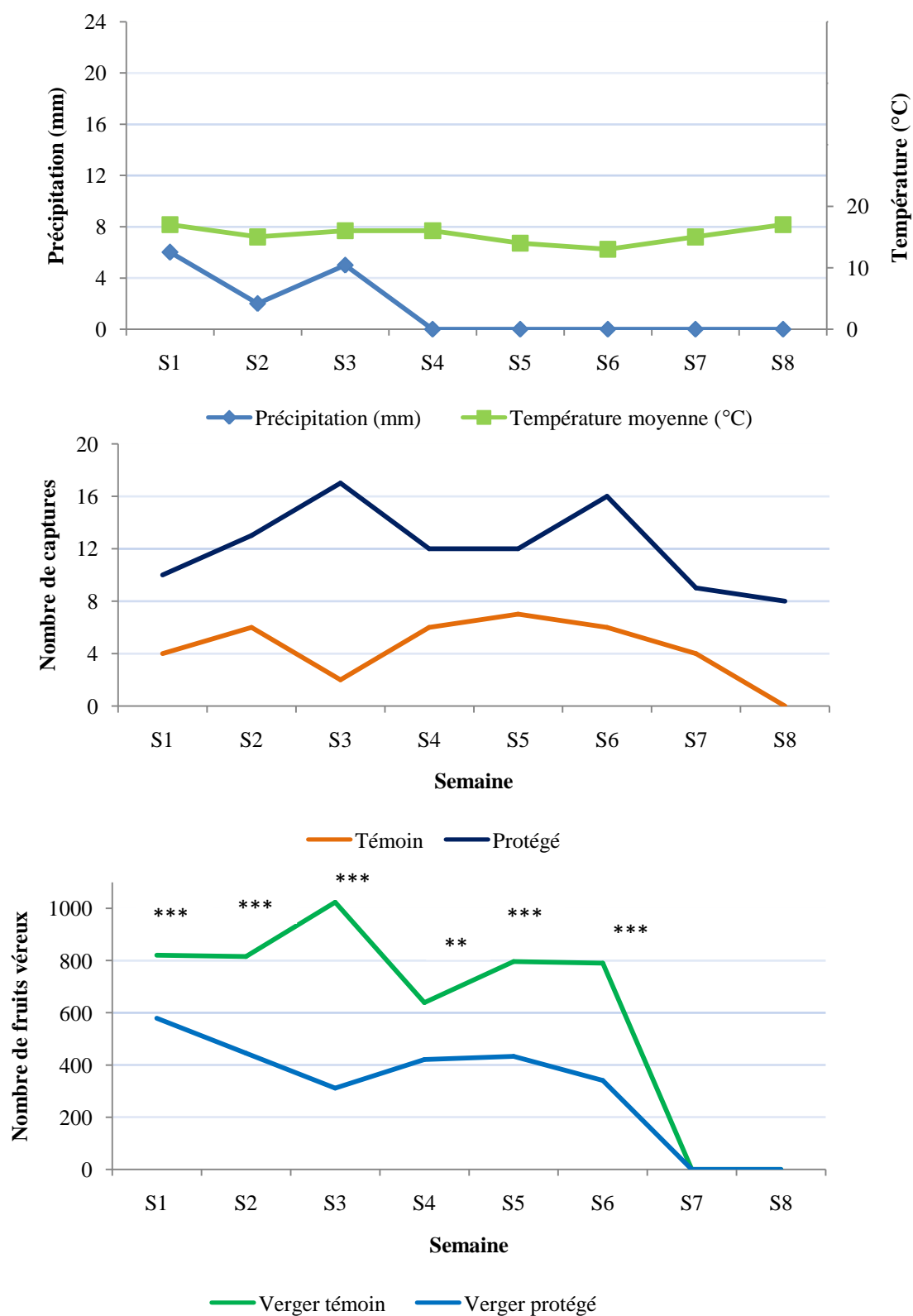
Le nombre de fruits véreux- tombés reste important dans le verger témoin que dans le verger protégé tout au long des six semaines après la mise en place des pièges (figure 13 et tableau 3).

Durant l'expérimentation, dans le verger protégé, lorsque le nombre de mouches de fruits augmente, la quantité des fruits véreux- tombés diminue.

En S3, dans le verger témoin, les mouches de fruits sont en nette diminution, par contre le nombre de fruits véreux- tombés est nettement important.

**Tableau 3: Analyse statistique des fruits véreux- tombés durant l'expérimentation (F: ratio de Fischer, p: probabilité associée à la valeur de F)**

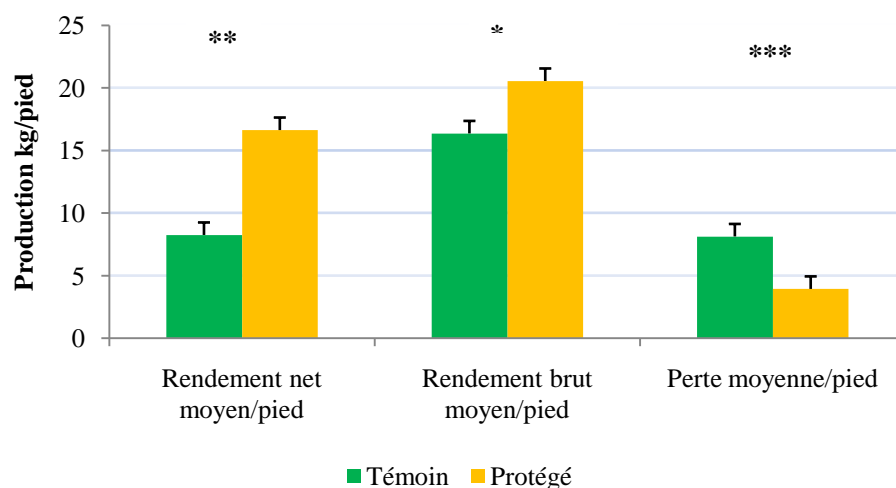
Semaine	F observée	p
S1	77,823	0,001
S2	68,645	0,001
S3	160,433	0,000
S4	20,647	0,010
S5	243,361	<0,0001
S6	236,698	0,000



**Figure 13: Évolution des fruits véreux- tombés durant l'expérimentation (\*\*:  $p < 0,01$ ; \*\*\*:  $p < 0,001$ )**

#### 4.7 Rendement

Les rendements obtenus pour chaque parcelle sont ramenés en fonction du traitement à un rendement moyen par pied. Le rendement brut et le rendement net des vergers protégés sont nettement meilleurs que celui des vergers témoins. Contrairement, pour les pertes de la production, elles sont importantes pour les vergers non protégés (figure 14, tableau 4).



**Figure 14: Production moyenne d'agrumes par pied (\*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; \*\*\* :  $p < 0,001$  ; barre d'erreur-type)**

**Tableau 4: Analyse statistique du rendement obtenu en fonction du traitement (F: ratio de Fischer, p: probabilité associée à la valeur de F)**

	F observée	p
Rendement brut	15,421	0.017
Perte	1087,745	<0,001
Rendement net	57,815	0,002

#### 4.8 Analyse économique

La base de calcul se rapporte au nombre de pieds moyen pour 5 pièges qui est égal à 50 pieds pour chaque traitement. Comme la rémanence du produit utilisé est de deux semaines, les pièges utilisés quel que soit le traitement sont réutilisés en changeant seulement le produit toutes les deux semaines (tableau 5).

