



# Confirmation du potentiel de leviers culturels 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

**Amélie BRIANDY**



## Résumé

La production de mangues tient une place importante au point de vue économique pour l'île de La Réunion mais elle est freinée par les dégâts causés par certains bioagresseurs. La gestion durable de ces bioagresseurs par des méthodes de lutte alternatives aux produits phytosanitaires font aujourd'hui l'objet de plusieurs recherches menées, entre autres par le CIRAD. L'étude présentée vise à déterminer si la mise en place de certains types de couvertures du sol (tapis de sol, enherbement spontané maintenu haut) permet de réguler l'infestation du manguier par la cécidomyie des fleurs et est compatible avec la récolte prophylactique, méthode de lutte contre les mouches des fruits, tout en ne nuisant pas à la production du manguier.

L'étude menée en 2018 sur deux vergers de manguiers de la variété Cogshall dans l'Ouest de l'île, vient confirmer les résultats obtenus en 2017. Le tapis de sol et l'enherbement spontané maintenu haut sont des modes de gestion de couvertures du sol qui permettent un niveau d'infestation plus faible des cécidomyies par rapport à un enherbement maintenu ras, tout en n'affectant pas la phénologie ou l'environnement des manguiers (taux de floraison, température et activité biologique du sol). De plus, ces modalités de couvertures du sol semblent avoir aussi un effet bénéfique pour la régulation des populations des mouches des fruits. La mise en place de ces couvertures du sol pourrait être déployée auprès des producteurs de mangues de La Réunion en complément d'autres méthodes de lutte préventives comme l'augmentorium pour le tapis de sol ou l'introduction de volailles sur des vergers menés en enherbement spontané maintenu haut.

**Mots-clés :** *Mangifera indica*, *Procontarinia mangiferae*, *Bactrocera dorsalis*, couverture du sol, récolte prophylactique

## Abstract

Mango production is an important component of Reunion Island economy, which is constrained by damages due to some pests. The sustainable management of these pests by methods alternative to chemical control are today subject to several researches conducted by CIRAD, among others. The presented study aims to determine whether the implementation of some types of soil cover (synthetic mulching, high resident vegetation cover) helps regulating mango infestation by the blossom gall midge, while being compatible with prophylactic harvest, a fruit fly control method, and not affecting mango production.

The study conducted in 2018 on two mango orchards of the Cogshall cultivar, located in the West of the island, confirms the results obtained in 2017. Both synthetic mulching and high resident vegetation cover are soil cover management methods that result in lower mango blossom gall midge infestation without affecting the phenology and the environment of mango trees (in terms of flowering rates, soil temperature and soil biologic activity). Moreover, these soil cover methods seem to have a positive impact on the regulation of the oriental fruit fly population. The implementation of these soil covers might be extended to Reunionese mango producers as a complement to other preventive control methods like augmentorium for synthetic mulching, or poultry introduction in mango orchards conducted with high resident vegetation cover.

**Keywords:** *Mangifera indica*, *Procontarinia mangiferae*, *Bactrocera dorsalis*, soil cover, prophylactic harvest



## Remerciements

Je remercie, tout d'abord, Alain RATNADASS, mon maître de stage, pour m'avoir accompagné sur le terrain, avoir pris le temps de répondre à mes questions et de m'avoir toujours bien encadré.

Je remercie également Mme Marie-Hélène ROBIN, ma tutrice de stage qui m'a suivie tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Je tiens à remercier aussi ma collègue Ester KORNIG pour son aide et son soutien aussi bien sur le terrain qu'au bureau. Les aides de Rose-My PAYET et de Constance BRUNET-LECOMTE m'ont aussi été très précieuses et je les remercie pour cela.

Merci à Sylvie HOSPITAL pour son accueil chaleureux et sa remarquable gestion des imprévus.

Je remercie Frédéric CHIROLEU et Anna DOIZY, les statisticiens du 3P sans qui je n'aurais pas pu réaliser mes analyses statistiques. Merci de m'avoir accordé votre temps et de m'avoir accueillie souvent dans votre bureau.

Je souhaite remercier toute l'équipe de la station de Bassin Plat, chercheurs et techniciens, pour leur accueil et leur bonne humeur quotidienne.

Merci à l'équipe du lycée agricole de Saint-Paul et en particulier à Mylène WILT et Anna AURE qui m'ont permis de réaliser mes suivis et de m'avoir intégrée dans un projet pédagogique avec les élèves de première année du BTS GPN.

Merci aussi à M. Claudy ROBERT de m'avoir fait confiance et de m'avoir laissé réaliser les expérimentations sur ses parcelles et avoir pris le temps de répondre à mes questions.

