

Gestion agroécologique des ravageurs du manguier à la Réunion

Stagiaire : Thomas BILLOT

Tuteurs Entreprise : Jean-Philippe DEGUINE, Alain RATNADASS



Tuteur Pédagogique : Jean-Lambert JOIN

Dates du stage : 21 juin au 13 Septembre 2019

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme de recherche agronomique du Cirad à la Réunion au sein des Dispositifs de Programmation en Partenariat (DPP) :

- DPP BSV, co-financé par l'Union Européenne (Fonds européen agricole pour le développement rural), le Conseil Régional de La Réunion, le Conseil Départemental de La Réunion et le Centre de Coopération internationale en Recherche agronomique pour le Développement (CIRAD).

- DPP COSAQ, co-financé par l'Union européenne (Fonds structurel FEDER), le Conseil Régional de La Réunion et le CIRAD.



Table des matières

I- Introduction

II- Etat des connaissances :

1- La culture de la Mangue à la Réunion

1.1- L'origine et dispersion :

1.2- L'historique sur l'île : Arrivée de la mangue, augmentation de l'importance de la culture

1.3- La phénologie du manguier

1.4- La place de la mangue sur le marché mondial et local

1.5- Les problématiques phytosanitaires de la Mangue

2. Les plantes de services

2.1- Les modalités d'implantation des plantes de services

2.2- Les différents services que peuvent apporter ces plantes

2.2.1- Fertilisation (engrais vert)

2.2.2- Structure du sol (plantes de couverture)

2.2.3- Biodiversité tellurique et aérienne (Habitats semi-naturels)

2.2.4- La régulation des ravageurs des cultures (plantes pièges, répulsives ou assainissantes)

3- Entomofaune associée au manguier

III- Partie I : Les plantes de services pour la gestion de la mouche orientale des fruits (Bactrocera dorsalis) en vergers de manguiers

1- Etat des connaissances

1.1- Les mouches des fruits (Diptera : Tephritidae)

1.1.1- Description

1.1.2- La mouche orientale des fruits : Bactrocera dorsalis

1.1.2.1- Description de la mouche

1.1.2.2- Sa répartition dans le monde

1.1.2.3- Les cultures impactées et l'ampleur des dégâts

1.2- Les plantes de services : Maïs et Sorgho

1.2.1- Le Maïs, Zea mays

1.2.2- Le Sorgho, (Sorghum bicolor)

2- Matériel et Méthodes

2.1- Exploitation de rapports d'expérimentations antérieures sur les Mouches des fruits utilisant les plantes attractives.

2.1.1- Rapport de stage : 2ème année de Master BEST de Toulassi ATIAMA-NURBEL (2008)

2.1.2- Rapport de stage : Stage de Master BEST de Emilie BONNET (2009 - 2010)

2.1.3- Rapport de stage : Stage de Master de Sophie DUHAUTOIS (2010)

2.1.4- Mémoire de fin d'étude : Stage d'ingénieur à l'ISA de Clémentine D'AVOUT (2011)

2.2- L'état du dispositif et finalisation de sa mise en place

2.3- Rédaction du protocole expérimental

2.4- Réalisation des fiches de suivis et de saisie

3- Résultats

3.1- Mise en place du dispositif sur le terrain

3.2- Elaboration du protocole d'observation

4- Discussion (sur la partie I)

4.1- Rappel des résultats :

4.2- Perspectives :

4.3- Applications possibles

IV. Partie 2 : Les plantes de services pour la gestion de la Cécidomyies des fleurs du manguiers (*Procontarinia mangiferae*)

1- Contexte et enjeux

1.1- Les questions de recherche posées sont les suivantes :

2- Etat des connaissances :

2.1- La Cécidomyie des fleurs du manguier : *Procontarinia mangiferae*

3- Matériels et Méthodes :

3.1- Site de l'expérimentation

3.2- Le protocole expérimental

3.2.1- Le dispositif expérimental

3.2.2- Le dénombrement des cécidomyies et l'identification des ordres d'arthropodes

3.2.3- La mesure de l'activité biologique

3.2.4- Analyse statistique des résultats

4- Résultats et Analyses

4.1- Résultats sur la présence des Cécidomyies sur la parcelle de manguiers en fonction des modalités :

4.2- Relevés de températures (Thermo-Boutons)

4.3- Les relevés de températures sur tiny tags :

4.4- Les relevés d'activité biologique :

5- Discussion (sur la partie II)

V- Conclusion commune aux deux études

BIBLIOGRAPHIE

Introduction

La culture du manguier (*Mangifera indica* L.) est la deuxième culture fruitière tropicale la plus importante au niveau mondial, après celle du bananier, avec 37 millions de tonnes de fruits produits par an depuis 2010 (FAOSTAT, 2016). Sur l'île de la Réunion, la mangue est un fruit emblématique, il s'agit de la deuxième culture en termes de surface cultivée, avec près de 400ha cultivés pour 150 exploitations destinées à sa production, avec une moyenne de 250 arbres par hectare.

Il s'agit néanmoins d'une culture menacée par de nombreux bioagresseurs dont le développement a été favorisé par la monoculture de la mangue, qui est le système le plus répandu sur l'île. Ce qui a amené les agriculteurs à se tourner vers l'utilisation de produits phytosanitaires pour lutter contre la pression qu'ils exercent (Deguine et al., 2016). Néanmoins, les limites de l'agrochimie se font ressentir, car les bioagresseurs développent des résistances aux pesticides dans la plupart des cas, le coût économique de ces pesticides est élevé pour les exploitants, et les risques pour la santé humaine et l'environnement ne sont plus négligeables (Deguine et al., 2009) notamment à cause du lessivage, et de la contamination des sources d'eau potable captées.

C'est pourquoi, les politiques agricoles françaises à l'échelle nationale se sont engagées à réduire l'utilisation de produits phytosanitaires de 50% d'ici à 2025 avec la mise en place du Plan ECOPHYTO II et d'ECOPHYTODOM à l'échelle des départements d'Outre-Mer. Ce qui a donné lieu au développement de pratiques agricoles économes en produits phytosanitaires, et de concepts tel que l'agroécologie qui reposent sur une gestion dans le temps et l'espace des populations d'organismes nuisibles et utiles en se basant davantage sur des méthodes préventives que curatives pour protéger les cultures. Le but étant d'obtenir un fonctionnement équilibré et durable des agroécosystèmes (Deguine & Ferron, 2006). A la Réunion, des projets innovants découlent des principes de la Protection Agro-Ecologique des Cultures (PAEC) qui est basée sur trois piliers : (i) la prophylaxie (ii) la lutte biologique de conservation (iii) la gestion des habitats (Deguine et al., 2016). Ces projets s'étendent aussi bien aux cultures maraîchères avec la Gestion Agroécologique des Mouches des légumes à la Réunion (GAMOUR) qu'aux cultures fruitières avec le Projet BIOPHYTO qui vise à la production de mangues sans insecticides à la Réunion. C'est dans le prolongement du projet BIOPHYTO que s'inscrit mon stage, dont le thème est la Gestion Agroécologique des ravageurs du manguier à la Réunion, avec des exploitants qui ont participé à BIOPHYTO.

Les travaux réalisés dans mon stage visent à contribuer à des études de terrain pour la gestion de deux groupes de ravageurs importants : les Mouches des fruits et les cécidomyies des fleurs. Dans les deux situations, on étudie l'intérêt de plantes de service pour réguler les populations de ces ravageurs du manguier à la Réunion.

La première partie de mon stage porte sur la gestion agroécologique des Mouches des fruits, dont l'espèce *Bactrocera dorsalis*. L'expérimentation concernée s'inscrit dans un projet qui débutera en Octobre 2019, qui s'intitule GEMDOTIS et qui est financé par le plan Ecophyto II. Ce projet aura pour but d'évaluer la faisabilité d'une « GEstion Multi-échelles d'un ravageur invasif *Bactrocera DOrsalis* sur manguier à la Réunion, incluant la Technique de l'Insecte Stérile ». L'expérimentation porte sur l'utilisation de plantes de service pour réguler les populations de *B. dorsalis* en testant l'hypothèse suivante : les mouches des fruits de l'espèce *B. dorsalis* sont attirées par des plantes comme le maïs, comme c'est le cas pour des espèces de Mouches des légumes.

La seconde partie de mon stage traite du suivi des effets de différentes modalités de couvertures de sol sur l'émergence d'adultes de la Cécidomyie des fleurs du manguier (*Procontarinia mangiferae*), issues de larves diapausantes. Le but de cette étude est de déterminer si la gestion de la couverture spontanée en vergers de manguiers a un effet sur la régulation des cécidomyies des fleurs.

Les objectifs opérationnels du stage sont les suivants :

Sur *B. dorsalis* :

- contribuer à la mise en place d'un dispositif expérimental, s'appuyant sur l'utilisation de deux plantes de services en vergers de manguiers, le Maïs (*Zea mays*) et le Sorgho (*Sorghum bicolor*) pour la gestion de *B. dorsalis* ;

- contribuer à élaborer un protocole expérimental de suivi des populations de *Bactrocera dorsalis* sur ces plantes de service et sur le manguier ;

- contribuer à la rédaction des fiches d'observation et des fiches de saisie des données numériques associées.

Sur la cécidomyie des fleurs :

- 1- Suivre les effets de différentes modalités de couvertures de sol sur l'émergence d'adultes de *P. mangiferae* en vergers de manguiers, en lien avec la température et l'activité biologique du sol ;
- 2- Valider l'utilisation des pièges d'interception modifiés pour le piégeage de Cécidomyies issues de larves diapausantes.

I. Etat des connaissances :

1- La culture de la Mangue à la Réunion

1.1- L'origine et dispersion :

Le manguier, *Mangifera indica* L., fait partie des cultures majeures présentes dans les régions tropicales bien qu'elle soit également produite hors des tropiques dans certaines régions au climat adéquat comme l'Espagne, la Floride ou l'Afrique du Sud (Litz, 2009).

Il appartient à la famille des Anacardiaceae qui comprend environ 600 espèces réparties en 70 genres (Watson & Dallwitz, 1992). Il est originaire de la région Indo-Birmane qui correspond à la frontière ouest de la zone de distribution du genre *Mangifera*. Sa domestication a eu lieu en Inde il y a plus de 4000 ans (De Candolle, 1884 ; Mukherjee, 1953). Son nom d'espèce ("indica" qui signifie "de l'Inde") fait référence à cette origine (Bompard, 1993). Deux zones de domestication sont reconnues : la première dans les régions subtropicales de l'Inde et la seconde dans les régions tropicales du Sud-Est asiatique (Sud du Vietnam, Indonésie, Philippines) (Mukherjee, 1972 ; Subramanyam et al., 1975). Aujourd'hui, plus de 1000 variétés de manguiers existent.

1.2- L'historique sur l'île : Arrivée de la mangue, augmentation de l'importance de la culture

Les informations qui suivent ont été récoltées dans la thèse de M. ATIAMA (2016), se basant sur les ouvrages de références suivants : "Production Fruitière Intégrée" (Vincenot and Normand, 2009), et "Dossier Technico-économique de la mangue" (Insa et al., 2002).

Seul représentant du genre *Mangifera* à La Réunion, le manguier y est arrivé la première fois en 1770 par l'intermédiaire d'arbres provenant de Goa (Inde). La culture du manguier ne s'intensifie que 200 ans après, avec une multiplication par six de la surface cultivée entre 1970 et 2000 (de 50 à 300 ha). L'objectif étant de satisfaire le marché local tout en développant le marché d'exportation. De ce fait, la gamme variétale existante, principalement constituée de variétés d'origine indienne (e.g. José), naturellement hybridées et sélectionnées par les agriculteurs et les passionnés, fut élargie par l'apport de diverses variétés d'origine floridienne (Cogshall, par exemple). A La Réunion, une cinquantaine de variétés sont recensées, néanmoins, seulement deux variétés (José et Cogshall) sont bien représentées (plus de 80% des vergers) car l'une est appréciée de la population locale (José, 50% de la production) et l'autre correspond au standard du marché international qui est donc majoritaire dans les exportations. (Cogshall, 30% de la production).

La filière de production s'organise aujourd'hui autour de 350 ha répartis sur près de 150 exploitations (Vincenot and Normand, 2009). Pour des raisons climatiques et sanitaires, elles sont réparties essentiellement sur la côte Ouest de l'île (côte "sous le vent") allant de la commune de la Possession, au nord, à celle de Petite-Île, au sud. Avec plus de 50% des exploitations productrices qui se trouvent à La Possession et Saint-Paul (bassin de culture historique).

1.3- La phénologie du manguier

Le manguier est un arbre pouvant atteindre 30 à 50 m de hauteur et vivre plus de 100 ans. Sa culture est bien adaptée à un climat tropical chaud à mousson, avec une saison sèche prononcée (Litz, 2009). La floraison est stimulée par les basses températures dans les régions subtropicales (mois d'hiver) alors que l'âge de la dernière unité de croissance semble plus important dans les climats chauds (Davenport, 2003, 2000 ; Van der Meulen, 1971).

À La Réunion, le cycle phénologique des deux variétés commerciales est influencé par le climat (température et pluviométrie) et par des caractéristiques intrinsèques à la plante (production de l'année précédente, position et âge des unités de croissance). De manière générale, le calendrier phénologique de la variété Cogshall se déroule de la manière suivante (Figure 1) : la floraison a lieu durant l'hiver austral, de juillet à septembre, et la récolte s'étale de début décembre à fin janvier ; la croissance végétative commence dès la fin de la floraison, s'intensifie après la récolte pour se terminer en avril-mai ; le repos végétatif a lieu au début de l'hiver austral et précède la floraison suivante (Vincenot and Normand, 2009). La variété José peut réaliser jusqu'à trois périodes de floraison entre juillet et octobre.

Pour assurer une bonne productivité, les manguiers doivent être implantés dans une zone où règne un climat tropical semi-aride, présentant une saison humide et une saison sèche distinctes. Pendant la floraison, les températures minimales doivent être supérieures à 15°C. A La Réunion, la culture du manguier s'étend de l'Ouest de l'île (Possession, St-Paul), centre historique de la production locale, jusqu'au Sud (St-Pierre, Petite île).