**Tableau 5: Analyse de la rentabilité économique en fonction du traitement pour 50 kg de pieds d'agrumes**

Traitement	PU	Témoin		Protégé	
		Quantité	Coût total	Quantité	Coût total
Production commerciale (kg /50 pieds)		412		831	
<b>Produits bruts (prix de vente Ar/kg) )</b>	500,00	412	206 000,00	831	415 500,00
<i>Consommation intermédiaire CI</i>					
Bouteilles eau vive (unité)	100,00	2	200,00	10	1 000,00
Papier chemise (unité)	400,00	1	400,00	4	1 600,00
Scotch (unité)	1 000,00	1	1 000,00	1	1 000,00
Vinaigre de cidre (750 ml)	7 500,00	2	15 000,00	8	60 000,00
Fil recuit (kg)	5 000,00	1	5 000,00	1	5 000,00
<b>Total CI (Ariary)</b>			<b>21 600,00</b>		<b>68 600,00</b>
Préparation et installation des pièges	5 000,00	2	10 000,00	3	15 000,00
Ramassage des fruits véreux	5 000,00	8	40 000,00	2	10 000,00
Suivi des pièges	5 000,00	2	10 000,00	8	40 000,00
Récolte des fruits	5 000,00	6	30 000,00	6	30 000,00
<b>Total Coût de l'entretien (homme/jour=5000 Ar)</b>			90 000,00		95 000,00
Durée totale de travail (homme/jour)		18		19	
<b>Total Charge (Ariary)</b>			<b>111 600,00</b>		<b>163 600,00</b>
Revenu net (Ariary)			94 400,00		251 900,00
<b>RVC (Ariary)</b>			<b>1,85</b>		<b>2,54</b>
<b>CR (Ariary)</b>			<b>270,87</b>		<b>196,87</b>
<b>RVP (Ariary)</b>			<b>5 244,44</b>		<b>13 257,89</b>

Le verger protégé offre un revenu net supérieur que le verger témoin ( $F=38,111$ ;  $p=0,003$ ).

De plus, le verger protégé permet d'avoir un CR meilleur que le verger témoin ( $F=39,70$ ;  $p=0,003$ ). Et, le CR pour le verger protégé est plus bas donc il est intéressant.

L'étude RVC donne une différence significative entre les traitements ( $F=21,880$ ;  $p=0,009$ ). De plus, le RVC de la méthode alternative est supérieur à 2 donc cette méthode peut être vulgarisée. De plus, en investissant 1Ar pour la méthode de lutte contre les mouches de fruits, le verger protégé permet de récupérer 2,54 Ar (tableau 4).

Le RVP est donc le revenu brut d'une personne par jour de travail. Aussi, le RVP pour le verger protégé est nettement intéressant que celui du verger témoin ( $F=51,766$ ;  $p=0,002$ ). Donc, en se référant au RVP, l'utilisation d'un piège à base de vinaigre de cidre permet d'obtenir un revenu journalier plus important pour la parcelle protégée permettant de valoriser les efforts investis.

## 5 DISCUSSIONS

### 5.1 Mouches de fruits capturées

Deux espèces de mouches de fruits sont capturées telles que *Ceratitis malgassa* endémique et *Bactrocera dorsalis* invasive. De plus, des drosophiles dont les plus répandues sont *Drosophila melaganoster* sont aussi capturées. Cependant, pour la suite, seules les deux espèces de mouches de fruits sont traitées car elles appartiennent à la famille des Tephritidae.

*Drosophila melaganoster* appartient à la famille de Drosophilidae et elle vit en abondance sur les fruits très mûrs, endommagés, pourris, tombés au sol et en décomposition attaqués par d'autres diptères ou fermentation (orange, bananes...) (Joly, 2006). Donc, *Drosophila melaganoster* ne fait pas de dégâts qu'à la suite des attaques des autres ennemis des fruits (Joly, 2006; Petit, 2015).

#### 5.1.1 *Ceratitis malgassa*

Selon Dubois (1965), *Ceratitis malgassa* Munro a été signalée pour la première fois en 1914 par le Dr Legendre. Elle était d'ailleurs confondue avec *Ceratitis capitata* Wied. Néanmoins, il semble qu'elle a été retrouvée peu après puisque son identification exacte (*Ceratitis malgassa* Munro) et sa description datent de 1939.

*C. malgassa* est un diptère de la famille des Tephritidae. Cette famille comprend au moins 40 espèces à Madagascar. Selon Dubois (1965), *C. malgassa* est une mouche de la taille de la mouche domestique, à tête jaune assez grosse et yeux d'un vert émeraude chez l'insecte vivant. Cette mouche ne dépasse pas 4 mm et a une couleur gris orangé. Deux lignes longitudinales dorsales blanches, bordées de noir, allant de l'avant de la tête jusqu'à l'extrémité de l'écusson et une bande identique de chaque côté du thorax sont caractéristiques (Dubois, 1965, Lacoste, 1970). Elle a des yeux rouges et ses ailes sont transparentes, sans taches.

*C. malgassa* est apparentée à l'espèce *C. capitata*. Mais, *C. Capitata* qui mesure de 4 à 5 mm est caractérisé par un thorax noir à pruinosités dessinant des bandes argentées ou grises, un abdomen élargi à bandes transversales alternées grises et rousses, des ailes à larges bandes jaunes et un écusson (moitié apicale du scutellum) entièrement noir à l'exception d'une fine bande sinueuse jaunâtre (White et Elson-Harris, 1992). Or, lors de l'identification, nous confirmons que la cératite capturée est réellement *C. malgassa*.

La température optimale pour le développement de *C. malgassa* adulte se situe entre 18°C et 21°C (Ravaomanarivo, 1996). *C. malgassa* a un cycle de développement de 16 à 88 jours. La longévité des adultes varie suivant le sexe, les femelles vivent, généralement, plus longtemps que les mâles (Razafindrakoto, 1986; Ravaomanarivo, 1996). Le nombre annuel de générations dans la région des Hauts-Plateaux serait de 8 à 9 (Dubois, 1965). Une femelle peut donner jusqu'à 200 œufs environ au cours de sa vie (Rajoelisoa, 2002). Les œufs éclosent après 3 à 7 jours d'incubation (Rakotoarivony, 1999). Les asticots se nourrissent de la pulpe du fruit. Les asticots quittent le fruit et sortent des fruits pour s'enfouir dans le sol. Ils



vont se puper dans un sol à des profondeurs variables jusqu'à 20 cm. L'adulte émerge ensuite des pupes pour s'accoupler, puis les femelles cherchent des fruits hôtes pour démarrer une nouvelle génération.

*C. malgassa*, insecte à phototropisme positif, ne pond pas lorsque l'intensité lumineuse est faible (Dubois, 1965). Selon Ravaomanarivo (1996), la pluviométrie affecte l'activité des adultes et d'autre part elle influence le développement des pupes puisqu'elle conditionne la teneur en eau du sol. Les pupes peuvent se développer dans un sol moins sec et moins humide.

La mouche de fruits, *C. malgassa* Munro, cause chaque année entre 50 et 70% de dégâts aux agrumes et plus encore aux pêchers et pruniers (Dubois, 1965). Les fruits attaqués présentent généralement une zone de décoloration autour du point de piqûre (Rajoelisoa, 2002). Les femelles insèrent leurs œufs dans la pulpe du fruit grâce à leur ovipositeur. Les asticots sont éclos puis ils se développent dans le fruit. Ils minent la pulpe du fruit entraînant autour de la ponte un ramollissement de la peau accompagné par une décoloration qui s'étend et brunit (Lacoste, 1970). Un affaissement des tissus se produit donc le fruit devient mou. Enfin, le fruit entier pourrit et finit par tomber au sol.

Cette mouche de fruits attaque les oranges et mandarines, les pêches et prunes, les pommes roses, les avocats, les goyaves...A l'intérieur de Madagascar, *C. malgassa* paraît répandu partout (Dubois, 1965).

### 5.1.2 *Bactrocera dorsalis*

C'est une espèce exotique en Afrique décrite par Drew *et al.* (2005), *B. dorsalis*, probablement originaire du Sri Lanka (Asie), a été signalée pour la première fois en Afrique en 2003 au Kenya d'où elle a connu une très grande expansion se retrouvant aussi bien en Afrique de l'Est (Mwatawala *et al.*, 2006), qu'en Afrique de l'Ouest (Vayssières *et al.*, 2008 b). En 2010, elle est présente dans la plupart des pays africains tropicaux de la côte atlantique à la côte pacifique (Ngamo-Tinkeu *et al.*, 2010). Signalée aux Comores en 2005, l'espèce est apparue à Madagascar en 2010. Donc, *B. dorsalis* est un organisme transfrontalier.