Enfin je remercie mes colocataires et collègues de bureau qui m'ont fait passer des moments inoubliables et qui m'ont accompagnée durant ces 6 mois passés sur mon île.



# **SOMMAIRE**

## Introduction

### **PARTIE 1 : Contexte et enjeux**

1. Le CIRAD
2. L'île de La Réunion
3. La culture de la mangue
4. Les principaux bioagresseurs du manguier à La Réunion
5. La problématique de l'étude

### **PARTIE 2 : Matériels et méthodes**

1. Contexte général des suivis et dispositifs expérimentaux
2. Suivi 1 : dynamique de la phénologie des manguiers
3. Suivi 2 : dynamique des populations de cécidomyies
4. Suivi 3 : infestation précoce des jeunes fruits

### **PARTIE 3 : Résultats des suivis**

1. Résultats généraux
2. Suivi 1 : dynamique de la phénologie des manguiers
3. Suivi 2 : dynamique des populations de cécidomyies
4. Suivi 3 : infestation précoce des jeunes fruits

### **PARTIE 4 : Discussions et propositions**

1. Discussions et limites de l'étude
2. Perspectives d'amélioration et propositions

## Conclusion





## **Sigles et abréviations**

ARIFEL : Association Réunionnaise Interprofessionnelle Fruits et Légumes

ARMEFLHOR : Association Réunionnaise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière, Légumière et HORTicole

AROP-FL : Association Réunionnaise des Organisations de Producteurs de Fruits et Légumes

Bios : Systèmes biologiques (Département du Cirad)

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

COSAQ : Co-conception de Systèmes Agro-alimentaires de Qualité (DPP du CIRAD)

CPEA : Centre de Production et d'Expérimentation Agricole

DAAF : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

DPP : Dispositif de Programmation de la recherche en Partenariat

DROM : Département et Région d'Outre-Mer

EH : Enherbement Haut

EPIC : Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial

EPLEFPA : Etablissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricoles

ER : Enherbement Ras

ES : Environnements et Sociétés (Département du Cirad)

FEDER : Fonds Européen de Développement Régional

FEADER : Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural

GAB : Groupement des Agriculteurs Biologiques

GLM : Modèle Linéaire Généralisé

HortSys : Fonctionnement agroécologique et performances des Systèmes de cultures Horticoles

MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

ONU : Organisation des Nations Unies

OTEX : Orientation Technico-Economiques

PAEC : Protection AgroEcologique des Cultures

Persyst : Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (Département du Cirad)

PIB : Produit Intérieur Brut

PS : Paillage Synthétique

SAU : Surface Agricole Utile

UC : Unité de Croissance

UR : Unité de Recherche



## Introduction

Ce mémoire présente l'étude réalisée au cours d'un stage de fin d'études de six mois au sein de l'Unité de Recherche (UR) HortSys du CIRAD à Saint-Pierre, île de La Réunion (97455). Cette étude, menée de juin à décembre 2018, s'inscrit dans une politique globale de réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires et notamment sur la production de mangues. La mangue est un fruit qui a une grande importance mondiale et aussi à l'échelle de la Réunion (3<sup>ème</sup> fruit le plus exporté sur l'île). De nombreux bioagresseurs, en particulier la cécidomyie des fleurs, la punaise du manguier et les mouches de fruits, représentent aujourd'hui une réelle menace pour les vergers réunionnais. Chaque année, les producteurs remarquent des pertes de production liées à ces bioagresseurs. C'est donc dans l'intérêt du CIRAD et de ses partenaires, dont les producteurs, de s'associer pour trouver un moyen de lutte ou de prévention efficace contre ces bioagresseurs. A la suite de plusieurs projets liant différents acteurs de la filière mangue réunionnaise (groupement de producteurs, le CIRAD en tant qu'institution de recherche, instituts techniques, ...), des changements dans les pratiques culturales des vergers se sont montrés efficaces pour abaisser le niveau d'infestation des manguiers par ses ravageurs habituels tout en permettant d'abaisser drastiquement l'utilisation de produits phytosanitaires. Dans ces pratiques, la mise en place d'un couvert végétal (enherbement, bandes fleuries) pour favoriser une faune auxiliaire utile a semblé pertinente. La mise en place d'une couverture du sol (naturelle ou synthétique), véritable barrière physique qui vient casser le cycle de vie des principaux agresseurs, est un autre levier de protection dont nous avons voulu montrer les effets positifs au travers de cette étude. Pour cela, deux dispositifs expérimentaux ont été mis en place sur lesquels trois types de suivis ont été réalisés : le premier évalue l'effet des couvertures du sol sur la dynamique de la phénologie de la floraison et de la fructification des manguiers, le second teste les effets de ces mêmes couvertures du sol sur la population de cécidomyies tandis que le dernier estime l'effet de ces couvertures du sol sur l'infestation précoce des jeunes fruits et donc le potentiel de la récolte prophylactique précoce comme méthode de prévention contre les mouches des fruits.