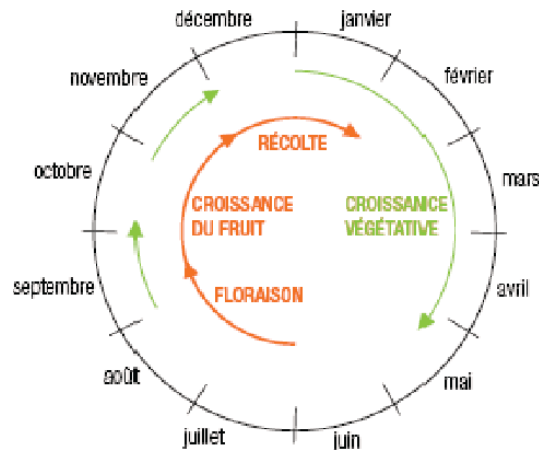


Figure 1. Cycle phénologique du manguier (*Mangifera indica* L.) de la variété Cogshall à La Réunion

Cycle établi à partir d'observations sur des plants dans la zone Sud de l'île (St-Pierre)
(D'après Vincenot et Normand, 2009)

1.4- La place de la mangue sur le marché mondial et local

Ces dernières années, la production, le marché et la consommation mondiale de mangues ont fortement augmenté, en raison de leur attrait nutritionnel. Plus de 103 pays cultivent le manguier à des fins commerciales. La mangue est ainsi la deuxième production mondiale de fruits tropicaux, derrière la banane, en termes de production et de superficie. Avec une production de 31,7 millions de tonnes en 2009, elle représente 39% de la production mondiale de fruits tropicaux (FAOSTAT, 2015). En y intégrant l'ensemble des fruits, la mangue occupe la 5ème place après la banane, l'orange, la pomme et la poire (FAOSTAT, 2009). En valeur (US\$) en 2010, la mangue est la 20ème production mondiale, toutes filières agricoles confondues et la 12ème de la filière alimentation d'origine végétale (FAOSTAT, 2011). Soixante-neuf pourcent de la production mondiale de mangues est assurée par 5 pays (Inde, Chine, Thaïlande, Mexique et Indonésie). Avec quatre de ces cinq pays auxquels s'ajoutent notamment le Pakistan et les Philippines, le continent asiatique occupe la place de principal producteur de mangues (74% de la production mondiale). L'Amérique latine et les Caraïbes représentent 14%, l'Afrique 11% et le reste est produit en Océanie, Amérique du nord et Europe. L'Inde est le principal pays producteur avec plus d'un tiers de la production mondiale. Bien que la mangue soit consommée majoritairement dans les pays de production (environ 90% des fruits tropicaux sont consommés localement), l'exportation de la mangue représente plus de 900 000 tonnes en 2005. Le Mexique (22.6%) et l'Inde (20.3%) sont les principaux pays exportateurs (FAOSTAT, 2009).

1.5- Les problématiques phytosanitaires de la Mangue

A la Réunion, les manguiers sont les cibles de nombreux bioagresseurs dont 13 espèces d'arthropodes (Amouroux et al., 2013), une bactérie et deux champignons (Vincenot et al., 2009). Les ravageurs majoritaires et leur période d'activité sur le manguier sont représentés dans le tableau 1. Parmi ces ravageurs, ce que l'on retrouve sont :

- L'anthraxose du manguier *Colletotrichum gloeosporioides* (Fungi Ascomycota), un champignon qui peut agir aussi bien sur les fleurs, les fruits, que sur les feuilles et les jeunes pousses donc **sur la plupart des stades phénologiques**.

- La Cochenille des Seychelles (Hemiptera : Margarodidae) est présente toute l'année et provoque un affaiblissement des arbres et impacte l'ensemble des stades phénologiques du manguiers.
- La maladie des taches noires provoquées par *Xanthomonas citri* pv. *Mangiferaeindicae* (Bacteria) qui déprécie la qualité des **fruits**, qui impacte donc leur commercialisation.
- Cinq espèces de mouches fruits (Diptera : Tephritidae) peuvent s'attaquer aux mangues en pondant dans les **fruits** mûrs ou en cours de maturation dont *Bactrocera dorsalis*, qui est la dernière en date (détectée en avril 2017) et parmi les plus dangereuses (Franck et al., 2018).
- Lors de la **floraison**, quatre bioagresseurs peuvent causer des dégâts importants sur les inflorescences voire provoquer la perte totale de la production car il s'agit d'une période clé de construction de la production ; ces ravageurs sont : la Punaise du manguiers *Orthops palus* (Heteroptera : Miridae), des espèces de thrips (Thysanoptera), l'Oïdium *Oidium mangiferae* (Fungi Ascomycota) et enfin la Cécidomyies des fleurs de manguiers (Diptera : Cecidomyiidae).




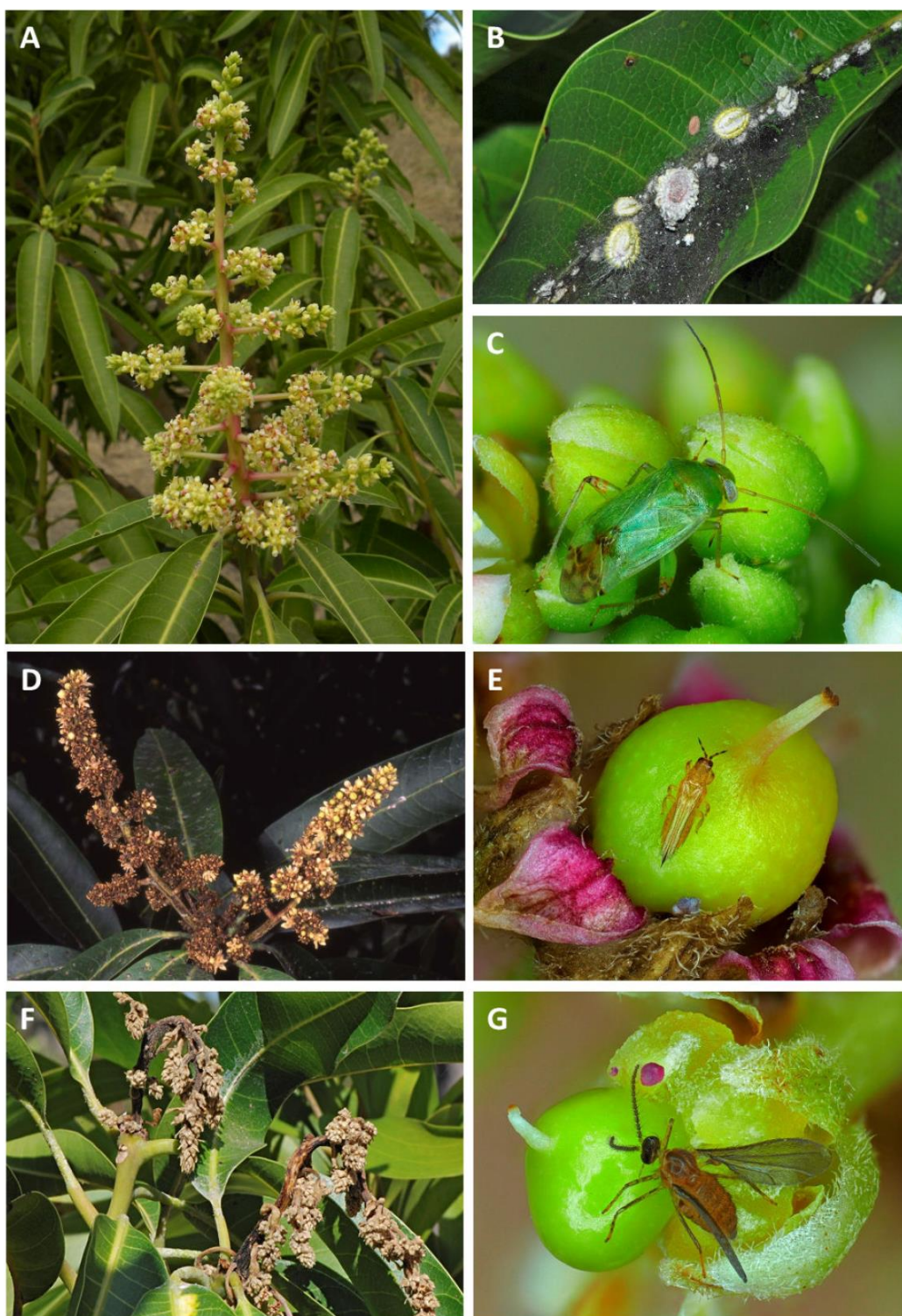
	Jui.	Juil.	Aou.	Sep	Oct	Nov.	Dec.	Jan	Fev.	Mar	Avr	Mai
												
	Floraison				Production				Croissance végétative			
Cécidomyie des fleurs <i>P. mangiferae</i>												
<i>Oidium mangiferae</i> (Champignon)												
La cochenille des Seychelles, <i>Icerya seychellarum</i>												
Tephritidae dont <i>B. dorsalis</i>												
<i>Orthops palus</i>												
<i>Thrips spp.</i>												
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>												
<i>Xanthomonas campestris</i>												

Tableau : Répartition des principaux ravageurs de la mangue en fonction de son stade phénologique (Deguine, 2018)



(Figure 2) Exemples de ravageurs et des dégâts occasionnés (Jacquot, 2016) : Inflorescence de manguiers, les insectes nuisibles et leurs dégâts. A. Inflorescence de manguiers saine (© M. Jacquot) ; B. Cochenilles des Seychelles (*Icerya seychellarum*) et développement de fumagine sur feuille (© AF) ; C. Punaise du manguiers (*Orthops palus*) (© AF) ; D. Dégâts de Thrips sur inflorescence (© D. Vincenot) ; E. Thrips sur une fleur de manguiers (© AF) ; F. Dégâts de Cécidomyies des fleurs (*Procontarinia mangiferae*) (© AF) ; G. Cécidomyie des fleurs sur une fleur de manguiers (© AF). (AF : A. Franck, CIRAD)

2- Les plantes de services

Les plantes de services sont des végétaux utilisés pour rendre des services écosystémiques aux agrosystèmes. Les services qu'elles rendent sont variés, et dépendent des espèces. Elles peuvent contribuer à l'amélioration du sol (e.g. la structuration du sol avec les plantes de couvertures), à la nutrition des cultures (e.g. la fertilisation avec les plantes fixatrices d'azote) ou encore à la régulation des bioagresseurs des cultures, qu'ils s'agisse de ravageurs et pathogènes aériens, de parasites telluriques ou encore d'adventices (fiche technique – Solicaz, 2015).

2.1- Les modalités d'implantation des plantes de services

L'implantation de ces plantes varie selon les fonctions qu'elles ont sur l'exploitation, il peut s'agir de bandes fleuries semées, de couverts végétaux spontanés ou de bordures végétales monospécifiques, ces implantations sont celles qui nous intéressent, car ce sont celles qui sont utilisées dans ce stage, et dans les le projet Biophyto (bandes fleuries), en vergers de manguiers, et dans le projet GAMOUR (Bordures monospécifique) pour la gestion des mouches des légumes et d'autre part dans les projets FEADER Ecofrut (Nouveaux systèmes de culture ECOlogiques et durables pour des productions FRUitières de qualité en milieu Tropical) et Ecophyto/ONEMA Ecoverger (Conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers guidée par les contraintes et les objectifs des agriculteurs) pour la régulation de la cécidomyie des fleurs.

Le couvert végétal : Les couvertures végétales sont des techniques agronomiques de gestion de l'érosion (éolienne et hydrique), de l'enherbement (adventices), mais aussi des bioagresseurs (e.g. par gestion des habitats des organismes auxiliaires). On parle d'enherbement spontané pour faire référence à un couvert composé uniquement des espèces végétales naturellement présentes sur la parcelle sans introduction d'espèces végétales spécifiques (Ratnadass , comm. pers. 2017).

Les bordures végétales : En bordures de parcelles sont semées des espèces végétales spécifiques, qui sont connues pour leur attractivité envers des insectes ravageurs tels que les mouches des légumes (Deguine et al., 2015). Le but étant d'éloigner les ravageurs des cultures, et de les piéger par le biais de ces plantes, afin de préserver la culture.

2.2- Les différents services que peuvent apporter ces plantes

Les informations suivantes ont été récoltés sur les sites du GEVES (GEVES, 2017) et de l'INRA (INRA, 2012, 2017)

2.2.1- Fertilisation (engrais vert)

Les couverts végétaux semés en fin d'été prélèvent pour se développer l'azote minéral du sol, résiduel ou minéralisé : ce sont les cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN). En fin d'hiver, les couverts libèrent en se décomposant l'azote capturé ou fixé dans leurs nodosités (légumineuses) au bénéfice de la culture suivante : ce sont les cultures intermédiaires à usage d'engrais vert (CIEV).

2.2.2- Structure du sol (plantes de couverture)

Les plantes de services à usage de couvert protègent la surface du sol de l'impact des gouttes de pluie avec leur biomasse aérienne (exemple moutarde, avoine), améliorent la résistance du sol à l'arrachement avec leur réseau racinaire (ray-grass, seigle), favorisent l'infiltration de l'eau en ralentissant le ruissellement, améliorent les propriétés physiques du sol (seigle, ray-grass, crucifères, légumineuses...). Les effets de protection et d'amélioration sont principalement dus à l'effet structurant du système racinaire et à l'augmentation des matières organiques dans le sol, mais plutôt complémentaires de la conduite culturale ou de l'effet des facteurs abiotiques.

2.2.3- Biodiversité tellurique et aérienne (Habitats semi-naturels)

Les jachères fleuries ont des effets positifs sur la diversité des pollinisateurs (hyménoptères apiformes, papillons, syrphes et autres diptères) ; leur attractivité est fortement liée aux espèces florales.

Une composition floristique complexe est plus attractive et favorable à l'entomofaune pollinisatrice, ce d'autant mieux qu'elle couvre une longue période de floraison complémentaire à la flore sauvage et qu'elle soit gérée de façon adaptée aux pollinisateurs (stade floraison atteint, broyage après floraison).

Les couverts végétaux sont favorables aux populations de vers de terre qui améliorent les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols, d'autant plus que le travail du sol est limité. L'effet positif sur la biodiversité se traduit également sur les populations d'oiseaux insectivores et granivores, et sur le gibier. *A contrario*, les cultures intermédiaires peuvent dans certaines conditions favoriser les populations de limaces, et les plantes de couverture à base de légumineuses faciliter le développement des campagnols.

2.2.4- La régulation des ravageurs des cultures (plantes pièges, répulsives ou assainissantes)

En fonction des espèces sélectionnées, des plantes de couverture peuvent avoir des propriétés biocides, attractives ou répulsives intéressantes pour gérer les différentes communautés vivantes présentes dans les cultures.

Certaines espèces telles que la moutarde blanche ou le radis fourrager, peuvent perturber le cycle de développement de l'agent pathogène. En provoquant par exemple l'éclosion des kystes formés par des nématodes, en l'absence des cultures d'intérêt. Ou encore en concurrençant les adventices des cultures au profit de ces mêmes cultures.

D'autres espèces végétales peuvent émettre des molécules toxiques pour le bioagresseur, soit lors de la phase de culture, par exsudation racinaire, soit lors de l'enfouissement de broyats obtenus à partir de ces végétaux.

Enfin, certaines plantes de services ont montré des activités répulsives ou attractives pour l'entomofaune utile. Ce qui font d'elles un foyer potentiel pour la faune auxiliaire, ou en tant que plante piège pour les ravageurs.