L'espèce *B. dorsalis* appartient à la famille des Tephritidae. Mouche orientale des fruits, l'adulte a une longueur de corps d'environ 8 mm (Weems *et al.*, 2016) et un peu plus grand que la moyenne des mouches des fruits, a un thorax foncé sur le dos passant au brun-orangé et pâle à foncé sur l'abdomen. Elle a deux lignes thoraciques jaunes et une couleur orange abdomen tracé avec un T central. Ses ailes sont la plupart du temps transparent, avec ni taches, ni macula, mais la bande anale est souvent tout à fait distinctive (Vayssières *et al.*, 2008 b). Elle peut présenter de nombreuses variations au niveau des dessins et des couleurs du scutum (Drew *et al.*, 2005; Weems *et al.*, 2016))

Espèce multivoltine, les femelles pondent en moyenne 700 œufs et les adultes peuvent vivre environ 3 mois (Ekesi *et al.*, 2006) mais cela doit varier en fonction des hôtes.

La pupaison se produit dans le sol sous la plante hôte. Les adultes émergent après 1- 2 semaines (plus longtemps dans des conditions fraîches) et les adultes se produisent tout au long de l'année (Christenson et Foote, 1960, Baldy, 2014). Environ 9 jours sont nécessaires pour atteindre la maturité sexuelle après la sortie de la mouche adulte (Weems *et al.*, 2016)

Cette espèce est peu abondante en saison sèche. Ses populations augmentent particulièrement dès les premières pluies utiles et ce jusqu'à la fin de la saison pluvieuse (Vayssières *et al.*, 2008 b).

Chez les *Bactrocera* spp. en général, ce sont les adultes qui arrivent à survivre à de basses températures, avec un seuil de torpeur habituel de 7°C qui s'abaisse à 2°C en hiver. Le temps de génération moyen pour *B. dorsalis* est de 30,7 jours avec une température de 27 à 29°C. Cependant, le temps de génération dépend largement de la température (Manrakhan *et al.*, 2011). Les taux de développement de *B. dorsalis* ont été déterminés à cinq températures constantes de 15°C, 20°C, 25°C, 30°C et 35°C (Rwomushana *et al.*, 2008). Le seuil de développement inférieur de *B. dorsalis* s'est avéré être de 8,8 °C, 9,4°C et 8,7 °C pour l'œuf, la larve et la pupa (Manrakhan *et al.*, 2011).

*B. dorsalis* a une capacité de vol très développée qui lui permet de se disséminer facilement et aussi de ré-infester rapidement les vergers après traitement (Vayssières *et al.*, 2008).

L'espèce *B. dorsalis* est très polyphage. Elle attaque un large éventail de cultures fruitières (en particulier la mangue, la banane et agrumes) (Rwomushana *et al.*, 2008) dont son hôte primaire est le manguier.

## **5.2 Surveillance des mouches de fruits par l'utilisation des pièges**

Au cours de notre étude, à chaque collecte hebdomadaire, des captures de mouches de fruits et des drosophiles sont obtenues grâce à l'utilisation des pièges à base de vinaigre de cidre.

L'expérimentation s'est déroulée pendant la saison sèche et froide du mois de juin à juillet. La courbe ombrothermique pendant l'expérimentation montre que les températures sont inférieures à 18°C avec la température la plus basse à 13°C. Or, Ravaomanarivo (1996) montre que la température semble être le facteur prépondérant pour le développement et la longévité des adultes des mouches de fruits. Elle affirme aussi que la température optimale pour le développement du *C. malgassa* se situe entre 18 et 25°C. Contrairement à l'affirmation précédente, notre étude montre que même pour une température à 13°C, il peut y avoir un développement de l'espèce *C. malgassa*. En effet, selon Bateman (1972), les taux de croissance et de décroissance de ces populations dépendent des valeurs de la température qui par de multiples influences agissent aussi bien sur les individus de la population que sur leur mode de vie. La température inférieure à 17°C diminue l'action des larves qui se nourrissent moins activement et entraînant la diminution de leur poids et de la résistance à l'état adulte

(Randriatsaramiafara, 2014). Comme les températures de l'expérimentation sont basses, on remarque que le nombre de populations des mouches de fruits est moyennement faible. Donc, les mouches n'ont pas pu se développer correctement.

De plus, les précipitations sont presque nulles donc les pluies sont absentes. Or, *B. dorsalis* se développe dans les conditions plus humides (Vayssières et al., 2009 b). Cela conduit à la faible pullulation de cette espèce tout au long de l'expérimentation.

Sur les plateaux, en raison du froid hivernal, les mouches sont plutôt rares de juin à octobre et la séquence normale des attaques pour les agrumes est de mars à décembre avec un ralentissement très net pendant la saison froide (Lacoste, 1970)

Le piège à base de vinaigre de cidre utilisé dans la parcelle témoin a permis de capturer 0 à 2 mouches par semaine. Aussi, lors de l'expérimentation, le piège peut être utilisé à titre d'avertissement dans la parcelle témoin parce qu'à la huitième semaine, aucune mouche de fruits n'a été capturée. Cependant, dans le verger protégé, les pièges ont toujours capturé des mouches mais le nombre a nettement diminué. Cela s'explique par la présence encore des fruits des vergers aux environs des sites d'études.

Dubois (1965) affirme qu'une substance attractive efficace permet de déterminer le début de l'infestation d'un verger, les fluctuations des populations au cours du temps. Ce piège est placé comme moyen de détecter la présence ou l'absence des mouches de fruits. Or, le seuil de nuisibilité est de 1 pour le traitement localisé et 3 à 5 mouches pour le traitement généralisé (Praloran, 1971).

**L'hypothèse 1 selon laquelle « A titre d'avertissement, la présence d'un piège à base de vinaigre de cidre dans le verger permet de détecter la présence ou absence des mouches de fruits » est rejetée** parce qu'on n'a pas pu avoir les conditions recherchées pour l'activité des mouches de fruits.

### **5.3 Contrôle des mouches de fruits par le piège jaune à base de vinaigre de cidre**

L'investigation montre que deux espèces de mouches de fruits: *C. malgassa* et *B. dorsalis* sont capturées par les pièges jaunes avec l'attractif à base de vinaigre de cidre ainsi que des drosophiles *Drosophila melanogaster* qui sont les plus répandues (Joly, 2006).

Tout d'abord, le piège jaune attire des mouches de fruits. Quilici (2004) estime que la couleur jaune constitue une source d'attractivité induisant la recherche de nourriture pour les mouches de fruits. En effet, la raison de cette forte attractivité est fournie par la ressemblance entre la couleur du fruit hôte et le piège utilisé qui est de couleur jaune. De même, Katsoyannos (1989) décrit que la couleur jaune s'avère la plus attractive pour presque toutes les espèces de mouches de fruits. Cela s'explique par ailleurs que l'œil des insectes a une grande adaptation à la perception des formes. Cependant, les pièges jaunes ont un pouvoir attractif ne dépassant pas les limites de l'arbre auxquels ils sont accrochés (Delrio et al., 1982).

Ainsi, l'association du piège jaune à l'attractif alimentaire le vinaigre de cidre est nécessaire pour l'efficacité de la lutte. L'odeur du vinaigre de cidre comme une fermentation d'un fruit pourri interagit avec la vision. Quilici (2004) confirme que les mouches s'immobilisent le plus souvent en direction de la source d'odeur avant de décoller contre le vent. Il montre qu'agrémentée d'odeur, la sphère jaune devient plus attractive. Donc, le piège visuel n'est pas efficace sans l'attractif olfactif. De même, Economopoulos (1986) confirme avoir obtenu de bons résultats en appâtant les pièges jaunes avec l'hydrolysât de protéine. L'association de l'attractif visuel avec l'attractif alimentaire joue un rôle important dans la capture des mouches de fruits.

Toutefois, la rémanence du produit joue un rôle dans la capture des mouches de fruits. L'expérimentation a montré que le produit à base de vinaigre de cidre est toujours actif pendant deux semaines quel que soit la période de mise en place des pièges. Toutefois, d'autres produits attractifs montrent que la rémanence de produit utilisé est de sept jours. Belhoucine (2003) décrit que les solutions contenues dans les gobe-mouches avec de l'eau sucrée ou une solution de phosphate d'ammoniaque à 30 g/ l doivent être renouvelées régulièrement tous les sept jours. De même, Tankoano (2010) a montré que les attractifs naturels tels que la bière locale et la banane, les fruits en putréfaction et le lait ont permis de capturer l'espèce *B. dorsalis* et sont renouvelés chaque semaine. Enfin, les pièges à liquides composé des pastilles hydrosolubles de Torula et les mélanges de Nulure-Borax qui sont des attractifs sexuels seront renouvelés chaque semaine (Vayssières et Sinzogan, 2008).