C'est pourquoi, nous verrons dans un premier temps le contexte global dans lequel cette étude vient s'inscrire, puis nous aborderons le matériel et le protocole mis en place pour mener cette étude. Dans une troisième partie, nous étudierons les principaux résultats qui sont ressortis de ces trois suivis expérimentaux et pour finir nous discuterons des limites de cette étude et évoquerons les propositions qui peuvent en ressortir.



## **PARTIE 1: Contexte et enjeux**



# 1 Le CIRAD

## 1.1 Organisation

Le CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) est un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC) créé en 1984 qui est aujourd'hui sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche, et de l'Innovation et du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères. Comme son nom l'indique, ses recherches sont centrées sur l'agronomie et le développement durable pour les zones tropicales et méditerranéennes. La création de ce centre de recherche résulte du regroupement de neuf instituts de recherche datant des années après-guerre déjà spécialisés dans la recherche agronomique tropicale. Il compte 1650 salariés répartis entre le centre principal basé à Montpellier, le siège social à Paris et les 11 directions régionales à travers le monde, comme nous pouvons le voir sur la carte ci-dessous (voir figure 1). Parmi ces directions régionales deux regroupent les départements et régions d'outre-mer (DROM) françaises que sont la Guyane, la Guadeloupe et la Martinique pour l'une et Mayotte et la Réunion pour la deuxième. Le CIRAD est en effet très actif dans les DROM, l'environnement étant tropical tout en restant sur le territoire français.

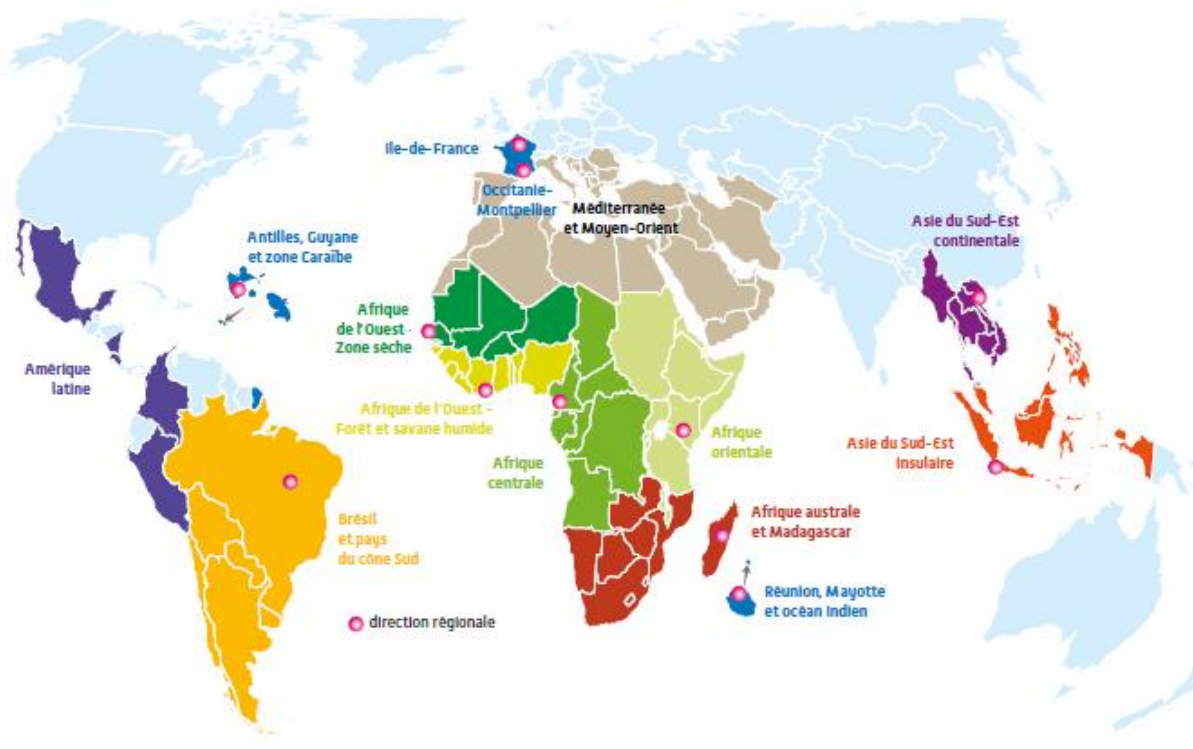


Figure 1 - La présence du CIRAD dans le monde (Eddi, 2018)