3- Entomofaune associée au manguier

La biodiversité des agroécosystèmes à base de vergers de manguiers a été étudiée dans le cadre de la Thèse de Maxime Jacquot (Jacquot, 2016). Les informations suivantes rendent compte de la composition taxonomique des six principaux groupes trophiques d'arthropodes rencontrés en vergers de manguiers. Elles ont été obtenues à partir de l'identification de 109 741 individus de 523 espèces qui ont été attribuées à 10 groupes trophiques différents. Les groupes trophiques définissent la manière de s'alimenter des individus constituant ces groupes. Cette alimentation détermine leurs fonctions au sein de l'agroécosystème. On peut distinguer des compositions taxonomiques différentes au sein des groupes trophiques principaux :

- **Les herbivores nuisibles** sont représentés par quatre espèces d'insectes, avec en majorité des Hémiptères (Cochenille des Seychelles et Punaise du manguier), des espèces de Cécidomyies du manguier (*Procontarinia* spp.) et une espèce de thrips (*Scirtothrips aurantii*) ; leur mode d'alimentation induit des impacts négatifs sur la production ;
- **Les herbivores non-nuisibles**, qui se nourrissent à partir d'espèces végétales présentes dans l'agrosystème ; il peut s'agir de parties du manguier, mais sans qu'il y ait d'impact sur la production de mangues. Ils constituent un groupe trophique important en termes d'individus et d'espèces ; avec en majorité des Hémiptères, des thrips et, dans une moindre mesure, des Coléoptères ;
- **Les détritivores** sont principalement représentés par des individus appartenant aux crustacés terrestres (Isopodes et Amphipodes), des Blattes et des Collembolés. Les Psoques et les Diptères dominent ce groupe trophique en richesse spécifique ;
- **Les omnivores** sont quasiment exclusivement représentés par 19 espèces de fourmis. Parmi elles, trois espèces exotiques envahissantes atteignent des abondances importantes : *Pheidole megacephala* (55 608 individus), *Brachymyrmex cordemoyi* (4440 individus) et *Solenopsis geminata* (1081 individus). Elles sont une composante importante de notre système, car elles sont susceptibles d'impacter la biodiversité fonctionnelle et ses services ;
- **Les parasitoïdes** forment le groupe trophique le plus riche en espèces, composé de 182 espèces d'Hyménoptères et huit espèces de Diptères. La diversité des Hyménoptères parasitoïdes est très importante, lors de cette étude ;
- **Les prédateurs** sont en majorité représentés par des araignées, qui se nourrissent de tout type d'insectes, et donc de ravageurs. Ce qui permet leur régulation ;
- Il y a également quatre groupes trophiques mineurs donc peu représentés : **les hyper-parasitoïdes** (trois espèces d'Hyménoptères), **les parasitoïdes supérieurs** (14 espèces d'Hyménoptères), **les prédateurs myrmécophages** (une espèce d'araignée prédatrice de fourmis), et **les prédateurs supérieurs** (une espèce d'araignée prédatrice d'autres araignées).

II. Partie I : Les plantes de services pour la gestion de la mouche orientale des fruits (*Bactrocera dorsalis*) en vergers de manguiers

Cette première partie concerne la mise en place de plantes de services pour évaluer l'attractivité des plantes de service sur *Bactrocera dorsalis*,

1- Etat des connaissances

1.1- Les mouches des fruits (Diptera : Tephritidae)

1.1.1- Description

Plusieurs espèces de mouches existent à la Réunion. Elles provoquent d'importants dégâts sur les cultures fruitières et légumières. (FDGDON, 2005, Franck A., et al., 2018)

Mouches des légumes :

- *Dacus demmerezi*
- *Dacus ciliatus*
- *Neoceratitis cyanescens*
- *Bactrocera cucurbitae*

Ces mouches provoquent d'importants dégâts sur cucurbitacées (courgettes, concombres, melons, pastèques, citrouilles) mais aussi sur piment, café, ou encore sur la tomate.

Mouches des fruits

- *Ceratitis capitata*
- *Ceratitis quilicii*
- *Ceratitis catoirii*
- *Bactrocera zonata*
- *Bactrocera dorsalis*

Elles s'attaquent **aux mangues**, avocats, agrumes, goyaviers, mandarines, pêches et autres fruits.

Les cycles biologiques de ces espèces sont similaires (Figure 3) :

Pendant la première semaine de leur existence, les mouches adultes sont présentes dans la végétation environnant les cultures. C'est là qu'elles s'accouplent et mûrissent leurs œufs. Une fois accouplées et gravides, les femelles vont pondre en piquant à travers la peau du fruit pour y déposer leurs œufs (1). Ces œufs mettent 1 ou 2 jours à éclore, et les asticots qui en sortent vont dévorer le fruit de l'intérieur (2). Ils passeront par trois stades successifs, de plus en plus gros. Au bout d'environ une semaine, les asticots sortent du fruit pourri et, en se recroquevillant puis en se détendant brusquement, elles vont sauter à quelques centimètres pour tomber au sol. Là, elles vont s'enfouir sous terre, s'immobiliser et former des pupes (3). Ces pupes ressemblent à des gros grains de riz bruns protégés par une coque rigide. Dans cette enveloppe protectrice, les asticots vont peu à peu se transformer en mouches adultes. En une semaine environ, la métamorphose est complète et les nouveaux adultes peuvent émerger de la pupa pour former une nouvelle génération (4). Le cycle complet, de l'œuf à l'adulte prêt à pondre, dure donc environ trois semaines. Cependant, cette durée est variable selon l'espèce considérée et peut être modifiée par les conditions climatiques. La température joue un rôle prépondérant : en hiver le cycle est fortement ralenti, il peut durer plusieurs mois.



Figure 3 : Cycle biologique des mouches des fruits et des légumes (GAMOUR, 2011)

1.1.2- La mouche orientale des fruits : *Bactrocera dorsalis*

1.1.2-1. Description de la mouche

La Mouche orientale des fruits, *Bactrocera dorsalis* (Hendel), est un bioagresseur très destructif dans les zones où il se développe. Elle est originaire en grande partie d'Asie tropicale, s'est développé dans la majorité de l'Afrique Sub-Saharienne, et on la retrouve souvent aux Etats-Unis. Elle est souvent à l'origine de programmes d'éradications. (Weems, H.V., 2016). Elle affectionne les climats chauds et humides. Comme les autres mouches de cette famille elle a un cycle de vie très court et une fécondité élevée. La reproduction se fait par la ponte des œufs par la femelle dans les fruits. Une femelle peut pondre entre 800 et 1 500 œufs durant sa vie à raison d'une vingtaine par jour. (Fontaine, R., FDGDON 2017)

1.1.2-2. Sa répartition dans le monde

Les pays où les infestations sont établies comprennent (CABI 1994, Vargas et al. 2007 ;) :

L'Asie : 18 pays dont La Chine (Sud), L'Inde, Le Japon (îles Ryukyu), et La Thaïlande.
L'Afrique : la plupart des pays d'Afrique subsaharienne sont infestés depuis la première apparition de la mouche orientale des fruits (comme *Bactrocera invadens*) au Kenya en 2003

(Goergen et al. 2011). Les îles du Pacifique : Mariannes du Nord, Tahiti, Hawaii. Aux Etats-Unis, introduite en 1944 ou 1945 (Mau 2007).

Détectée pour la première fois en 2003 dans l'Est de l'Afrique, *B. dorsalis* a colonisé neuf pays en un an et au total 22 pays en sept ans. Dans les pays proches de La Réunion citons : les Comores (2005), Mayotte (2007), Madagascar (2010) et Maurice (2015). Sur l'Île Maurice des mesures de lutttes intensives sont en place pour éradiquer l'espèce.

Fin avril 2017, *B. dorsalis* a été détectée par la FDGDON (OVS Végétal) dans l'Ouest de l'île de La Réunion, sur les communes du Port et de Saint-Paul.

1.1.2-3. Les cultures impactées et l'ampleur des dégâts

B. dorsalis se reproduit en pondant dégâts sont occasionnés par les larves, qui se nourrissent de la pulpe du fruit infesté par la ponte. On remarque alors un affaissement des tissus, des coulures et des lésions sur le fruit. Celui-ci a tendance à mûrir plus vite et à chuter précocement. Ces dégâts sont également une porte d'entrée aux bioagresseurs secondaires comme les pourritures et les drosophiles. Les fruits sont alors non commercialisables. Extrêmement polyphage elle s'attaque à plus de 300 plantes hôtes (plantes cultivées et sauvages). On peut citer par exemple la mangue, la papaye, les agrumes, la goyave, le goyavier et les anones mais également la tomate, le piment, le café, le zévi, le jamrose et le jamalac. Impact économique sur les mangues (données du Bénin) : perte de production entre 15 et 70% selon les variétés (soit entre 0,34t/ha et 6,5t/ha). Les variétés plus tardives sont les plus impactées. Impact économique sur les agrumes (données du Kenya et Bénin) : perte de production entre 20 et 25% sur mandarine et orange en zone humide, 6 et 12% en zone sèche (FDGDON, 2017).

1.2- Les plantes de services : Maïs et Sorgho

1.2.1- Le Maïs, *Zea mays*

Le Maïs est une plante herbacée de la famille des Poacées (graminées) largement cultivée comme céréale pour ses grains riches en amidon. Le maïs (*Zea mays* L) est la deuxième céréale la plus cultivée au monde après le blé (FAO, 2013). Son importance dans l'alimentation humaine et animale à travers le monde est incontestable. Il est capable d'atteindre des niveaux de production élevés dans les zones tempérées, subtropicales et tropicales, du niveau de la mer à une altitude élevée (Gracen, 1986).

Les rendements du maïs sont généralement inférieurs en zone tropicale qu'en zone tempérée en raison notamment des contraintes climatiques (Hainzelin, 1998), des contraintes techniques (carences des variétés cultivées, faible fertilité du sol, inadéquation techniques agricoles et de conservation), les contraintes biologiques (multiplicité et agressivité des ennemis biologiques) et les contraintes socio-économiques. Le maïs utilisé dans cette étude est une variété développée par le CIRAD (R416).

1.2.2- Le Sorgho, (*Sorghum bicolor*)

Le Sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) est une céréale qui a été domestiquée en Afrique. Il est bien adapté aux régions tropicales semi-arides en raison de sa rusticité et de ses besoins modérés en eau. Il a été et demeure une plante essentielle en Afrique où il est toujours un aliment

de base pour des centaines de millions de personnes. Diffusé hors de son continent d'origine et progressivement acclimaté aux zones tempérées, le sorgho tient aussi une place notable dans l'agriculture de certains pays émergents et développés où il est surtout cultivé à des fins d'alimentation animale. La race *bicolor* est considérée comme la première race de sorgho domestiquée notamment parce qu'elle présente un certain nombre de caractères peu évolués. (Chantereau, et al.,2013).

2- Matériel et Méthodes

Cette partie porte sur les méthodes utilisées pour les contributions que j'ai apportées à la mise en place du dispositif expérimental, au protocole expérimental et aux fiches de suivis et de saisie des données d'observations.

2.1- Exploitation de rapports d'expérimentations antérieures sur les Mouches des fruits utilisant les plantes attractives.

Afin de pouvoir contribuer à la réalisation des protocoles, il m'était nécessaire de lire les rapports d'expérimentation du CIRAD concernant l'utilisation de plantes attractives comme le maïs pour la gestion des mouches des fruits. Les rapports sont les suivants :

2.1.1- Rapport de stage : 2^{ème} année de Master BEST de Toulassi ATIAMA-NURBEL (2008)

Ce mémoire traite des « Interactions entre les mouches des cucurbitaceae et les plantes de bordure dans les systèmes horticoles à la Réunion ». Ses objectifs étant d'étudier le rythme circadien de 3 mouches des légumes, la répartition spatiale des adultes entre les différentes bordures de maïs de la parcelle, et d'étudier en grandes cages l'attractivité comparée de deux plantes susceptibles d'être utilisées en bordures : la canne fourragère (*Pennisetum purpureum*) et le maïs (*Zea mays*).

Elle y réalise 3 types d'observations :

- Méthode 1 : La première observation est en plein champ, avec 3 observations à une semaine d'intervalle chacune, sur les courgettes et le maïs. L'objectif étant d'étudier le rythme circadien (cycle de déplacement dans l'environnement au cours d'une journée), les observations se font toutes les heures de 7h à 19h, pendant une durée de 36 minutes, comprenant 24 minutes d'observations sur les bordures de maïs pour 12 minutes sur les plants de courgettes.
- Méthode 2 : La seconde observation se fait également en plein champ sur les bordures. L'observation se fait 3 fois dans le temps. 5 plants de maïs sont choisis aléatoirement pour observations parmi 32 placettes de maïs.
- Méthode 3 : La troisième observation se fait dans 4 cages cylindriques de 2.5m de hauteur pour 3m de diamètre dans lesquelles sont disposées 4 plants de canne et 8 plants de maïs (donc 4 répétitions de 1 plant de canne pour 2 plants de maïs, pour avoir des surfaces foliaires équivalentes par espèce), ainsi que des abreuvoirs, et une ressource alimentaire (mélange de sucre et d'hydrolysate de protéines). Pour une date et une espèce donnée de mouche, Une cohorte de 100 individus de sexe et d'âge connus est lâchée le matin vers 7h30 dans chaque cage. Il s'agit ensuite d'observer leur fréquentation des plantes et leur comportement sur celles-ci. Trois observations s'effectuent dans la journée, à 9h00, à

12h00 et à 15h00, et s'effectue en comptant les mouches dans chacune des 4 cages en une durée de 30 à 40 minutes, dans le même ordre des cages (1 à 4). Les observations se font sur chaque répétition en débutant par la répétition élémentaire la plus au sud, et ensuite dans le sens horaire, en tenant compte, pour chaque répétition, de la localisation et l'activité des mouches.

2.1.2- Rapport de stage : Stage de Master BEST de Emilie BONNET (2009 - 2010)

Ce mémoire traite des « Interactions entre les mouches des Cucurbitaceae (Diptera : Tephritidae), une plante hôte (courgette) et une plante piège (maïs) disposée en bandes et patches intra-parcellaires à La Réunion ». Le maïs y est utilisé comme plante piège, et il est implanté sous forme de patches ou de bandes au centre de cultures de courgette.

Les observations sur maïs réalisées dans cette étude sont uniquement des dénombrements à vue. Elles ont été faites sur la totalité des courgettes de l'exploitation concerné et sur une partie des bandes et des patches de maïs. On y relève chaque mouche en distinguant l'espèce, le sexe et son activité. À raison de 12 observations par jour de 7h00 à 18h00 (soit 1 toutes les heures) par plusieurs observateurs (cf. Rapport de ATIAMA-NURBEL, 2008).

2.1.3- Rapport de stage : Stage de Master de Sophie DUHAUTOIS (2010)

Ce mémoire traite de « La Structuration des communautés de Diptères sur le maïs, utilisé comme plante piège contre les mouches des légumes à La Réunion » où le maïs servait principalement de support pour l'observation des espèces de diptères présent sur la parcelle.

Les observations réalisées dans cette étude sont :

- Un dénombrement à vue des espèces présentes sur des bandes intercalaires ou des bordures de maïs par le même type de méthode utilisées dans le Rapport de ATIAMA-NURBEL (2008) sur bordures de maïs étendues à toute la communauté de diptères présent.

- Un échantillonnage à l'aide d'un aspirateur à moteur appelé D-VAC et un tri des échantillons par morphotype. Pour chacune des parcelles (10 en tout, 4 sélectionnées pour la structuration des communautés), le relevé débute toujours par la même placette puis l'expérimentateur se déplace le long de la bordure.



Figure 4 : Aspirateur à moteur (dérivé du D-Vac), (Rapport S. DUHAUTOIS)

2.1.4- Mémoire de fin d'étude : Stage d'ingénieur à l'ISA de Clémentine D'AVOUT (2011)

Ce mémoire porte sur « Les Modalités d'utilisation du Synéïs Appât® en agroécosystème horticole à La Réunion ». Le maïs y est utilisé comme support d'application du Synéïs Appât®

afin de préciser les modalités d'utilisation de cet appât dans les agroécosystèmes horticoles à La Réunion.

Les observations se font sur des bordures de maïs à raison de 4 comptages sur un ensemble de parcelles élémentaires (traitées ou non traitées) avec un premier comptage réalisé à 8h (H-1), soit une heure avant le traitement sur les parcelles. Trois autres comptages ont lieu après le traitement, à 12h (H+3), 15h (H+6) et le lendemain à 9h (H+24). Sur les bordures de maïs traitées, on distingue les zones où le produit est appliqué (tache) et les zones non traitées (hors-tache). A l'intérieur de la parcelle, le déplacement se fait selon une marche lente. Lors du comptage, on distingue l'espèce et le sexe des mouches des légumes et fruits.