Ainsi, le produit à base de vinaigre de cidre présente une meilleure rémanence de deux semaines que les autres produits susmentionnés. Cette propriété du produit permet à l'attractif alimentaire avec le piège visuel de couleur jaune de capturer des mouches de fruits au cours de deux semaines.

De plus, notre étude a montré aussi qu'il y a une relation entre la capture des mouches de fruits et la densité des pièges. En considérant un piège par verger, il y a plus de mouches dans les témoins que dans les protégés (figure 11). Cependant, avec le nombre de pièges mis en place dans le verger protégé (1 piège pour 10 pieds), le nombre total de capture devient plus important que dans le verger témoin. On conclut donc que la densité des pièges a une influence sur les mouches de fruits.

Ensuite, le nombre de mouches de fruits capturées est influencé par la présence ou l'absence des fruits. Avec la présence des fruits, le piège permet de capturer plus de mouches de fruits qu'en absence des fruits (figure 9). Ouedraogo (2011) affirme que le nombre moyen d'individu capturé par piège est plus élevé en présence des fruits pour les mouches de fruits surtout les femelles quelle que soit l'espèce.

Enfin, comme les pièges sont mis en place tout en suivant l'évolution de la production fruitière, les fruits véreux- tombés diminuent quand le nombre de mouches de fruits augmente. Les fruits véreux tombent en grande quantité dans le verger témoin parce que les

femelles pondent des œufs sur les fruits et constituent une source de nourriture des asticots (Bateman, 1972; Ouedraogo, 2011). Par contre dans le verger protégé, avec la densité élevée des pièges à base de vinaigre de cidre, les mouches sont attirées par ces pièges visuels et olfactifs donc, les dégâts sur les fruits sont réduits. Donc, la production fruitière est importante dans le verger protégé que dans le verger témoin. La présence des pièges à densité élevée constitue une meilleure protection pour le verger contre les mouches de fruits.

**Pour cela, l'hypothèse 2 selon laquelle « La mise en place des pièges à base de vinaigre de cidre, à densité élevée (1 piège pour 10 pieds), permet de contrôler les mouches de fruits » est acceptée.**

#### **5.4 Rentabilité de l'utilisation des pièges**

L'étude a donné que la production fruitière nette obtenue est largement inférieure à la moyenne de production estimée. Le rendement en agrumes varie de 50 kg à 125 kg selon les variétés (DIARY VALY, 1994; Ratsimbazafy, 1999). Cependant, en comparant les vergers protégés et le témoin, une différence significative s'observe en matière de production d'agrumes. Donc, la mise en place des pièges a permis d'obtenir de bon rendement et de réduire les pertes dues aux mouches de fruits (Vayssières *et al.*, 2009; Ouedraogo, 2011).

Cependant, d'autres facteurs aussi peuvent influencer la production telle que d'autres ennemis de cultures comme les pucerons, la cochenille des agrumes ou maladies qui peuvent atteindre les pieds d'agrumes comme les pourridiés, le tristeza (DIARY VALY, 1994)

Pour adopter une méthode agricole, il en dépend de la lourdeur des charges y afférentes et des produits bruts générés par cette méthode. Le coût d'installation des pièges est important pour le verger protégé par rapport au témoin. Pourtant, le verger protégé est bénéfique grâce à l'abondance de la production.

Effectivement, l'analyse économique montre aussi que le verger protégé génère un revenu net agricole meilleur que le verger témoin. De plus, son Rapport Valeur Coût est supérieur à 2, ce qui signifie que la méthode alternative avec l'utilisation de piège à base de vinaigre de cidre peut être vulgarisée auprès des producteurs.

Du point de vue jours de travail, cette méthode demande plus d'une journée que le témoin. Malgré ce nombre de jour élevé, le verger protégé procure plus de revenu brut journalier pour le producteur d'agrumes.

**Donc, l'hypothèse 3 selon laquelle « L'utilisation des pièges à base de vinaigre de cidre est rentable » est acceptée.**

#### **5.5 Analyse sur la méthodologie de recherche**

Comme aspect positif, les vergers d'étude se trouvent dans une même zone agroécologique donc les conditions climatiques et pédologiques, la topographie, le niveau d'altitude et la végétation sont identiques. La distance de 50 m est respectée pour éviter l'interférence des pièges.

L'attractif utilisé, le vinaigre de cidre, ne fait pas distinction de sexe des mouches de fruits, il attire à la fois les mâles et les femelles. De plus, il attire aussi toutes les espèces de mouches de fruits sans distinction de genre.

Le vinaigre de cidre fabriqué industriellement permet de capturer les mouches de fruits mais il est certainement meilleur s'il est obtenu artisanalement.

En outre, le vinaigre de cidre est disponible sur le marché tout au long de l'expérimentation et aucune contrainte du produit attractif n'a été remarquée. Il en est de même pour le support d'attractif comme il s'agit de bouteille plastique de marque Eau vive, l'adjonction chaque semaine de piège s'est bien déroulée.

Comme points faibles, lors de l'identification des mouches de fruits, il a été difficile de distinguer les espèces et d'utiliser la clé d'identification des mouches de fruits d'importance économique parce que les ailes des mouches sont putréfiées et seul le thorax reste un moyen de distinction.

De plus, comme la présence des fruits a eu lieu pendant 6 semaines, l'expérimentation aurait pu être prolongée pour une durée plus longue.

Enfin, la date de début de l'expérimentation à la fin du mois de mai est en retard par rapport au développement des mouches de fruits parce que les fruits sont déjà bien matures. C'est la raison pour laquelle que la production fruitière est très faible à cause de l'attaque des mouches de fruits.

## **5.6 Perspectives d'améliorations**

Le piège à base de vinaigre de cidre doit être amélioré avec l'ajout d'une goutte de liquide vaisselle pour que les mouches de fruits se noient rapidement. Des trous sont rajoutés au piège afin d'augmenter le nombre d'ouverture d'entrée des mouches de fruits.

Ensuite, pour faciliter l'identification des espèces de mouches de fruits, il est conseillé de faire une incubation des fruits véreux.

De plus, pour que l'identification à base des ailes des mouches de fruits soit possible, il faut faire un prélèvement deux fois par semaine. Mille (2000) propose lors de son étude que les mouches de fruits sont collectées deux fois par semaine.

La mise en place des pièges à base de vinaigre de cidre pour détecter la présence ou l'absence des mouches de fruits en vue du déclenchement de la protection des vergers d'agrumes doit être entamée dès l'apparition des fruits.

Enfin, l'augmentation du ratio 1 piège pour 5 pieds d'agrumes aurait pu améliorer la production d'agrumes, réduire les pertes dues à la pullulation des mouches de fruits et capturer un nombre important de mouches.

## CONCLUSION

La lutte biologique s'avère très intéressante parce que les effets néfastes des produits chimiques sur l'environnement et la santé humaine que ce soit l'utilisateur ou le consommateur sont de plus en plus prouvés.

De ce fait, ce travail a été conduit dans le but de rechercher de méthode de lutte alternative contre les mouches de fruits qui infestent les agrumes dans les vergers des communes rurales de Fenoarivo et de Fiadanana. Trois hypothèses ont guidé nos recherches.

Après deux mois de collectes de données sur terrain, la recherche a permis de connaître l'efficacité de la lutte biologique contre les mouches de fruits à base de vinaigre de cidre.

La vérification de notre première hypothèse de travail a permis de montrer la présence de deux espèces de mouches de fruits: *C. malgassa* endémique et *B. dorsalis* invasive avec *Drosophila melanogaster* dans les vergers d'agrumes. Par ailleurs, dans les conditions défavorables aux mouches de fruits, leur nombre diminue voire même absent pour le verger témoin. Cependant, comme d'autres vergers d'agrumes aux environs des vergers d'étude contiennent encore des fruits, les pièges dans les vergers protégés ont encore capturé des mouches de fruits après la récolte dans les vergers d'étude. Donc, la première hypothèse que la présence d'un seul piège dans un verger permet de détecter la présence ou l'absence des mouches de fruits est contredite.

Notre investigation qui nous a conduit à notre deuxième hypothèse a permis de montrer que l'attractif à base de vinaigre de cidre a une rémanence de deux semaines. Même après la récolte des fruits, la présence de piège de couleur jaune associé au vinaigre de cidre permet de capturer les mouches de fruits des autres vergers périphériques. Avec une densité de 1 piège pour 10 pieds, les mouches de fruits sont contrôlées.

En vérifiant la troisième hypothèse, les résultats économiques évoquent que la production fruitière des vergers protégés par le piège à base de vinaigre de cidre est intéressante et que la méthode alternative peut être vulgarisée. Donc, l'utilisation des pièges à base de vinaigre est rentable pour les producteurs. De plus, ce produit est accessible au marché et à la portée des producteurs.

Avec cette méthode, l'environnement est préservé tout en protégeant aussi les producteurs et les consommateurs.

Notre recherche a permis de s'ouvrir dans d'autres horizons qui pourront être traités comme:

- La fluctuation des populations des mouches de fruits avec l'utilisation des pièges à base de vinaigre de cidre tout au long du cycle des agrumes
- L'étude des drosophiles par l'utilisation des pièges à base de vinaigre de cidre
- L'efficacité de la lutte biologique à base de vinaigre de cidre sur d'autres plantes hôtes de mouches de fruits comme les manguiers, les goyaviers...

## **BIBLIOGRAPHIE**

- ❖ **Baechler J-P., 2015**, Traitements phytosanitaires utilisés en arboriculture biologique, Commission Environnement-Ecologie, Paris, 4 pages
- ❖ **Baldy S., 2014**, Préférence des femelles chez une communauté de mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) vis-à-vis de la gamme de fruits-hôtes présente à La Réunion, SupAgro, AgroCampus Ouest, 56 pages
- ❖ **Bateman, M.A., 1972**, The ecology of fruit flies. Annual Review of Entomology 17:493-518.
- ❖ **Belhoucine S., 2003**, Étude de l'éventualité d'un contrôle biologique contre la mouche de l'olive *Bactrocera oleae* (Diptera - Tephritidae) dans cinq stations de la Wilaya de Tlemcen, Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, 103 pages
- ❖ **Christenson L.D. et Foote R.H., 1960**, Biology of fruit flies. Annual Review of Entomology 5, 171-192
- ❖ **CREAM, 2013**, Monographie Région Analamanga, Edition HR Services, Antananarivo, 302 pages
- ❖ **Delrio G. et Zumreoglu A., 1982**, Attractability range and capture efficiency of medfly traps, in International Symposium on Fruit Flies of Economic, page 89
- ❖ **Delrio G., Prota R., Economopoulos M.P. et Haniotkis G.E. 1982**, Comparative study on food, sex and visual attractions for the olive fruits fly. CEIIOBC Symposium - Athens, pp. 465-468
- ❖ **DIARY VALY, 1994**, Cultures fruitières, Valy Agridéveloppement, Antananarivo, 102 pages
- ❖ **Djamal K. et Ahmed L., 2008**, Estimation de l'infestation des différentes variétés d'agrumes par *Ceratitis capitata* Wied., 1824 (Diptera; Tephritidae) en fonction de l'exposition dans différents vergers de la région de Tizi-Ouzou, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 67 pages
- ❖ **Drew R.A.I., Tsuruta K. et White I.M. (2005)**. A new species of pest fruit fly (Diptera: Tephritidae/Dacinae) from Sri Lanka and Africa. African Entomology 13, 149-154.
- ❖ **Dubois J., 1965**, La mouche des fruits malgache (*Ceratitis malagassa* MUNRO) et autres insectes des agrumes, pêchers et pruniers à Madagascar vol 20, n° 29, 435-460
- ❖ **Economopoulos A.P., 1986**, Evaluation of color and food-odor trapping methods in the olive fruit fly. In: Pest control operations and systems analysis in fruit fly management. Nato ASI Series G: Ecological Sciences, vol. 11. Springer Verlag, Berlin, pp. 111-115



- ❖ **Ekesi S., Nderitu P.W. et Rwomushana I., 2006**, Field infestation, life history and demographic parameters of the fruit fly *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) in Africa. Bulletin of Entomology Research 96, 379-386
- ❖ **FAO, 2005**, Glossary of Phytosanitary terms. In: I.P.P.C. (IPPC) (ed.), ISPM, Publication Number 5, FAO, Rome, Italy
- ❖ **FAO, 2016**, Données sur la production des agrumes, FAO Antananarivo, 1 page
- ❖ **Fletcher B.S. et Prokopy R.J., 1991**, Host location and oviposition in tephritid fruit flies, pp. 139-171.
- ❖ **Fontaine R. et Duffourc V., 2013**, Recommandations face à *Drosophila suzukii* (Matsumura) sur fraise, 2 pages
- ❖ **Franck A., 2008**, Capture Conditionnement Expédition Mise en collection des insectes et acariens en vue de leur identification, 2008, 50 pages
- ❖ **Gilbert A.J., Bingham R.R., Nicolas M.A et Clark R.A., 2005**, Insect Trapping Guide, Californie Department of Food and Agriculture, 153 pages
- ❖ **Gomina M., 2015**, Contribution a la connaissance des mouches des fruits (Diptera: Tephritidae) et de leurs parasitoïdes au sud du Togo, Thèse de doctorat en sciences de la vie, Spécialité: Biologie de développement, Option: Entomologie Appliquée, Faculté des Sciences Lomé-Togo, Université de Lomé, 190 pages
- ❖ **Joly D., 2006**, La Drosophile: un insecte au service de la science, Banque des savoirs: Biologie et génétique, 6 pages
- ❖ **Katsoyannos B.I., 1987**, Effect of color properties of spheres on their attractiveness for *Ceratitis capitata* (Wiedemann) flies in the field. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 104: 79-85.
- ❖ **INSTAT, 2016**, Données des productions agricoles à l'exportation, Rapport d'activités, Antananarivo, 1 page
- ❖ **Lacoste P., 1970**, La défense des cultures à Madagascar, Agence du B.D.P.A à Madagascar, 340 pages
- ❖ **Lacroix C. et Harnois M., 2013**, La drosophile à ailes tachetées: dépistage et contrôle, Réseau d'avertissements phytosanitaires, Bulletin d'information N°04, Petits fruits, 8 pages
- ❖ **Lambert L., Roullé N. et Bindea R., 2014**, La drosophile à ailes tachetées attaque nos petits fruits, 16 pages
- ❖ **Manrakhan A., Venter J.H. et Hattingh V., 2011**, *Bactrocera invadens* Drew Tsuruta and White The African Invader fly Action Plan , Citrus Research International, NPPOZA, 15 pages

- ❖ **MCD, 1984**, Mémento de l'Agronome, Collection « Techniques rurales en Afrique », Quatrième édition, 1635 pages
- ❖ **MEADR/ DPV/ GTZ/ Coopération Suisse, 1994**, Index phytosanitaire à Madagascar, TPFLM, Antananarivo, 241 pages
- ❖ **Meats A., 1983**, The response of the Queensland fruit fly, *Dacus tryoni*, to tree models, pp. 285-289, Fruit flies of Economic Importance. Proceedings of the CEC/IOBC International Symposium. Cavalloro, R., Athens, Greece
- ❖ **Mille C., 2010**, Les mouches des fruits de Nouvelle-Calédonie (Diptera, Tephritidae): Systématique, Comportement, Dynamique et Gestion des Populations, Thèse de doctorat Sciences de l'Université de la Nouvelle-Calédonie, Spécialité Physiologie et Biologie des Organismes, 349 pages
- ❖ **Mwatawala M.W., De Meyer M., Makundi R.H. et Maerere A.P., 2006**, Seasonality and host utilization of the invasive fruit fly, *Bactrocera invadens* (Dipt., Tephritidae) in central Tanzania. J. Appl. Entomol 130, 530-537
- ❖ **Ngamo-Tinkeu L.N., Ladang D., Vayssières J-F. et Lyannaz J.P., 2010**, Diversité des espèces de mouches des fruits (Diptera: Tephritidae) dans un verger mixte dans la localité de Malang (Ngaoundéré, Cameroun), International Formulae Group, 1426-1434
- ❖ **Norrbom A., 2004**, Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Classification and diversity, Systematic and Entomology Laboratory, ARS, USDA, Department of entomology, NMNH, SI; The Diptera Site
- ❖ **Noussourou M. et Diarra B., 1995**, Mouches des fruits au Mali : Bioécologie et possibilités de lutte intégrée. Sahel IPM 6, 2-13.
- ❖ **Orgone, 2013**, Les bienfaits du vinaigre de cidre pour la santé, Paris, 2 pages
- ❖ **Ouedraogo S.N., 2011**, Dynamique spatio temporelle des mouches des fruits (Diptera, Tephritidae) en fonction des facteurs biotiques et abiotiques dans les vergers de manguiers de l'Ouest du Burkina Faso, Thèse de doctorat, Spécialité Ecophysiologie, Université Paris Est, 155 pages
- ❖ **Paulian R., 1950**, Insectes utiles et nuisibles de la région de Tananarive, Publication de l'Institut de Recherche Scientifique, Antananarivo, 120 pages
- ❖ **Petit J-L., 2015**, Arbo Bio Infos, n°200, ISSN : 2261 - 965, Manosque, 6 pages
- ❖ **Praloran J.C., 1971**, Les agrumes, Ed G.P Maisonneuve et Larose, Paris, 565 pages
- ❖ **Praveen H.M., Nandeesh M., Chandra Mouli M.R., Rao G.V.G. et Vijaysegaran S., 2012**, Management of melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) infesting