2.2- L'état du dispositif et finalisation de sa mise en place

Parmi les activités que j'ai eues à faire, il y a eu la finalisation de la mise en place des plantes de services. Une première expérience a été réalisée en 2018 mais n'a pas abouti pour diverses raisons, détaillées dans le dispositif expérimental du protocole (partie I Résultat). Néanmoins, la mise en place du dispositif avait commencé en début 2019, pour qu'il soit opérationnel dès la mi-septembre, avant mon stage. L'emplacement des dispositifs était déjà sélectionné, ainsi que la mise en place de l'irrigation, et le dispositif était déjà en partie installé chez un des deux agriculteurs.

L'expérimentation est conduite dans deux exploitations de manguiers : agriculteur 1 (Boucan Canot) et agriculteur 2 (Saint-Paul).

Chez l'agriculteur 1, seul le choix de l'emplacement a été fait. Ma contribution a consisté à :

- Préparer le terrain avec le technicien qui m'encadrerait. Des tuyaux d'irrigations ont été mis en place par l'exploitant, et nous avons épandu de l'engrais organique fait à partir de farines de carcasses de volailles.
- Faire le semis des graines de maïs et de sorgho sur 2 bandes comprenant 8 unités de 10m de longueur pour 2m de largeur. Sur chaque bande, nous semons en alternance, une unité de Maïs et une unité de Sorgho. Pour ce faire, nous utilisons un plantoir, et plantons en quinconce des poignées de 3 graines de maïs par trou, et de 5 à 8 graines de sorghos par trou.
- Observer les bandes végétales : Après vérification des parcelles pendant 2 semaines suivant la plantation, un désherbage était nécessaire, et le sorgho n'a pas levé, il a été décidé lors de nos discussions qu'il n'était pas nécessaire d'en replanter, d'installer ultérieurement du maïs, avant que les premiers plants de maïs ne dépérissent.
- Désherber les parcelles : Mon encadrant et moi avons désherbé les deux bandes à l'aide d'un sarcloir en veillant à bien déraciner les adventices.

Chez l'agriculteur 2, le sorgho de l'année précédente est toujours présent, ainsi que les patches de maïs. En revanche nous avons dû replanter 4 unités de 10m de maïs qui n'a pas repoussé depuis l'expérimentation précédente.

2.3- Rédaction du protocole expérimental

Le protocole expérimental (Résultats) est rédigé à partir des travaux antérieurs qui ont été réalisés sur l'attractivité des plantes de services (2.1 rapports d'expérimentations) et à partir de la configuration finale des dispositifs sur le terrain.

2.4- Réalisation des fiches de suivis et de saisie

Les fiches de suivis des expérimentations que j'ai réalisées sont rédigées à partir de fiches existantes en les adaptant au dispositif final qui a été mis en place (dispositif expérimental – Protocole plantes de services). Elles prennent en compte le nombre d'unités mise en place, les espèces végétales sur lesquelles sont observés les insectes, les espèces de ces insectes, leur sexe.

3- Résultats

3.1- Mise en place du dispositif sur le terrain

Les plans des dispositifs installés sur les parcelles des deux agriculteurs (Annexes I et II) correspondent à l'état actuel de ces parcelles sous réserve de modifications.

3.2- Elaboration du protocole d'observation

Le protocole expérimental (ci-dessous) fait partie des livrables de mon stage car j'ai contribué à son élaboration, même si je ne réaliserai pas le suivi car il débute en fin septembre - début octobre 2019.

Protocole expérimental « Plantes de service mangue 2019-2020 »

Question de recherche et objectif

Depuis son arrivée à La Réunion, *Bactrocera dorsalis* engendre des dégâts importants sur différentes cultures, dont le manguiers.

Dans les techniques de gestion agroécologique des populations de Tephritidae, l'utilisation de plantes de service (plantes pièges, comme le maïs) a montré son efficacité sur plusieurs espèces de Tephritidae (notamment les Mouches des légumes).

La question de recherche posée est la suivante :

Comme pour les Mouches des légumes (*Z. cucurbitae*, *D. demmerezi* et *D. ciliatus*), l'espèce *B. dorsalis* est-elle attirée et piégée par des plantes telles que le maïs et le sorgho ?

L'objectif de l'expérimentation est d'évaluer l'attractivité de deux espèces végétales (maïs et sorgho) sur *B. dorsalis* en vergers de manguiers.

Les agriculteurs partenaires et la localisation des expérimentations

L'expérimentation est conduite dans deux exploitations de manguiers : agriculteur 1 (Boucan Canot) et agriculteur 2 (Saint-Paul). Ces exploitations sont choisies pour deux raisons principales :

- a) les agriculteurs sont des partisans de la protection agroécologique des cultures et ont conduit avec succès des expérimentations probantes les années précédentes ;
- b) en conséquence, les agriculteurs n'utilisent aucun pesticide (notamment insecticide et herbicide) sur leurs parcelles cultivées. Il s'agit d'une condition indispensable, pour tester l'hypothèse d'attractivité des mouches par les plantes, sans perturbation annexe.

Les plantes de service retenues

Les plantes retenues sont le maïs, qui est bien connu pour son attractivité sur les Mouches des légumes, et le sorgho, une autre céréale, à priori également attractive pour les mouches des légumes. Le sorgho est pris en compte car il s'agit d'une céréale plus rustique que le maïs et, peut-être, plus adaptée au climat sec de l'Ouest de l'île. Les cultivars choisis sont R416 (Cirad) pour le maïs et Headless Trudan (Armeffhor) pour le sorgho. Ce sont des variétés au port dense et montant (jusqu'à 3 m), à priori favorables aux observations des mouches. Les plants sont renouvelés bien avant leur dépérissement.

Dispositif expérimental

Le dispositif n'est pas défini à priori et il est non statistique. Il est mis en place en fonction de la topographie des lieux, de la forme et de l'arrangement spatial des parcelles de manguiers et de leurs bordures, des dispositions possibles pour des lignes d'irrigation et, bien sûr, des pratiques et des stratégies des agriculteurs.

La mise en place de ce dispositif est un challenge en tant que tel. Notre expérience lors de la saison 2018-2019 s'est avérée sans résultat, pour différentes raisons : perturbations des déplacements par des mouvements sociaux, contraintes agronomiques insuffisamment préparées ou gérées (semences adaptées, irrigation matière organique, fertilisation), disponibilité des agriculteurs, etc. En 2019, la mise en place du dispositif a commencé tôt dans l'année, afin que le dispositif soit opérationnel dès la mi-septembre 2019.

Le principe commun est de disposer des rangées de plantes de service dans le verger, dans les interlignes ou en bordure de la parcelle. On considère des tronçons de 10 m de longueur linéaire de maïs et de sorgho, qui constituent des unités élémentaires d'observation des mouches.

Plusieurs unités élémentaires sont installées dans ou autour des parcelles :

- 8 unités de 10 m de maïs chez l'agriculteur 1 ;
- 4 unités de 10 m de maïs et 4 unités de 10 m de sorgho chez l'agriculteur 2.

Chez l'agriculteur 2, on dispose également quelques patches de maïs, d'un diamètre de l'ordre de 2 m.

La localisation des unités élémentaires est présentée en annexes, sur les plans des parcelles expérimentales.

Observations visuelles des Mouches des fruits sur les plantes

Le protocole d'observation visuel des mouches est issu de la longue expérience des études conduites sur les Mouches des légumes (Deguine et al., 2015). Le principe est de dénombrer les mouches, en distinguant l'espèce et le sexe (éventuellement d'autres facteurs comme la hauteur où elles se situent), sur des unités élémentaires d'observation (unité élémentaire linéaire de 10 m pour le maïs et le sorgho, unité élémentaire de 2 arbres pour le manguiers).

Les observations sont toujours effectuées par les deux mêmes personnes et dans les mêmes conditions (même heure, même jour de la semaine, même cheminement, etc.). Chaque personne observe un côté de la rangée de la plante piège. La fréquence des observations est deux fois par semaine (cette fréquence peut varier si nécessaire selon la période de l'année et l'intensité des populations de mouches).

Observations sur les unités élémentaires d'observation (UEO) de plantes de service

Ces observations visuelles des mouches sur le maïs et le sorgho doivent permettre de répondre à la question initialement posée : *B. dorsalis* est-elle attirée par le maïs et le sorgho ?

Les observations ont lieu le lundi et le jeudi, sur les deux exploitations, sur :

- 4 unités élémentaires de maïs chez l'agriculteur 1 ;
- 4 unités élémentaires de maïs et 4 unités élémentaires de sorgho chez l'agriculteur 2.

Voir plans.

Les observations portent sur l'ensemble des plants de maïs et de sorgho. Les observateurs dénombrent les mouches, en déambulant parallèlement, chacun d'un côté de la rangée de maïs ou sorgho. Les observations sont consignées unité élémentaire par unité élémentaire.

Observations sur les unités élémentaires d'observation (UEO) de manguiers

En complément de ces observations visuelles sur les deux plantes, on effectue des observations complémentaires destinées à évaluer l'intensité des populations de mouches dans l'exploitation et l'importance des populations sur le manguiers.

Les observations ont lieu le lundi et le jeudi, sur les deux exploitations, sur :

- 4 unités élémentaires de manguiers (soit 4 fois 2 manguiers) chez l'agriculteur 1 ;
- 4 unités élémentaires de maïs et 4 unités élémentaires de sorgho (soit 8 fois 2 manguiers) chez l'agriculteur 2.

Ces 2 manguiers observés sont situés en vis-à-vis de chacune des unités élémentaires de maïs et de sorgho. Voir plan.

Les observations portent sur l'ensemble des manguiers (feuilles et organes fructifères), autant que la portée visuelle le permette. Une observation visuelle complémentaire est effectuée à l'intérieur du puits de lumière des manguiers. Les observations sont consignées unité élémentaire par unité élémentaire.

Observations visuelles des Mouches des fruits sur des patches de maïs

4 patches de maïs sont disposés dans la parcelle de l'agriculteur 2. Voir plan.

Des observations visuelles ont lieu deux fois par semaine, le lundi et le jeudi, sur chacun des 4 patches et sur 2 manguiers situés de part et d'autre de chaque patch.

Piégeage des Mouches des fruits

Pièges « alimentaires »

Des pièges « alimentaires » (à base de phosphate di-ammonique), attirant toutes les espèces de Tephritidae, mâles et femelles, sur de courtes distances (de l'ordre d'une dizaine de mètres), sont disposés, également dans une zone éloignée des unités de maïs et sorgho. On dispose 10 pièges par exploitation. Voir plan.

Des relevés sont effectués deux fois par semaine, le mardi et le vendredi. On dénombre les mouches en distinguant l'espèce et le sexe.

Pièges « sexuels »

De plus, on profite de la présence de pièges « sexuels » de surveillance (à base de paraphéromone (méthyl-eugénol) attirant les mâles de *B. dorsalis*) utilisés par les agriculteurs dans leur exploitation, pour relever deux fois par semaine, le mardi et le vendredi, le nombre de mouches capturées.

Aspiration des Mouches des fruits au DVAC

Des aspirations au DVAC sont réalisées deux fois par semaine, le mardi et le vendredi, sur les deux exploitations.

Dans chaque exploitation, l'aspiration a lieu sur 10 manguiers éloignés des zones d'observation visuelles des mouches (au moins 30 mètres). Voir plan.

On procède à des aspirations d'une minute sur chacun de ces 10 manguiers. On utilise une bonnette par manguiers.

Les bonnettes sont ramenées au laboratoire et on dénombre les mouches, en distinguant l'espèce et le sexe.

On compte également les auxiliaires des ravageurs.

Collecte de fruits tombés et mise en émergence

Des aspirations au DVAC sont réalisées deux fois par semaine, le lundi et le jeudi, sur les deux exploitations.

Dans chaque exploitation, on considère 10 manguiers éloignés des zones d'observation visuelles des mouches (au moins 30 mètres). Voir plan. On collecte, sous chaque manguiers, 2 fruits tombés à terre.

Les 20 fruits sont ramenés au laboratoire, mesurés, pesés, décrits (traces de piqûres ou non), puis mis en émergence. On tamise le sable pour y récupérer les pupes éventuelles. On dénombre les mouches qui émergent en distinguant l'espèce et le sexe

Observations sur la phénologie du manguier et les conditions climatiques

A chaque observation, on note le stade phénologique du manguier observé (selon l'échelle existante).

Une fois par semaine, on collecte les données de température et d'humidité pour les deux exploitations.

Conclusion, calendrier et fiches d'observation

Ces différentes observations (aspirations, piégeage, collecte de fruits et mise en émergence) sont complémentaires des observations visuelles et contribueront à apprécier la dynamique temporelle des populations de *B. dorsalis* (en fonction de la phénologie du manguier et de la saison) et la composition des auxiliaires présents.

Le calendrier hebdomadaire des observations est présenté dans le tableau ci-dessous.

Observation ou relevé	Plante ou support	Lundi	Mardi	Jeudi	Vendredi
Observation visuelle UEO	Maïs-sorgho	1,2		1,2	
	Manguier	1,2		1,2	
Observation visuelle patch	Maïs	1,2		1,2	
	Manguier	1,2		1,2	
Piégeage	« Alimentaire »		1,2		1,2
	« Sexuel »		1,2		1,2
Aspiration au DVAC	Manguier		1,2		1,2
Collecte de fruits tombés	Mangue	1,2		1,2	
Aspiration au DVAC	Pois d'Angole		1,2		1,2
Phénologie manguier	Station météo	1,2		1,2	
Température et humidité	Station météo	1,2			

Le chiffre indique l'exploitation

Les fiches d'observation suivantes sont proposées (les deux premières en annexes et les autres sont prévues) :

- fiche d'observation visuelle sur les unités élémentaires d'observation de maïs et sorgho ;
- fiche d'observation visuelle sur les unités élémentaires d'observation de manguiers ;
- fiche d'observation visuelle sur les patches de maïs ;
- fiche d'observation visuelle sur les manguiers situés à côté des patches de maïs ;
- fiche de relevé des mouches capturées dans les pièges « alimentaires » ;
- fiche de relevé des mouches capturées dans les pièges « sexuels » ;
- fiche d'observation des mouches aspirées au DVAC sur les manguiers ;
- fiche d'observation des auxiliaires aspirés au DVAC sur les manguiers ;
- fiche d'observation des mouches émergées des mangues collectées ;
- fiche d'observation des auxiliaires aspirés au DVAC sur le pois d'Angole ;
- fiche d'observation des mouches aspirées au DVAC sur le pois d'Angole.
- fiche de relevé du stade phénologique des manguiers ;
- fiche de relevé de la température et de l'humidité moyenne.

Les fiches de saisie des données, en préparation de leur analyse sous R, sont également préparées au format Excel.

3.3- Elaboration des fiches d'observations et de saisie des données

Les fiches d'observations serviront de support pour la récolte des données sur le terrain et les fiches de saisi serviront pour l'analyse statistiques des données.

4- Discussion (sur la partie I)

4.1- Rappel des résultats :

Pour rappel, comme mon stage s'inscrit dans une expérimentation ayant déjà commencé l'année précédente, je n'ai fait que contribuer à la mise en place des dispositifs et à la finalisation des protocoles.

4.2- Perspectives :

Les études pour lesquelles ces parcelles ont été mises en place vont commencer en octobre 2019 et se terminer en mars 2020 (tout au long de la saison de la mangue) et on devrait avoir la réponse à la question posée : le maïs et le sorgho attirent-ils *Bactrocera dorsalis* ?

4.3- Applications possibles

Ce dispositif, s'il montre une activité attractive pour les mouches des fruits en vergers de manguiers, pourra faire l'objet d'une utilisation ultérieure en protection agroécologique des cultures dans ce système de culture.

III. Partie 2 : Les plantes de services pour la gestion de la Cécidomyies des fleurs du manguiers (*Procontarinia mangiferae*)

La seconde partie de mon rapport concerne le suivi des effets de trois modalités de couvertures de sol (Couvert végétal spontané et paillage synthétique) sur l'émergence d'adultes issus de larves diapauses de la cécidomyie des fleurs du manguiers.

1- Contexte et enjeux

La cécidomyie des fleurs du manguiers *Procontarinia mangiferae* est un ravageur majeur du manguiers à La Réunion, ses larves provoquant la destruction partielle ou totale de l'inflorescence. Depuis 2017, le Movento®, un insecticide de la firme Bayer (m.a. Spirotetramat) a été homologué à La Réunion contre ce ravageur. Néanmoins, dans l'optique de réduction d'utilisation de produits phytosanitaires de synthèse, des méthodes de luttés préventives continuent à faire l'objet de recherches, notamment la mise en place de couvertures du sol, synthétiques ou naturelles, pour briser le cycle de l'insecte au niveau de sa phase tellurique.

1.1- Les questions de recherche posées sont les suivantes :

- Quel est l'impact du type de couverture du sol maintenu pendant la période de floraison en verger de manguiers sur l'émergence la saison suivante des adultes de cécidomyies issus des larves entrées en diapause dans le sol ?
- Les éventuelles différences dans les niveaux et dynamiques d'émergences observés peuvent-elles être liées à des différences de micro-climat ou d'activité biologique du sol ?

L'objectif du stage est :

Avant tout d'évaluer l'émergence des adultes de cécidomyies des fleurs de manguier issus de larves diapausantes dans le sol durant la période de floraison d'une saison n suivant la mise en place durant deux saisons consécutives (n-1 & n-2) de trois modalités contrastées de couverture du sol (1.3-2.1 Dispositif expérimental) dans un verger de manguiers : 1) enherbement ras (ER) ; 2) enherbement haut (EH) ; 3) couverture avec tapis de sol synthétique tissé (TS).

Secondairement de caractériser le microclimat et l'activité biologique du sol dans les parcelles d'essai pour expliquer les résultats ou le cas échéant mettre en évidence des sources d'artefacts.

2- Etat des connaissances :

2.1- La Cécidomyie des fleurs du manguier : *Procontarinia mangiferae*

La Cécidomyie des fleurs du manguier a été mentionnée à la Réunion pour la première fois en 1974 (Etienne & Roura, 1974). Elle est spécifique à la Mangue. La description de son cycle biologique est basée sur les travaux de Prasad (1971) Prasad et Grover (1984) et d'après les observations d'Amouroux (2013). Il s'agit de la seule espèce parmi les cécidomyies du manguier (*Procontarinia* spp) qui s'attaque à plusieurs organes du manguier : les inflorescence et les jeunes feuilles.

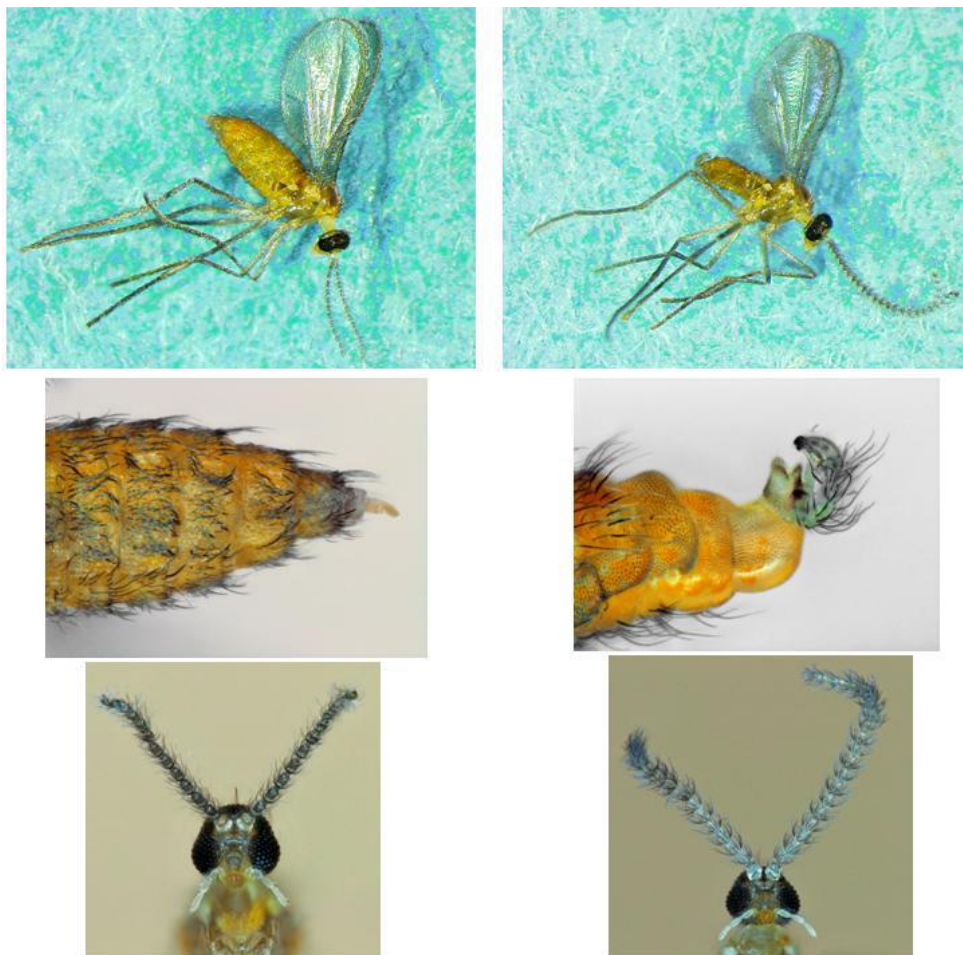


Figure 5 : Illustrations générales et de détails de la femelle (à gauche) et du mâle (à droite) de *P. mangiferae*. En haut, habitus ; au milieu, détail de l'abdomen ; en bas, détail de la tête vue de face (A. Franck – CIRAD)

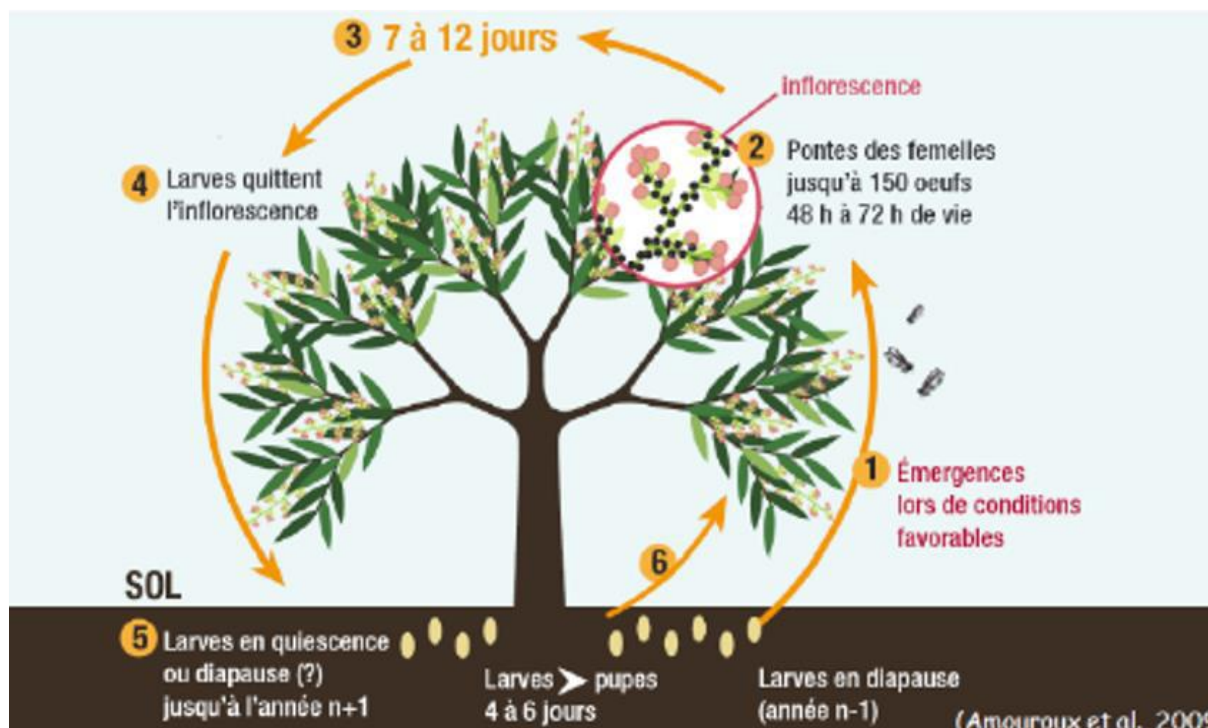


Figure 6 : Cycle de vie de la cécidomyie des fleurs à La Réunion (Vincenot et al., 2009)

3- Matériels et Méthodes :

3.1- Site de l'expérimentation

Verger de manguiers Cogshall de 3790 m² du CPEA du Lycée agricole de Saint-Paul, qui a été recouvert d'un tapis de sol tressé pendant les floraisons de 2010 à 2012, au titre d'une étude sur la dispersion de la cécidomyie des fleurs conduite dans le cadre d'une thèse de doctorat (Amouroux, 2013).

En 2017 & 2018, dans le cadre de deux stages de fin d'études (SFE) d'élèves-ingénieurs de l'Ecole de Purpan, ce verger a été divisé en trois sous-parcelles de surfaces équivalentes, conduites selon les trois modalités pré-citées durant la période de floraison et fructification des manguiers (Brustel, 2018 ; Briandy, 2019).

3.2- Le protocole expérimental

3.2.1- Le dispositif expérimental

Pour recenser les adultes issus de larves diapausantes, des pièges-cornets d'interception (Sarhou, 2009) dont l'ouverture a été fermée avec de la moustiquaire, ont été placés sur le rang (surface d'interception au sol 0,5 m²), (figure 7), à l'aplomb de la canopée de trois arbres de chacune des trois modalités, ayant présenté en 2018 des niveaux d'infestation par les cécidomyies comparables, à raison de deux pièges par arbre, soit 18 pièges en tout. Les pièges ont été activés le 13 juin, et à partir du 11 juillet, des abris ont été disposés contre les larves tombant au sol à partir des inflorescences situées au-dessus des pièges. A partir de l'activation des pièges, un piège par arbre a été instrumenté avec des Thermo-boutons® à la surface du sol sous le piège et à l'extérieur (soit 18 Thermo-boutons® en tout ; neuf à l'intérieur et neuf à l'extérieur). Le but étant de mettre en évidence un éventuel artefact dû à l'élévation de la température au sol sous le piège et son effet éventuel sur la levée de la diapause.



Figures 7 : Dispositif expérimental « piège d'émergence » (1) Flacons

Le 12 juillet, des tiny tags (T°) ont été disposés à 2-3 cm sous la surface du sol, à l'extérieur des pièges instrumentés avec Thermo-boutons® (soit 9 tiny tags en tout).

On a implanté simultanément à proximités de chacun des tiny tags®, des bandelettes Bait-Lamina® (Kratz, 1998) de bait lamina à raison d'une plaque de 16 bandelettes par tiny tag/couple de pièges-cornets.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
7	X	45	46	47	48	49	50	51	52	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	X	X
6	X	44	43	42	41	40	39	38	37	41	40	39	38	37	36	35	48	X	47	46	45	44	43	X
5	29	30	31	32	33	34	35	36	28	29	30	31	32	33	34	X	37	38	39	X	40	41	42	X
4	X	28	27	26	25	24	23	22	27	26	25	24	23	22	21	36	35	34	33	32	31	30	29	X
3	15	16	17	18	19	20	21	14	15	16	17	18	19	20	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
2	14	13	12	11	10	9	8	13	12	11	10	9	8	7	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
1	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	1	2	3	X	X	4	X	5	6	7	8

ER = 52 arbres ■ PS = 48 arbres ■ EH = 54 arbres ■ X = absence d'arbre

Figure 8 : Dispositif expérimental « Couvert végétal en vergers de manguiers »

3.2.2- Le dénombrement des cécidomyies et l'identification des ordres d'arthropodes

Une fois par semaine, tous les jeudis, les flacons d'alcool (éthanol 70%) posés sont récoltés et amenés au laboratoire du CIRAD à Bassin-Plat pour dénombrer les cécidomyies, et ainsi que les autres ordres d'arthropodes caractéristiques. L'identification s'est faite en fonction de critères morphologiques de chacun des individus, et par le biais de la formation de Cédric

Ajaguin-Soleyen et d'échanges avec Alain Ratnadass lors des observations à la loupe binoculaire (comm. pers. 2019).

3.2.3- La mesure de l'activité biologique

La mesure de l'activité biologique fait partie des mesures complémentaires nous permettant d'expliquer les résultats ou de révéler la présence d'un artefact lié au dispositif. Pour faire cette mesure, le protocole nous vient de Kratz (1998) avec le procédé Bait-Lamina® (figure 9) Il s'agit de trois jeux de 16 bâtonnets en PVC sur lesquels sont disposés des appâts (figure 10). Un jeu de bandelettes est installé pour chacun des arbres possédant des pièges. Les résultats sont ensuite compilés sur une fiche de suivi de terrain, puis saisis sous Excel dans une fiche de saisie (fiches en annexes) pour être traitées et analysées statistiquement.