- gherkin: an areawide control programme adopted in peninsular India J. Hortl. Sci. Vol. 7(1):68-74, 2012
- ❖ **Prokopy R.J. et Owens E.D., 1983**, Visual detection of plants by herbivorous insects. Annual Review of Entomology 28: 337-364.
  - ❖ **Quilici S., 2004**, Interactions à différents niveaux trophiques chez les diptères Tephritidae, Thèse, Université de La Réunion, 91 pages
  - ❖ **Raharimalala R.J.B., 2012**, Évaluation ex-ante de la contribution des TIC au développement de la filière orange, cas d'Ambohijafy, DESS en Économie, Université d'Antananarivo, 100 pages
  - ❖ **Rajoelisoa A.S., 2002**, Impact du traitement phytosanitaire des arbres fruitiers sur les abeilles Cas de l'agrumiculture dans la Région d'Ambositra, Mémoire de fin d'études, Université d'Antananarivo, 88 pages
  - ❖ **Rakotoarivony M., 1999**, Fiche technique des protections fruitières, Antananarivo
  - ❖ **Randriatsaramiafara R.B., 2014**, Fluctuation saisonnière de mouches de fruits (Diptères: Tephritidae) en fonction des paramètres abiotiques dans les vergers d'agrumes d'Ambohijafy, Mémoire de fin d'études, Université d'Antananarivo, 57 pages
  - ❖ **Ratsimbazafy M., 1999**, Torolalana momba ny fitantanana ny saham-boankazo fihinamboa eto afovoan-tany, GTZ/ Coopération Française/ DPV, 96 pages
  - ❖ **Ravaomanarivo L.H., 1966**, Contribution à l'étude de la biologie de Cératites (*Ceratitis malgassa* Munro) et à l'étude systématique des espèces du genre *Ceratitis* (Diptères- Tephritidae) à Madagascar, Thèse, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 93 pages
  - ❖ **Razafindrakoto N.H., 1986**, Contribution à l'étude de la mouche des fruits malgaches, *Ceratitis malgassa* Munro, Mémoire de DEA, EESS, Université d'Antananarivo, 50 pages
  - ❖ **Razanakoto O.R., 2008**, Potentialités de la pratique agroforestières du type verger potager d'Ambohijafy pour accéder au marché international du carbone, DEA, Université d'Antananarivo, 77 pages
  - ❖ **Rebour H., 1966**, Les agrumes, Bibliothèque d'horticulture pratique, 5ème Edition, Ed.Baillière et Fils Paris, 253 pages
  - ❖ **Rwomushana I, Ekesi S., Gordon I. et Ogol C.K.P.O., 2008**, Host plants and host plant preference studies for *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) in Kenya, a

new invasive fruit fly species in Africa. *Annals of the Entomological Society of America* 101(2), 331-340

- ❖ **Santolini L., 2011**, Les huiles essentielles et leur usage en milieu vétérinaire. «Les chiens et les chats », Cours de phytothérapie aromathérapie, 3 pages
- ❖ **Service de la météorologie, 2015**, Données climatiques: 2011 à 2015d'Antananarivo
- ❖ **Schutze M.K., Aketarawong N., Amornsak W., Armstrong K.F., Augustinos A.A., Barr N., Bo W., Bourtzis K., Boykin L.M., Cáceres C., Cameron S.L., Chapman T.A., Chinvinijkul S., Chomic A., De Meyer M., Drosopoulou E., Englezou A., Ekesi S., Gariou-Papalexiou A., Geib S.M., Hailstones D., Hasanuzzaman M., Haymer D., Hee A.K.W., Hendrichs J., Jessup A., Ji Q., Khamis F.M., Krosch M.N., Leblanc L., Mahmood K., Malacrida A.R., Mavragani-Tsipidou P., Mwatawala M., Nishida R., Ono H., Reyes J., Rubinoff D., San Jose M., Shelly T.E., Srikachar S., Tan K.H., Thanaphum S., Haq I., Vijayasegaran S., Wee S.L., Yesmin F, Zacharopoulou A et Clarke R., 2015**, Synonymization of key pest species within the *Bactrocera dorsalis* species complex (Diptera: Tephritidae): taxonomic changes based on a review of 20 years of integrative morphological, molecular, cytogenetic, behavioural and chemoecological data. *Systematic Entomology* 40: 456-471
- ❖ **Steiner L.F., 1969**, Control and eradication of fruit flies on citrus. *Proc. First Int. Citrus Symp.* 28: 881-887
- ❖ **Tankoano M.P., 2010**, Identification des agents responsables des piqûres et des pourritures internes des fruits des cultivars indiens de jujubiers au Burkina Faso, DEA, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, 41 pages
- ❖ **Vayssières J-F., 1999**, Les relations plantes-insectes chez les Dacini (Diptera Tephritidae) ravageurs des Cucurbitacées à La Réunion: thèse de doctorat. Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 205 pages
- ❖ **Vayssières J-F., Sanogo F. et Noussourou M., 2004**. Inventaire des espèces de mouches des fruits (Diptera: Tephritidae) inféodées au manguier au Mali et essais de lutte raisonnée, *Fruits*, 2004, vol. 59, p. 3-16
- ❖ **Vayssières J-F. et Sinzogan A., 2008**, Piégeage de détection des mouches des fruits. Projet régional de lutte contre les mouches des fruits en Afrique de l'Ouest, Fiche N°3, IITA-CIRAD, 4 pages
- ❖ **Vayssières J-F., Sinzogan A. et Bokonon-Ganta A., 2008 a**, Les mouches des fruits du genre *Ceratitis* (Diptera: Tephritidae) en Afrique de l'Ouest. Fiche technique 1, CIRAD, UPR Production Fruitière, Montpellier, France; IITA Cotonou Bénin, 4 pages

- ❖ **Vayssières J-F., Sinzogan A. et Bokonon-Ganta A., 2008 b**, The new invasive fruit fly species, *Bactrocera invadens* Drew Tsuruta and White, Regional Control Fruit Fly Project in West Africa, IITA, Cotonou, Bénin, 4 pages
- ❖ **Vayssières J-F., Sinzogan A. et Adandonon A., 2009 a**, Principales méthodes de lutte intégrée contre les mouches des fruits en Afrique de l'Ouest. Projet régional de lutte contre les mouches des fruits en Afrique de l'Ouest. Fiche N° 6, IITA-CIRAD, 4 pages
- ❖ **Vayssières J-F., Sinzogan A., Korie S., Ouagoussounon I. et Thomas-Odjo A., 2009 b**, Effectiveness of spinosad bait sprays (GF-120) in controlling mango-infesting fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Benin. Journal of economic entomology 102 (2), 515- 521
- ❖ **Weems H.V., Heppner J.B., Nation J.L., and. Steck G.J, 2016**, Oriental Fruit Fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Insecta: Diptera: Tephritidae), IFAS extension, University of Florida, EENY- 083, 7 pages
- ❖ **Weydert C., Mandrin J-F., Trottin-Caudal Y., Baffert V. et Leyre J.M., 2012**, *Drosophila suzukii* : biologie, comportement et moyens de protection, Infos Citfl, 73-76
- ❖ **White I.M. et Elson-Harris M., 1992**, Fruit flies of significance: Their identification and bionomics, Fruits, 2000 Vol. 55, p. 259-270