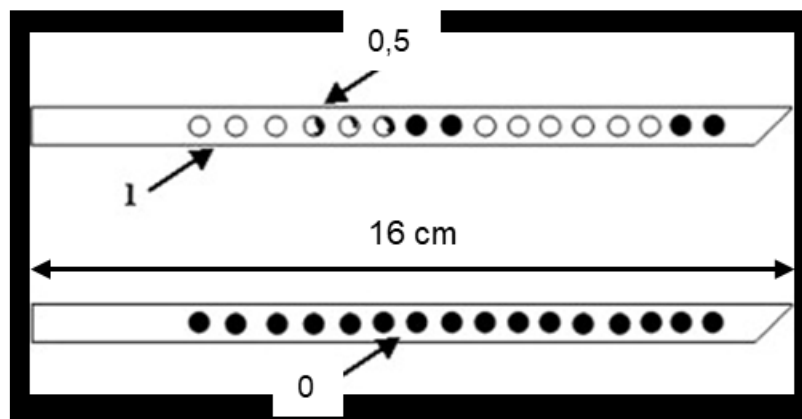


Figure 9 : Bait lamina tests (1 = consommé ; 0,5 = en partie consommé ; 0 = non consommé) (Kratz, 1998)

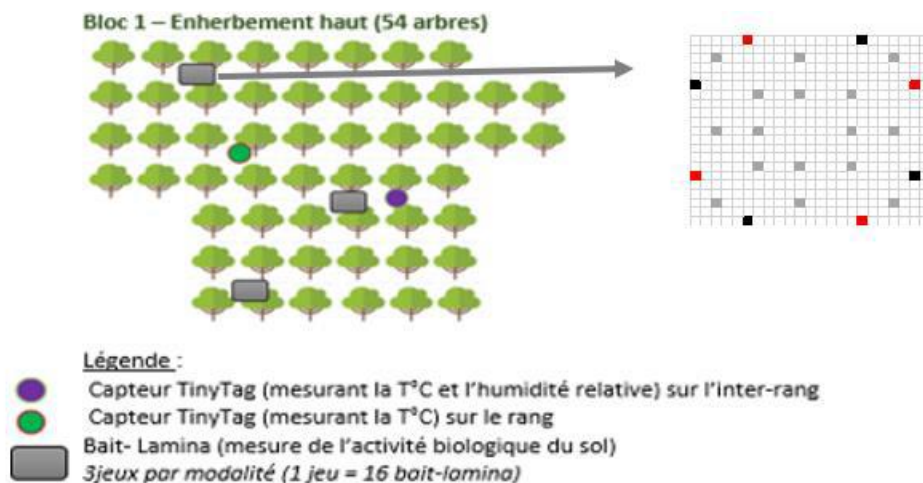


Figure 10 : Représentation parcellaire du dispositif expérimental « Bait-Lamina® » pour la mesure de l'activité biologique (BRUSTEL, 2018)

3.2.4- Analyse statistique des résultats

Le but des analyses qui suivent est de présenter une conclusion sommaire sur l'effet du dispositif sur l'émergence des cécidomyies. Une analyse statistique plus poussée sera réalisée ultérieurement, afin d'appuyer ces résultats. Les données une fois récoltées et saisies (Annexe) sont traitées dans un tableau croisé dynamique qui nous permet d'obtenir :

- Un histogramme de la valeur moyenne des cécidomyies récoltées sur 4 semaines ;
- Les courbes de températures journalières moyennes, réalisées à partir des données récoltées avec les Thermo-boutons disposés à la surface du sol à l'intérieur et à l'extérieur des pièges-cornets ;
- Un histogramme du pourcentage moyen d'attaque des appâts (Bait-Lamina) par placette ;
- Les courbes de températures journalières moyennes, réalisé à partir des données récoltées avec les tiny tags (Enfouis aux cotés des bait-lamina pour l'activité biologique).

4- Résultats et Analyses

4.1- Résultats sur la présence des Cécidomyies sur la parcelle de manguiers en fonction des modalités :

Les données suivantes permettent une analyse sommaire des effectifs de cécidomyies recensés au fil de l'étude. On distingue les trois modalités de couverture de sol sur le graphique (Avec EH = Enherbement Haut ; ER = Enherbement Ras ; TS = Tapis de Sol). Il se dégage de ce graphique une nette différence entre les effectifs de cécidomyies recensés sur ER d'une part, et sur TS et EH d'autre part, avec en moyenne plus de deux fois plus de cécidomyies sur ER que sur les deux autres modalités (cela restant donc à confirmer par des analyses statistiques plus poussées).

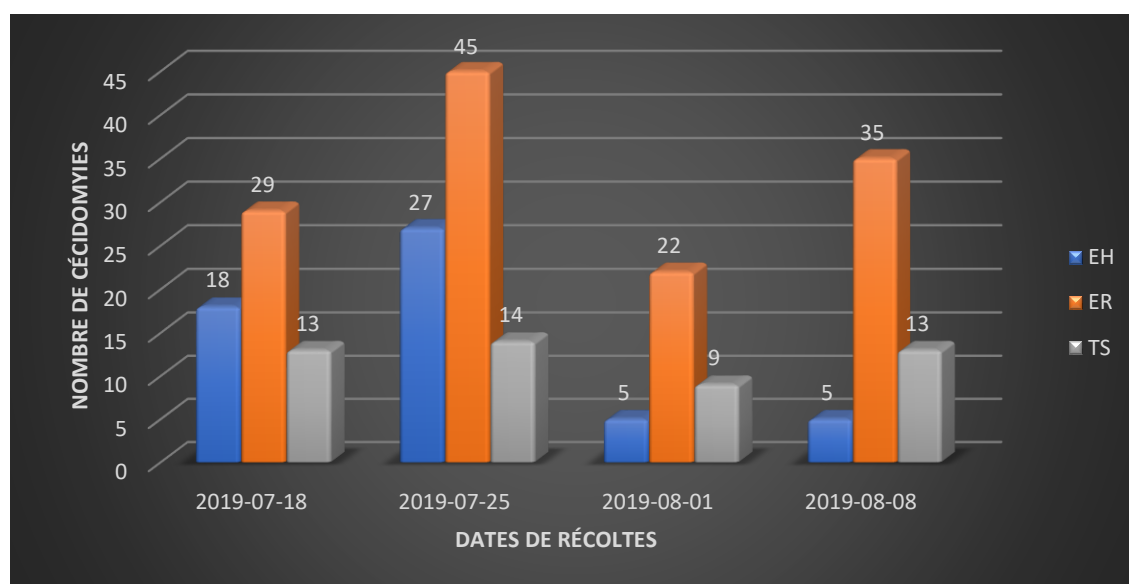


Figure 11 : Somme des cécidomyies par date et par traitement

4.2- Relevés de températures (Thermo-Boutons)

Les relevés de températures par thermo-boutons (Intérieur et Extérieur) nous permettent d'obtenir le graphique suivant (Figure 12). Les courbes de couleurs vertes correspondent aux thermo-boutons extérieurs et courbes brunes-orangés aux thermo-boutons intérieurs. On voit une tendance générale de l'évolution des températures qui correspondent à la présence ou l'absence de soleil au cours de la journée, avec un pic entre 12h et 13h et les températures les plus basses durant la nuit. Il est difficile de distinguer une différence au cours du pic haut, en revanche on voit une tendance des courbes orange à être légèrement supérieures aux courbes

vertes. On peut supposer dans un premier temps que la présence du dispositif à bien un effet sur la température à l'endroit où est situé le piège.

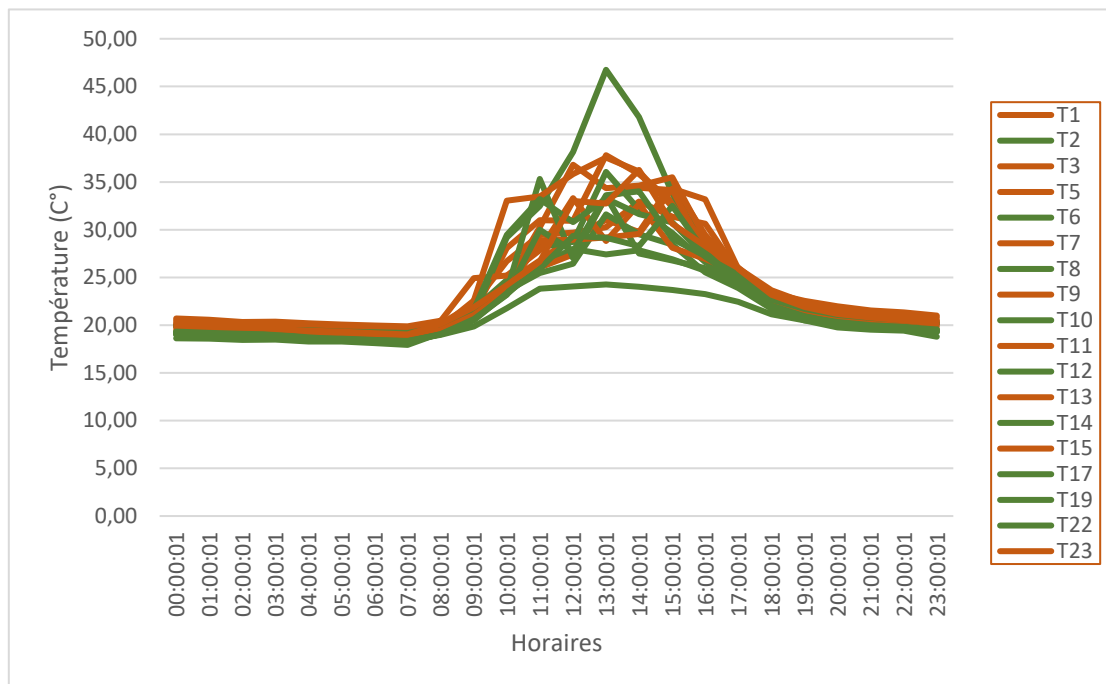


Figure 12 : Courbes des températures obtenues grâce aux Thermo-Boutons (Intérieur – Extérieur)

4.3- Les relevés de températures sur tiny tags :

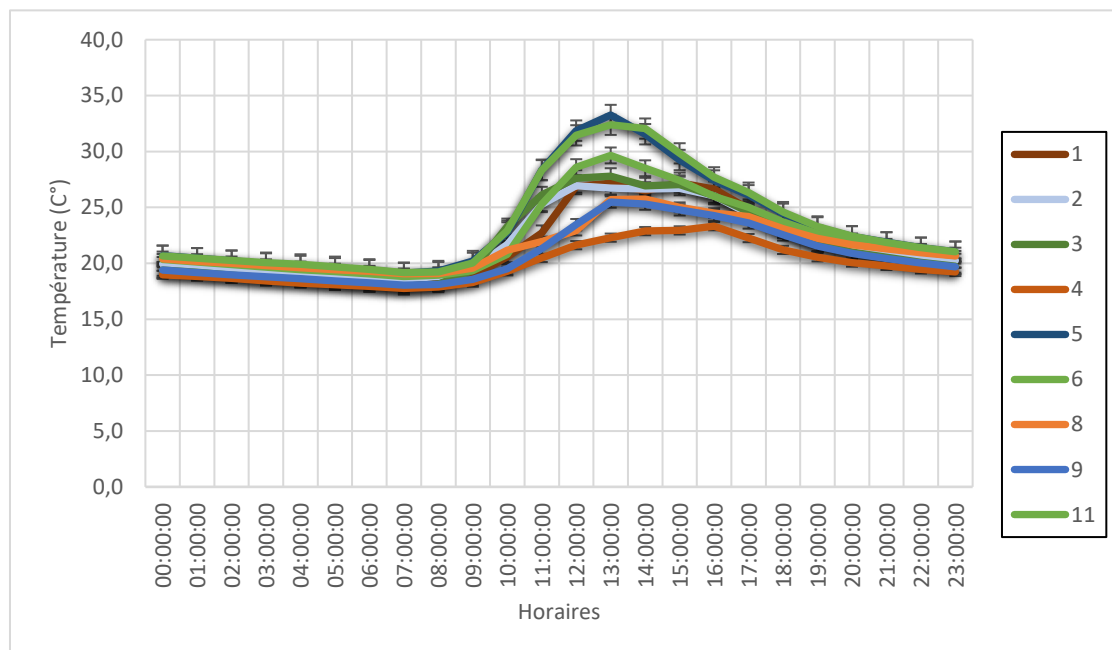


Figure 13 : Courbes des températures journalières moyennes par capteurs thermiques (Tiny tags), (EH, TS, ER)

La figure ci-dessus rend compte des moyennes de températures obtenues à partir des Tiny tags, séparés en trois dégradés de couleurs (Brun, Bleu, Vert) qui correspondent aux trois modalités

de couvertures de sol (ER, TS, EH). Ce graphique ne nous permet pas de distinguer une différence de température entre les 3 modalités de couvertures de sols.

4.4- Les relevés d'activité biologique :

Les tests d'activités biologiques (Bait-Lamina) et le traitement des données dans un tableau croisé dynamique nous a permis d'obtenir le pourcentage d'attaque des plaques de 16 bandes en fonction des modalités. On distingue une tendance à avoir une activité biologique inférieure sur EH que sur les deux autres modalités de couvertures végétales, néanmoins il n'est pas confirmé qu'il s'agit de différences significatives.

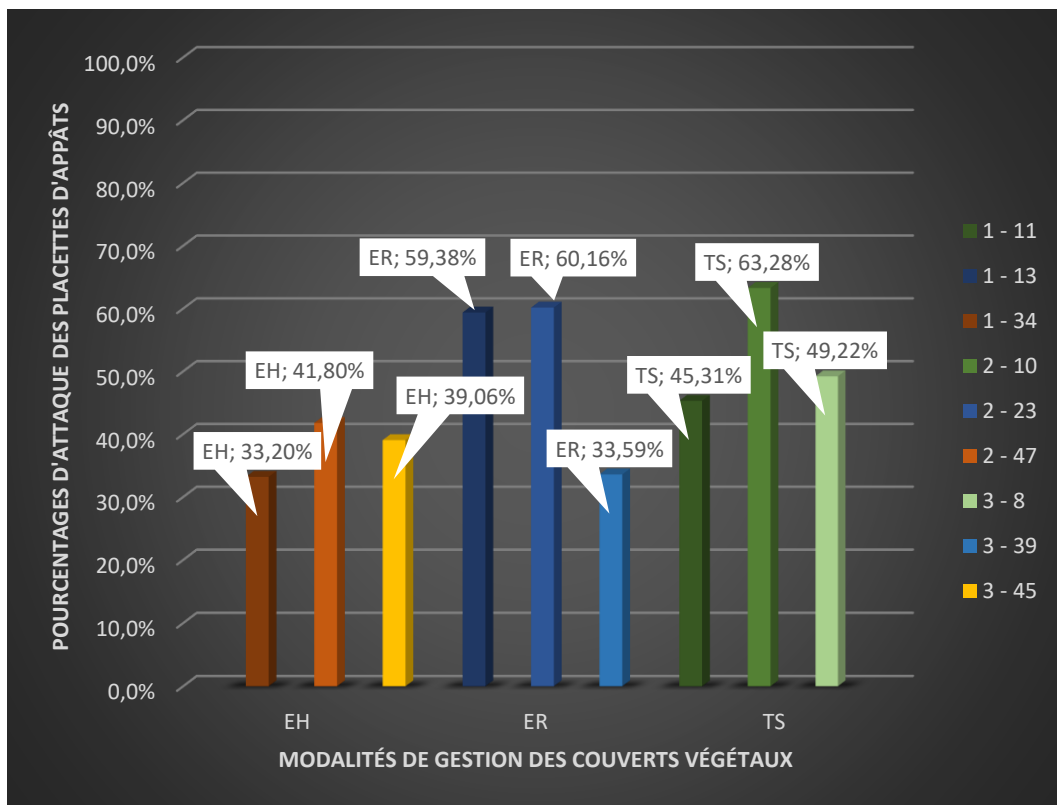


Figure 14 : Le pourcentage d'attaque des placettes de Bait-lamina par modalité de couverture du sol

5- Discussion (sur la partie II)

- Les pièges-cornets modifiés en pièges d'émergence se sont révélés efficaces. Même s'ils introduisent vraisemblablement un biais en affectant la levée de diapause de par une augmentation de la température, ils mettent en évidence un effet net de la modalité de couverture du sol sur l'émergence.
- Les résultats sur l'activité biologique du sol et sa température ne permettent pas de conclure sur un éventuel effet de ces paramètres sur la levée de diapause. La présence des pièges à proximité pourrait aussi créer des conditions micro-climatiques particulières, qui ne permettent pas en toute rigueur une comparaison de ces données avec celles obtenues les années précédentes quand les modalités étaient en place (Brustel, 2018 ; Briandy, 2019).
- Outre la confirmation de l'efficacité de deux des modalités de couverture du sol évaluées sur la régulation de la cécidomyie des fleurs du manguier, les résultats sur

l'émergence d'adultes issus de larves diapauses permettent d'alimenter un modèle mathématique décrivant la dynamique de population de cécidomyie des fleurs en fonction de la phénologie de la floraison du manguier, et des pratiques culturales (Grechi et al., 2018).