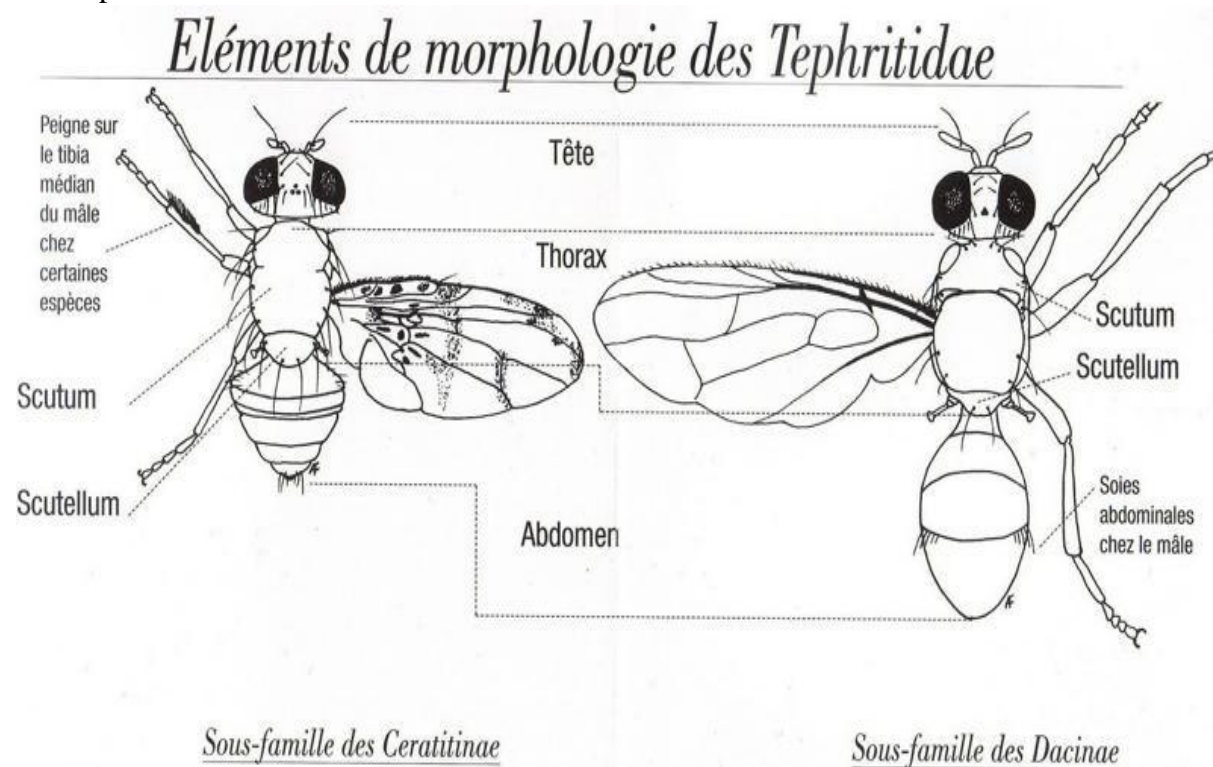
## **Annexe 1: Taxonomie et description morphologique des mouches de fruits**

Règne	: Animal
Embranchement	: Invertébrés
Sous embranchement	: Arthropodes
Classe	: Insectes
Ordre	: Diptères
Sous ordre	: Brachycères
Infra ordre	: Muscomorpha (Cyclorrhapha)
Section (Division)	: Schizophora
Super famille	: Tephritoidae
Famille	: Tephritidae

Suivant Norrbom (2004), la famille des Tephritidae comporte 6 sous familles dont: la sous famille des Blepharoneurinae, la sous famille des Dacinae, la sous famille des Phytalmiinae, la sous famille des Tachiniscinae, la sous famille des Tephritinae et la sous famille des Trypetinae et 27 tribus.

La tribu des Ceratidini, comprend 167 espèces dont 152 afrotropicales réparties dans 12 genres dont 9 afrotropicales. Elle comporte le genre *Ceratitis* signalé en Afrique de l'Ouest.




765 espèces constituent la tribu des Dacini dont 184 sont afrotropicales avec 3 genres dont 2 sont afrotropicales. Le genre *Bactrocera* compte 29 sous genres et 520 espèces, dont 12 afrotropicales.







Les caractéristiques des adultes de Tephritidae adultes sont les suivantes (Baldy, 2014):

- Des soies orbitales
- Une nervure subcostale se recourbant vers l'avant à son extrémité et disparaissant avant d'atteindre la costale
- Un abdomen formé de cinq ou six segments visibles et se terminant chez les femelles par un ovipositeur pointu
- Une ornementation alaire parfois très réduite mais le plus souvent constituée de rayures ou de taches jaunes, brunes ou noires

## Annexe 2 : Mouches de fruits attaquant les agrumes avec leurs photos

Types de mouches de fruits	Photos	Morphologie
<i>Ceratitis malgassa</i>		Thorax ayant une tache en forme de H La femelle présente un long ovipositeur 4 bandes sur les ailes Une ondulation entre l'abdomen et le thorax
<i>Ceratitis catoirii</i>		Tête : soie orbitale claire chez les mâles Ailes enfumées avec bande enfoncée à l'extrémité de la nervure médiane Scutellum : bande transversale sinueuse claire près du bord antérieur
<i>Ceratitis capitata</i>		Tête : soies orbitales foncées chez les mâles Ailes claires sans bande foncée à l'extrémité de la nervure médiane Scutellum : bande transversale sinueuse claire près du bord antérieur

Types de mouches de fruits	Photos	Morphologie
<i>Ceratitis rosa</i>		Scutellum : bandes longitudinales claires isolant 3 taches noires Tibia : médian muni d'un peigne
<i>Neoceratitis cyanescens</i>		Scutellum : bandes transversale claire près du bord antérieur isolant une tache unique bleu foncé métallique, entièrement noir dans sa moitié apicale Tibia : médian pas de peigne Ailes: dessin caractéristique de bandes brunes
<i>Bactrocera dorsalis</i> ou <i>Bactrocera invadens</i>	 <small>Photo Credit: Vivan Wornooyporn/LAEA</small> <small>Bactrocera dorsalis ex-Bactrocera invadens</small>	Thorax ayant une tache en forme de T 2 bandes thoraciques parallèles Ailes ayant une bande costale continue
<i>Bactrocera zonata</i>	 <small>Photo Credit: Vivan Wornooyporn/LAEA</small> <small>Bactrocera zonata</small>	Ailes tache noire à l'extrémité et absence de bande transversale le long de la nervure médiocubitale -Scutum : 2 bandes jaunes longitudinales



## Annexe 3 : Clé pratique de détermination des mouches de fruits



## Annexe 4: Différents pièges pour les mouches de fruits



Piège coloré



Piège Jackson Trap



Piège à hydrolysate de protéine



Piège Tephri Tap



Piège McPhail

### **Annexe 5: Botanique des agrumes**

Famille : Rutaceae

Sous-Famille : Aurantioideae

Tribu : Citrea

Sous-Tribu : Citrinae

Genre : Citrus- Fortunella- Poncirus

Les agrumes sont originaires du sud-est asiatique (Chine du Sud, Vietnam, Assam et nord de la Birmanie).

Les agrumes du genre *Citrus* sont de petits arbres ou arbustes plus ou moins épineux de 5 à 10 m de haut, caractérisé par un feuillage persistant ordinairement de couleur vert foncé, brillant. Leurs fleurs, relativement petites et blanches (à pétales lavés de rose chez certaines espèces), d'odeur suave, sont produites en très grande abondance. Les fruits sont vivement colorés en orange, rouge ou jaune (MCD, 1984).