IV. Conclusion commune aux deux études

Les vergers de manguiers sont confrontés à de nombreux bioagresseurs, qui exercent de fortes pressions sur la culture. En particulier les bioagresseurs affectant la floraison et la fructification ont un effet direct sur la production elle-même, ce qui engendre de fortes conséquences économiques. Il est un enjeu majeur pour la recherche agronomique de proposer des solutions durables et efficaces aux agriculteurs.

Cette étude menée au sein de deux Unités de Recherche du CIRAD a permis de mettre en place des projets et dispositifs expérimentaux destinés à améliorer nos connaissances sur l'efficacité de méthodes agroécologiques de gestion de ravageurs (partie 1) et de suivre les effets de certaines de ces pratiques sur la régulation d'un de ces bioagresseurs (partie 2).

La première partie de cette étude m'a permis de contribuer à la mise en place d'un dispositif expérimental complet (Annexe I et II), accompagné des protocoles d'observation des mouches des fruits (Résultats partie 1) et des fiches de suivis de ces observations (Annexes III et IV). Des fiches de saisie sous format Excel sont également prévues (Annexe V).

La seconde partie de cette étude m'a permis de réaliser le suivi des effets de différentes modalités de couvertures de sol sur l'émergence de cécidomyies issues de larves diapauses. Les données obtenues sont la somme des cécidomyies récoltées sur 4 semaines, les relevés de températures en fonction des modalités et les données permettant de déterminer s'il y a un artefact lié au dispositif. J'ai contribué ainsi à la récolte des données nécessaires au développement de pratiques visant à gérer la cécidomyie en vergers de manguiers et à la validation de l'utilisation des pièges d'interception modifiés comme pièges d'émergence.

Ces études ne sont pas terminées lorsque je termine mon stage, la première partie de ce rapport donnera lieu à un autre stage de 6 mois sur le suivi, inscrit dans le projet GEMDOTIS.

Quant à la seconde partie, elle donnera lieu à des analyses complémentaires, nécessaires à la validation des résultats et de leur analyse, que je n'ai pas pu réaliser dans le temps imparti et avec les connaissances techniques que je possédais.

Ces deux études permettront d'alimenter les bases de données et de connaissances du CIRAD sur la recherche de pratiques agroécologiques permettant la gestion de ravageurs du manguier, et peuvent amener à la réduction de l'utilisation de pesticides sur le long terme.

BIBLIOGRAPHIE :

Amouroux, P., Normand, F., Nibouche, S., Delatte, H., 2013. Invasive mango blossom gall midge, *Procontarinia mangiferae* (Felt) (Diptera: Cecidomyiidae) in Reunion Island: ecological plasticity, permanent and structured populations. *Biol. Invasions* 15, 1677–

1693. doi :10.1007/s10530-012-0400-0

Amouroux, P., Normand, F., Delatte, H., Roques, A., Nibouche, S., 2014. Diapause incidence and duration in the pest mango blossom gall midge, *Procontarinia mangiferae* (Felt), on Reunion Island. *Bulletin of Entomological Research* 104, 661–670. <https://doi.org/10.1017/S0007485314000480>

Atiama, M., 2016, Bioécologie et diversité génétique d'Orthops palus (Heteroptera, Miridae), ravageur du manguier à La Réunion. Université de La Réunion, Thèse de doctorat.

Atiama-Nurbel, T., 2008. Interactions entre les mouches des cucurbitaceae et les plantes de bordure dans les systèmes horticoles à la Réunion. Rapport de stage : 2ème année de Master BEST.

Bonnet, E., 2009-2010. Interactions entre les mouches des Cucurbitaceae (Diptera : Tephritidae), une plante hôte (courgette) et une plante piège (maïs) disposée en bandes et patches intra-parcellaires à La Réunion. Rapport de stage : Stage de Master BEST.

Briandy, A., 2019, Confirmation du potentiel de leviers cultureux pour la régulation des populations et dégâts de ravageurs de la floraison et de la fructification du manguier à La Réunion, Cas de la cécidomyie des fleurs et des mouches des fruits. Mémoire d'Ingénieur.

Brustell, L., 2018, Mémoire de fin d'études, Evaluation de l'effet de pratiques culturales (paillage / enherbement du sol / récolte prophylactique précoce) en vergers de manguier (*Mangifera indica* L.) sur la régulation de bioagresseurs de la floraison et de la fructification : les cas de la cécidomyie des fleurs (*Procontarinia mangiferae*) et des mouches des fruits (Diptera : Tephritidae)

CABI, 1994. *Bactrocera dorsalis*. Distribution Maps of Plant Pests. <http://www.cabi.org/dmpp/abstract/20133225816> (5 August 2015).

Chantereau, J., Cruz, J.-F., Ratnadass, A., Trouche, G., 2013, Le sorgho, Versailles-Gembloux, Éditions Quæ-Presses agronomiques de Gembloux, « Agricultures tropicales en poche », 245 p.

Davenport, T.L., 2000. Processes influencing floral initiation and bloom : the role of phytohormones in a conceptual flowering model. *HortTechnology* 10, 733–739.

Davenport, T.L., 2003. Management of flowering in three tropical and subtropical fruit tree species. *HortScience* 38, 1331–1335.

Davenport, T.L., Nuñez-Elisea, R., 2009. Reproductive Physiology, in : *The Mango : Botany, Production and Uses*. Litz R.E., Wallingford, England, pp. 97–169

D'avout, C., 2011, Les Modalités d'utilisation du Synéis Appât® en agroécosystème horticole à La Réunion.

De Candolle, A., 1884. Origin of cultivated plants. D. Appleton and Co.

Deguine, J.-P., Ferron P, Russell D, 2009, Crop Protection: from Agrochemistry to Agroecology. Science Publishers, Enfield, NH, USA.

Deguine, J.-P., Atiama-Nurbel T, Aubertot J-N, Augusseau X, Atiama M, Jacquot M, Reynaud B.,2015,Agroecological cucurbit-infesting fruit fly management: a review. Agr Sust Dev 35 :937–965. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0290-5>.

Deguine, J.-P., Gloanec, C., Laurent, P., Ratnadass, A., Aubertot, J.N., 2016. Protection agroécologique des cultures, Edition Quae. ed. Deguine J.-P., Gloanec C., Laurent P., Ratnadass A., Aubertot J.-N., Versailles.

Deguine, J-P, Gloanec C, Laurent P, Ratnadass A, Aubertot J-N, 2017, Agroecological Crop Protection. Springer, ISBN 978-94-024-1184-3, <https://doi.org/10.1007/978-94-024-1185-0>.

Duhautois, S., 2010. La Structuration des communautés de Diptères sur le maïs, utilisé comme plante piège contre les mouches des légumes à La Réunion. Rapport de Stage de Master.

FAOSTAT, 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT database [WWW Document].

FAOSTAT, 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT database [WWW Document]. URL http://faostat3.fao.org/browse/Q/*/E

FAOSTAT, 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT database [WWW Document]. URL http://faostat3.fao.org/browse/Q/*/E

FAOSTAT, 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT database [WWW Document]. URL http://faostat3.fao.org/browse/Q/*/E

Ferron, P., Deguine, J-P, 2005. Crop protection, biological control, habitat management and integrated farming. Agr. Sust. Dev. 25 :17–24

Fontaine, R., Roux, E., 2017, FDGDON, La mouche orientale des fruits (Bactrocera dorsalis), http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Pages_de_Fiche_Bactrocera_dorsalis_5mai-2-3_cle8cffba.pdf.

Franck A., Deguine J.-P., Vincenot D., 2018. Guide de reconnaissance des Mouches des fruits et des légumes à La Réunion. Application de la protection agroécologique des cultures. Chambre d’agriculture de La Réunion, CIRAD (Eds), 38p. ISBN : 978-2-87614-732-4.

FDGDON, 2005. FDGDON Réunion | 4. Mouches des fruits et des légumes - Défense contre les Organismes Nuisibles. [online] Available at: <http://www.fgdgon974.fr/spip.php?rubrique18>.

GAMOUR, Deguine J.-P. et al., 2011, Gestion Agro-Ecologique des Mouches des légumes à La Réunion.

GEMDOTIS, 2018, Evaluation de la faisabilité d'une GEstion Multi-échelles d'un ravageur invasif Bactrocera DORSalis sur manguier à La Réunion, incluant la Technique de l’Insecte Stérile. Appel à projet 2018 – Ecophyto II.

GEVES, 2019. Les plantes de services - GEVES. [online] Available at: <https://www.geves.fr/expertises-varietes-semences/plantes-de-services/quest-quune-plante-de-service>.

Goergen G., Vayssières J.-F., Gnanvossou D, Tindo M., 2011, *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae), a new invasive fruit fly pest for the Afrotropical region: host plant range and distribution in West and Central Africa. 40(4) :844-54. doi: 10.1603/EN11017.

Gracen V.E. (1986). Sources of temperate maize germplasm and potential usefulness in tropical and subtropical environments. *Advances in Agronomy* 39 :127-172.

Grechi, I., Saint Crieg, L., Ratnadass, A., Normand, F., Soria, C., Brustell, L., Amouroux, P., Boudon, F., 2018, The mango tree - blossom gall midge system: toward in-silico assessment of management practices.

Hainzelin, E., 1998. Amélioration du rendement et de la tolérance aux densités élevées de deux populations tropicales élites de maïs par introgression de matériels exotiques. Thèse de Doctorat Unique. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, France.

INRA, 2012, 2017. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires. [online] Available, at: <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Cultures-intermediaires>.

Insa, G., Rossolin, G., Vincenot, D., 2002. La Mangue - Dossier Technico-Economique, 2nd ed. Chambre d'agriculture de La Réunion, Saint-Pierre, La Réunion GAMOUR : Guide technique agriculteurs, 2013, <http://gamour.cirad.fr/site/>

Kratz, W. 1998. The bait lamina test - general aspects, applications and perspectives. *Environmental Science and Pollution Research* (5) : pp. 94-96.

Litz, R.E., 2009. The mango: botany, production and uses, 2nd ed. CABI Publishing.

Mukherjee, S.K., 1953. Origin, distribution and phylogenetic affinity of the species of *Mangifera* L.1. *J. Linn. Soc. Lond. Bot.* 55, 65–83. doi :10.1111/j.1095-8339.1953.tb00004.x

Mukherjee, S.K., 1972. Origin of mango (*Mangifera indica*). *Econ. Bot.* 26, 260–264 doi :10.1007/BF02861039

Sarthou, J.-P., 2009, n.d. Le piège cornet unidirectionnel, nouveau piège entomologique d'interception 2.

Solicaz, 2015, Fiche Technique – Plantes de Services

Subramanyam, H., Krishnamurthy, S., Parpia, H.A.B., 1975. Physiology and Biochemistry of Mango Fruit, in : C.O. Chichester, E.M.M. and G.F.S. (Ed.), *Advances in Food Research*. Academic Press, pp. 223–305.

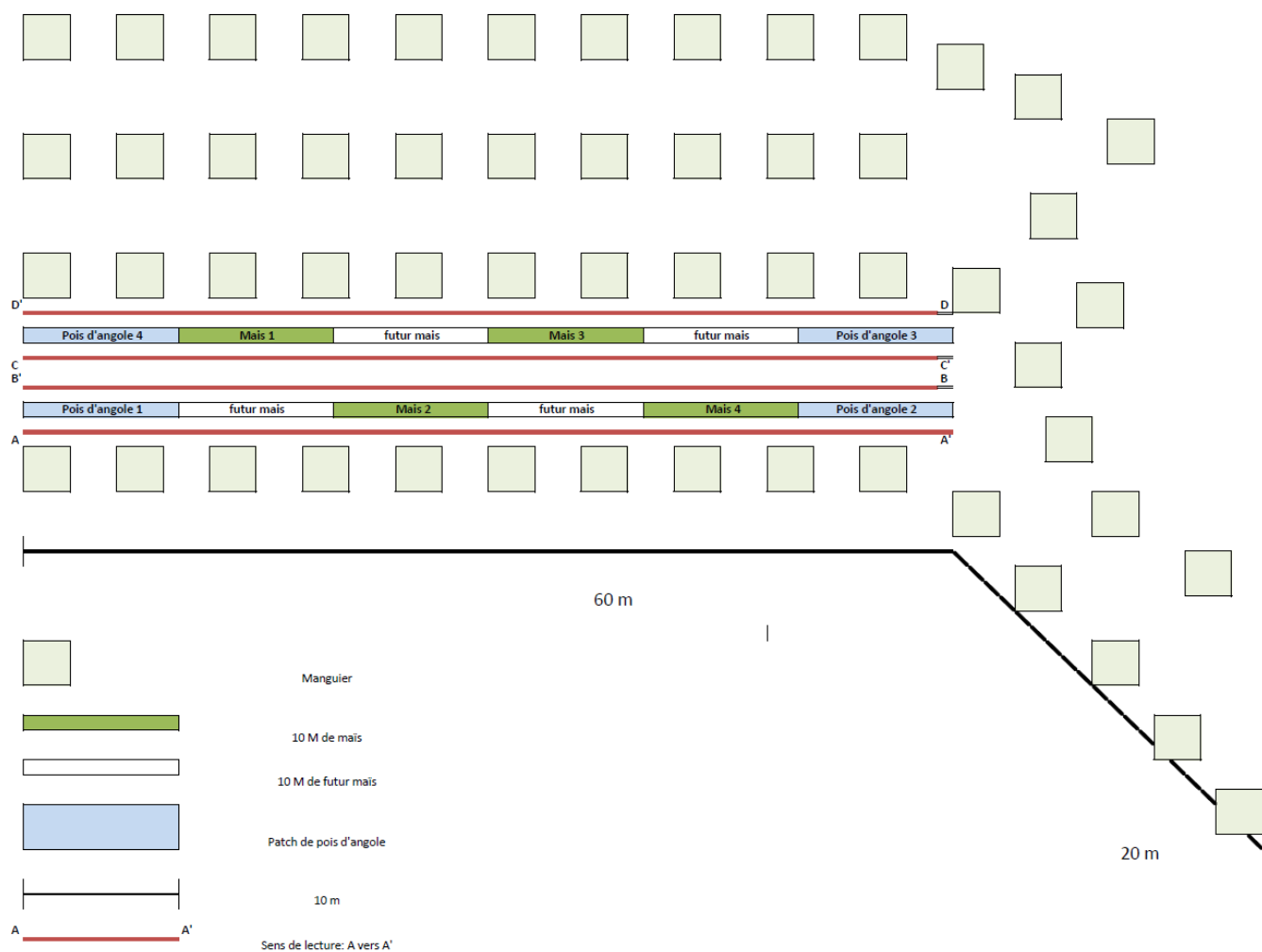
Van der Meulen, A., 1971. Mango growing in South Africa. Department of Agricultural Technical Services, Citrus and Subtropical Fruit Research Institute, Nelspruit, South Africa.

Vincenot D., Normand F., 2009. Guide de production intégrée de mangues à la Réunion. CIRAD et Chambre d'Agriculture, Saint-Pierre, Ile de la Réunion, France.

Watson, L., Dallwitz, M.J., 1992. The families of flowering plants : descriptions, illustrations, identification, and information retrieval, version 1st June 2007.

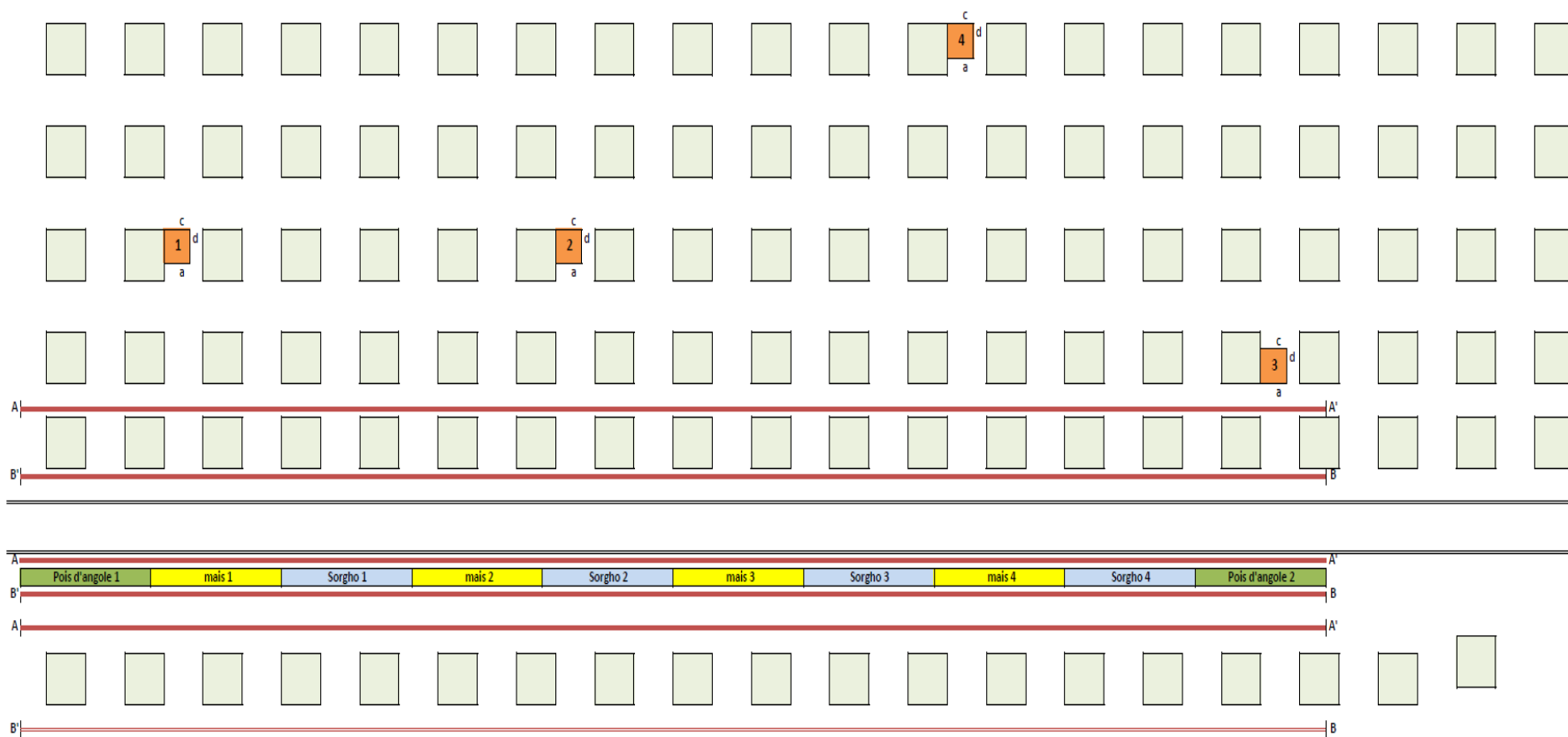
Weems, H.V. ; Heppner, J.B. ; Nation, J.L. ; Steck, G., 2016, oriental fruit fly – *Bactrocera dorsalis*, University of Florida.

Annexes I :



Dispositif expérimental : Plantes de services sur vergers de manguiers ; Agriculteur 1 ; Boucan Canot

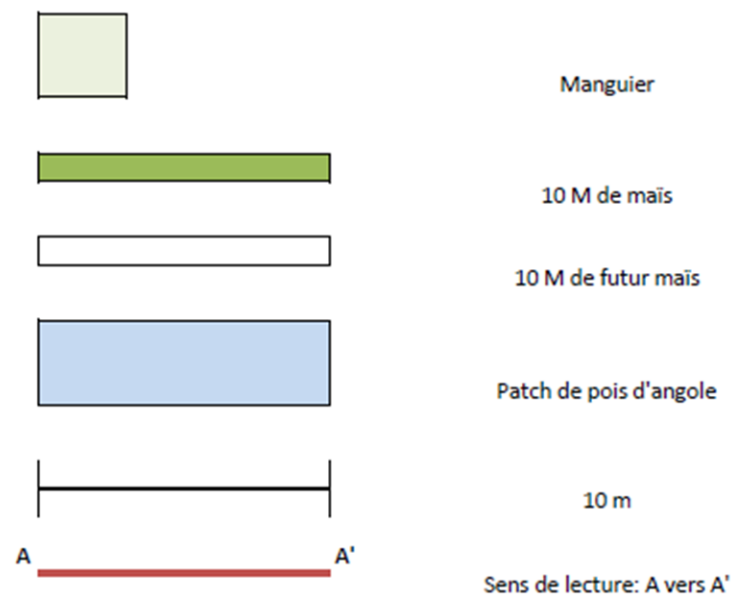
Annexes II :



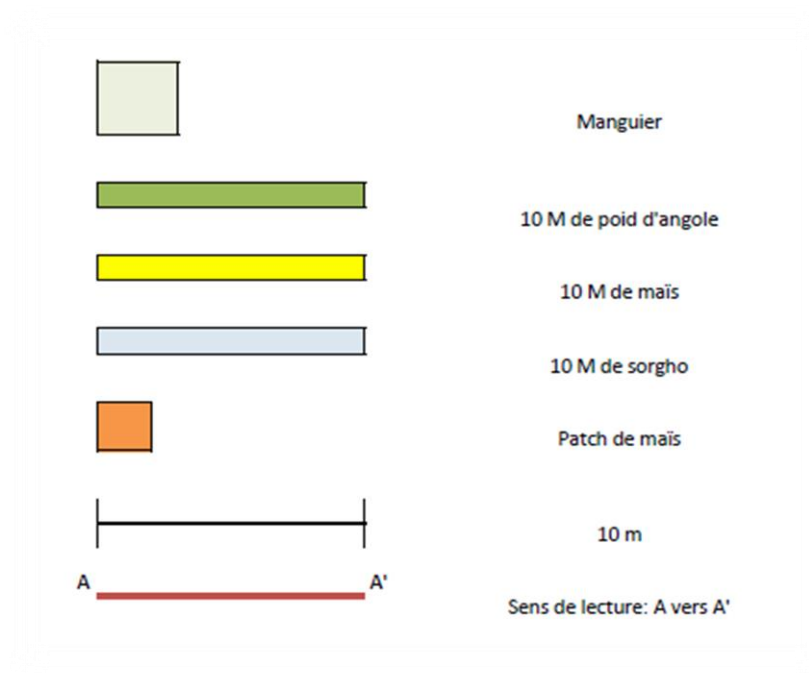
100 M

Dispositif expérimental : Plantes de services sur vergers de manguiers ; Agriculteur 2 ; St-Paul

Légendes annexe 1 :



Légendes annexe 2 :



Annexe III et IV : Fiches d'observations visuelles sur Manguiers, Maïs et Sorgho

Observation : Sur Unité Élémentaire d'observation (UEO) de Maïs et Sorgho Agriculteur : _____ Date : _____

Durée d'aspiration/Arbre : _____ Observateur(trice) : _____ Date du relevé précédent : _____

N° de l'UEO	<i>Bactrocera dorsalis</i>		<i>Bactrocera zonata</i>		<i>Ceratitis quilicii</i>		<i>Ceratitis capitata</i>		<i>Zeugodacus cucurbitae</i>		Autre
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
Total											

Commentaires : _____

Observation : Visuelle sur UEO de Manguiers

Agriculteur : _____

Date : _____

Durée d'aspiration/Arbre : _____

Observateur(trice) : _____

Date du relevé précédent : _____

N° du manguiers	<i>Bactrocera dorsalis</i>		<i>Bactrocera zonata</i>		<i>Ceratitis quilicii</i>		<i>Ceratitis capitata</i>		<i>Zeugodacus cucurbitae</i>		Autre
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
Total											

Commentaires : _____

Annexe V : Exemple de fiches de suivi des observations sur Maïs et Sorgho

Date	Observateur	Face de l'uni	Espèce suppl	Technique d	UEO	Espèce	Sexe	Nb.Observé
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		1 Bd	M	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		1 Bd	F	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		1 Bz	M	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		1 Bz	F	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		1 Cq	M	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		1 Cq	F	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		1 Cc	M	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		1 Cc	F	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		1 Zc	M	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		1 Zc	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		1 Bd	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		1 Bd	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		1 Bz	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		1 Bz	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		1 Cq	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		1 Cq	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		1 Cc	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		1 Cc	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		1 Zc	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		1 Zc	F	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		2 Bd	M	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		2 Bd	F	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		2 Bz	M	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		2 Bz	F	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		2 Cq	M	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		2 Cq	F	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		2 Cc	M	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		2 Cc	F	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		2 Zc	M	X
05/09/2019	TB	A	Manguier	Visuelle		2 Zc	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Bd	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Bd	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Bz	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Bz	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Cq	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Cq	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Cc	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Cc	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Zc	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Zc	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Cq	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Cq	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Cc	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Cc	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Cc	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Cc	F	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Zc	M	X
05/09/2019	CAS	B	Manguier	Visuelle		2 Zc	F	X

Annexe VI : Exemple de fiches de saisi de l'émergence des cécidomyies

Piège	Date	Num.Arbre	Traitement	Num.pièg	Nb.jours	Cécidomyies:
ER1 N	2019-07-18	13 ER	13 ER	B	7	0
ER1 S	2019-07-18	13 ER	13 ER	A	7	3
ER2 N	2019-07-18	23 ER	23 ER	B	7	6
ER2 S	2019-07-18	23 ER	23 ER	A	7	10
ER3 N	2019-07-18	39 ER	39 ER	A	7	3
ER3 S	2019-07-18	39 ER	39 ER	B	7	7
TS1 N	2019-07-18	11 TS	11 TS	B	7	3
TS1 S	2019-07-18	11 TS	11 TS	A	7	2
TS2 N	2019-07-18	10 TS	10 TS	B	7	1
TS2 S	2019-07-18	10 TS	10 TS	A	7	6
TS3 S1	2019-07-18	8 TS	8 TS	A	7	1
TS3 S2	2019-07-18	8 TS	8 TS	B	7	0
EH1 N	2019-07-18	34 EH	34 EH	B	7	0
EH1 S	2019-07-18	34 EH	34 EH	A	7	6
EH2 N1	2019-07-18	47 EH	47 EH	A	7	0
EH2 N2	2019-07-18	47 EH	47 EH	B	7	2
EH3 N	2019-07-18	45 EH	45 EH	A	7	10
EH3 S	2019-07-18	45 EH	45 EH	B	7	0
ER1 N	2019-07-25	13 ER	13 ER	B	7	1
ER1 S	2019-07-25	13 ER	13 ER	A	7	3
ER2 N	2019-07-25	23 ER	23 ER	B	7	21
ER2 S	2019-07-25	23 ER	23 ER	A	7	6
ER3 N	2019-07-25	39 ER	39 ER	A	7	6
ER3 S	2019-07-25	39 ER	39 ER	B	7	8
TS1 N	2019-07-25	11 TS	11 TS	B	7	3
TS1 S	2019-07-25	11 TS	11 TS	A	7	2
TS2 N	2019-07-25	10 TS	10 TS	B	7	0
TS2 S	2019-07-25	10 TS	10 TS	A	7	6
TS3 S1	2019-07-25	8 TS	8 TS	A	7	3
TS3 S2	2019-07-25	8 TS	8 TS	B	7	0
EH1 N	2019-07-25	34 EH	34 EH	B	7	4
EH1 S	2019-07-25	34 EH	34 EH	A	7	10
EH2 N1	2019-07-25	47 EH	47 EH	A	7	0
EH2 N2	2019-07-25	47 EH	47 EH	B	7	6
EH3 N	2019-07-25	45 EH	45 EH	A	7	6
EH3 S	2019-07-25	45 EH	45 EH	B	7	1

Annexe VII : Exemple de fiches de suivi des identifications du contenu des pièges sarthou modifiés (sur Enherbement Ras)

Piège	Capteur Int	Capteur Ext	Lépidoptères hétérocèl	Diptères brachycères	Procontarinia	Autres Cécidomyies	Autres Nématocères	Dictyoptères	Sternorhynques	Auchenorhynques	Ichneumons	Chalcidiens	Fourmis ailées	Fourmis aptères	Araignées	Acarie	Scymnus	Autres coccinelles	Othoptères	Coléoptères	Emboptères	Psocoptères	Collembolles	Thrips	Punaise Miridae	Punaise Tingidae
ER1 N	T1	T2	0	1		0	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ER1 S			0	1		3	0	1	0	2	0	4	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
ER2 N	T3	T4	3	2		6	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ER2 S			3	0		10	3	0	0	1	5	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ER3 N			1	0		3	1	0	0	0	0	1	0	3	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
ER3 S	T5	T6	6	0		7	5	0	0	1	0	8	6	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Annexe VIII : Exemple de fiches de saisi des relevés de Bait lamina

Traitemen	Positio	Num.Bande	Profondeu	Presence.Pie	Num.Arbr	Niveau	Attaqui
ER	1	1	16	1	13	1	1
ER	1	2	16	1	13	0	0
ER	1	3	16	1	13	0	0
ER	1	4	16	1	13	0	0
ER	1	5	16	1	13	0	0
ER	1	6	16	1	13	0	0
ER	1	7	16	1	13	0	0
ER	1	8	16	1	13	0,5	1
ER	1	9	16	1	13	0,5	1
ER	1	10	16	1	13	1	1
ER	1	11	16	1	13	0	0
ER	1	12	16	1	13	1	1
ER	1	13	16	1	13	0	0
ER	1	14	16	1	13	1	1
ER	1	15	16	1	13	0	0
ER	1	16	16	1	13	1	1
ER	2	1	16	1	23	0	0
ER	2	2	16	1	23	1	1
ER	2	3	16	1	23	0,5	1
ER	2	4	16	1	23	1	1
ER	2	5	16	1	23	1	1
ER	2	6	16	1	23	1	1
ER	2	7	16	1	23	0,5	1
ER	2	8	16	1	23	0	0
ER	2	9	16	1	23	0	0
ER	2	10	16	1	23	0,5	1
ER	2	11	16	1	23	1	1
ER	2	12	16	1	23	0	0
ER	2	13	16	1	23	1	1
ER	2	14	16	1	23	0,5	1
ER	2	15	16	1	23	1	1
ER	2	16	16	1	23	0,5	1
ER	3	1	16	1	39	0,5	1
ER	3	2	16	1	39	0	0
ER	3	3	16	1	39	1	1
ER	3	4	16	1	39	0	0
ER	3	5	16	1	39	0,5	1
ER	3	6	16	1	39	1	1
ER	3	7	16	1	39	0,5	1
ER	3	8	16	1	39	0	0
ER	3	9	16	1	39	0	0
ER	3	10	16	1	39	0	0
ER	3	11	16	1	39	0	0
ER	3	12	16	1	39	0	0
ER	3	13	16	1	39	0	0
ER	3	14	16	1	39	0	0
ER	3	15	16	1	39	0	0
ER	3	16	16	1	39	0	0