Mandarine



Orange

## **Annexe 6 : Vinaigre du cidre**

### ➤ **Fabrication:**

Le vinaigre est un produit obtenu exclusivement par le procédé de double fermentation alcoolique et acétique de liquides ou d'autres substances agricoles. La première fermentation se fait lorsque le jus de pomme passe à l'état d'alcool, car pour fabriquer du vinaigre, il faut d'abord que la solution contienne de l'alcool. Pour ce faire, des levures transforment les sucres du jus en alcool. Une fois la fermentation alcoolique terminée, on peut passer à la fermentation acétique. À ce moment, ce sont des bactéries qui transforment l'alcool en acide acétique. Ces bactéries fixent les molécules d'oxygène sur l'alcool, ce qui a pour effet de transformer l'alcool en acide acétique. On appelle « la mère » de vinaigre (acetobacter), la membrane gélatineuse qui se forme au cours de cette étape. Ces opérations doivent se produire à une certaine température donnée. Lorsque la deuxième fermentation est complétée, on peut laisser vieillir le vinaigre pour qu'il acquière une belle couleur, se clarifie et développe son arôme.

### ➤ **Autres vertus du vinaigre de cidre (Orgone, 2013)**

Quelques vertus du vinaigre de cidre pour la santé:

- Il aide à conserver un corps jeune et en santé tout en ralentissant le processus du vieillissement et soulage les coups de soleil et préserve la peau;
- Il aide la digestion et l'assimilation des aliments
- Il dissipe la constipation
- Il aide aussi à prévenir la fatigue, les migraines, le diabète, le cholestérol et les allergies
- Il soulage les maux de gorge et la laryngite
- Il soulage les symptômes de l'asthme et de la grippe
- Il contrôle et stabilise le poids
- Il élimine les pellicules, soulage les démangeaisons du cuir chevelu et prévient la perte des cheveux.

### ➤ **Pour traiter l'animal (Santolini, 2011):**

Pour 200 ml de produit à conserver dans un flacon pulvérisateur

- 4 cuillères à soupe de vinaigre de cidre
- 2 ml d'huile essentielle de Tea Tree
- 3 ml d'huile essentielle de Lavande Vraie
- 1 ml d'huile essentielle de Giroflier
- Compléter le flacon avec de l'eau de source jusqu'à 200 ml.



## **Annexe 7: Produits insecticides utilisés à Madagascar**

### ➤ **Daphene fort (SEPCM)/ Callidim 40 (SEPCM)/ Dimethoate 400 EC (ACM)**

Matière active : Dimethoate

Groupe chimique : Organophosphoré

Formulation : Concentré émulsionnable à 400 g/ l

Mode d'action : Agit par contact et par ingestion

Dose en p.c : 100-150 ml pour 100 l d'eau

Délai d'attente : interdit 7 jours avant la récolte

Conditions d'emploi : Très dangereux pour les arthropodes auxiliaires, son usage répété favorise le développement des tétranyques, Interdit sur végétaux pendant la floraison

### ➤ **Malixol 50 (SEPCM)/ Callimal 50 (SEPCM)**

Matière active : Malathion

Groupe chimique : Organophosphoré

Formulation : Concentré émulsionnable contenant 500 g/ l de m.a

Mode d'action : contact, ingestion et inhalation

Dose en p.c : 2 à 2,5 l/ ha

Délai d'attente : interdit 7 jours avant la récolte

Conditions d'emploi : Compatible avec des fongicides, Toxiques pour les abeilles

### ➤ **Ultracide 20 EC-40 EC**

Matière active : Methidathion à 200 g/ l et à 400 g/ l

Groupe chimique : Organophosphoré

Formulation : Concentré émulsionnable

Mode d'action : Insecticide, acaricide de contact, à large spectre d'action

Dose en p.c : 20 EC : 200 ml/ 100 l d'eau et 40 EC : 100 ml/ 100 l d'eau

Délai d'attente : interdit 7- 28 jours avant la récolte

Conditions d'emploi : Traitement interdit sur végétaux pendant la floraison, Dangereux pour les abeilles et les poissons

### ➤ **DDVP/ Nogos 500 EC**

Matière active : Dichlorvos

Groupe chimique : Organophosphoré

Formulation : Concentré émulsionnable contenant 500 g/ l de m.a

Mode d'action : Agit par contact et vapeur, faible rémanence mais action de choc

Dose en p.c : 150 ml/ 100 l d'eau

Délai d'attente : 2 jours

Conditions d'emploi : Ne s'applique pas de manière préventive, Dangereux pour les abeilles et les poissons

## Annexe 8: Description des drosophiles

*Drosophila melanogaster*, nom tiré du grec signifiant « amateur de rosée au ventre noir ». Elle est encore appelée mouche du vinaigre ou moucheron de fruits. L'espèce la plus répandue est *Drosophila melanogaster*, elle a été décrite par Johann Wihelm Meigen en 1830, mais il en existe des milliers d'espèces.

Règne	Animalia
Embranchement	Arthropoda
Sous-embranchement.	Hexapoda
Classe	Insecta
Sous-classe	Pterygota
Infra-classe	Neoptera
Ordre	Diptera
Sous-ordre	Brachycera
Infra-ordre	Muscomorpha
Famille	Drosophilidae
Sous-famille	Drosophilinae
Genre	<i>Drosophila</i>
Sous genre	<i>Sophophora</i>
Groupe	<i>Megalanoster</i>



La drosophile mesure environ 3 ou 4 mm de long, ailes incluses avec des yeux rouges vifs. Elle possède trois paires de pattes. Comme tous les diptères, elle n'a qu'une seule paire d'ailes fonctionnelles, les antérieures, alors que les postérieures sont atrophiées sous la forme d'un balancier minuscule (Joly, 2006).

La drosophile est un insecte hygrophile et lucicole. Espèce cosmopolite et très commune partout pendant toute l'année, elle se développe sur les substances végétales en fermentation et notamment les fruits.

D'après Joly (2006), après l'accouplement, les femelles déposent sur le milieu, en général les fruits, des œufs d'environ 0,5 mm de long. Une trentaine d'heures après la ponte, les œufs vont éclore et donner naissance à une larve blanchâtre (appelée aussi « asticot ») d'environ 5 mm de longueur. Celle-ci se nourrit alors de la pulpe du fruit en creusant des galeries. À la fin de sa période de croissance, 5 à 6 jours plus tard et trois stades larvaires après, la larve rampe jusqu'à une portion sèche des aliments, ou à l'extérieur, pour se transformer en puppe. C'est à l'intérieur de ce cocon qu'aura lieu la métamorphose qui va donner le jour à un insecte adulte ailé. Celui-ci s'accouplera ensuite à son tour. Une seule femelle peut engendrer plusieurs centaines de descendants.

## Annexe 9 : Données climatiques 2011-2015

Mois	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin
<b>Précipitation (mm)</b>												
<b>2011</b>	0	0	0	108	134	258	334	280	237	151	42	0
<b>2012</b>	2	0	2	23	6	0	215	346	162	129	29	0
<b>2013</b>	0	0	0	88	180	276	1,7	0	0	0	0	1
<b>2014</b>	10	0	0	5	161	291	284	251	70	0	2	6
<b>2015</b>	1	11	1	44	96	323	346	423	187	6	23	0
<b>Total</b>	13	11	3	268	577	1148	1180	1300	656	286	96	7
<b>Moyennes</b>	2,6	2,2	0,6	53,6	115,4	229,6	236,1	260,0	131,2	57,2	19,2	1,4
<b>Température moyenne (°C)</b>												
<b>2011</b>	16,2	17,3	18,1	20,2	22,1	22,7	21,7	22	21,6	21,8	19,4	17,3
<b>2012</b>	15,8	16,6	17,6	20,6	22,1	22,6	22	22,3	21,5	21	18,7	16,7
<b>2013</b>	15,5	15,9	18,5	20,6	22,7	22,5	22,2	22,3	21,8	20,7	19,1	15,2
<b>2014</b>	15,8	16,7	17,8	22,1	22,6	22,8	22,1	22,3	21,9	20,9	18,6	16,8
<b>2015</b>	15,9	16,8	17,8	20,5	21,5	23,2	22,2	21,4	21,6	21,7	18,8	17,1
<b>Total</b>	79,2	83,3	89,8	104,0	111,0	113,8	110,2	110,3	108,4	106,1	94,6	83,1
<b>Moyennes</b>	15,8	16,7	18,0	20,8	22,2	22,8	22,0	22,1	21,7	21,2	18,9	16,6