Le CIRAD se divise en trois départements scientifiques : le département Systèmes biologiques (Bios), le département Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (Persyst) et le département Environnements et Sociétés (ES). Le département Persyst regroupe tous les projets et études concernant la durabilité et les performances de tous les systèmes de productions tropicales. Il s'intéresse à l'introduction de pratiques agroécologiques dans la production et la transformation de ces cultures tropicales. Dans ce département, les études sont à l'échelle d'une parcelle, d'une

exploitation ou d'un territoire. En comparaison, le département Bios étudie le fonctionnement et la biologie des organismes liés à l'agriculture afin de mieux comprendre leurs interactions (par exemple la relation plante-hôte et parasites, le génome d'une bactérie). L'échelle d'étude est donc replacée à l'échelle moléculaire ou de l'individu. Le département ES s'attache à comprendre les relations entre les différents acteurs et parties prenantes de ces systèmes de productions. Il joue un rôle important dans le développement rural des pays dans lesquels le CIRAD est implanté pour favoriser le lien et l'entente durable entre producteurs, territoires et acteurs de la filière. Le département ES travaille sur l'organisation des marchés, l'établissement d'une norme ou d'un cahier des charges, ou encore sur la mise en place d'un dialogue entre tous les membres de l'amont à l'aval d'une filière de production.

Ces départements sont eux-mêmes subdivisés en 33 unités de recherche (URs) qui peuvent être soit mixtes, c'est-à-dire en partenariat avec un établissement d'enseignement supérieur et un ou plusieurs autres organismes de recherche, soit propres au CIRAD. La direction générale ainsi que le conseil d'administration du CIRAD sont dirigés depuis 2013 par Michel Eddi (voir annexe 1). Cette direction est encadrée par un conseil scientifique et un comité d'éthique commun à l'INRA et l'Ifremer (Eddi, 2018).

Alors que dans les pays étrangers, les URs du CIRAD interviennent essentiellement dans le cadre de Dispositifs d'enseignement et de recherche en Partenariat (DPs), les activités du CIRAD à La Réunion sont organisées en quatre Dispositifs de Programmation de la recherche en Partenariat (DPPs), coordonnés par la direction régionale Réunion-Mayotte & Océan indien. Cette programmation de la recherche s'effectue dans le cadre d'accords-cadres entre l'Etat (Direction de l'Agriculture et de la Forêt), la Région Réunion, le Département de La Réunion et le CIRAD.

## **1.2 Missions**

Les principales missions du CIRAD se basent sur la recherche de solutions aux problématiques actuelles que sont la sécurité alimentaire, la gestion des ressources naturelles, le changement climatique ou encore la lutte contre la pauvreté. Nous pourrions résumer l'objectif du CIRAD à la proposition de : « bâtir une agriculture durable, adaptée aux changements climatiques, capable de nourrir 10 milliards d'êtres humains en 2050, tout en préservant l'environnement » (Eddi, 2019). En effet, les missions du CIRAD portent sur les enjeux mondiaux et actuels. Elles sont donc en accord avec les 17 objectifs du développement durable mis en place par l'Organisation des Nations Unies (ONU) ainsi qu'avec les accords de Paris sur le changement climatique signé en 2015 à la suite de la COP21. Le CIRAD tente d'agir avec les politiques publiques internationales autour de l'agriculture des pays du Sud pour garantir à ses habitants une vie décente tout en améliorant la durabilité de leur système. Concrètement, le CIRAD met en place des recherches expérimentations directement avec ses partenaires des pays du Sud pour développer l'agroécologie, améliorer les systèmes de production ainsi que les systèmes de transformation et de distribution.

En plus de ces missions de recherche, le CIRAD s'attache à partager ses connaissances par le biais de ses dispositifs de recherche et enseignement en partenariat. C'est-à-dire que le CIRAD est à la fois engagé sur des projets auprès de ses partenaires du Sud - comme le projet d'agroforesterie au Cameroun ou le projet d'hévéaculture en Thaïlande - et qu'il dispense aussi un programme de formation auprès de ces pays-là. A ce jour, 150 institutions dans 100 pays répartis entre l'Afrique, l'Amérique latine et l'Asie permettent de former de futurs chercheurs dans le monde. Le CIRAD accueille chaque année environ 400 doctorants dont plus de la moitié (57%) sont issus des pays du Sud. Cette capitalisation du savoir et des connaissances passe aussi par la diffusion de l'information et des solutions à grande échelle. La diffusion se fait tout d'abord par la publication



d'articles scientifiques mais aussi par l'édition d'ouvrages en partenariat avec les éditions Quae. Pour exemple, au cours de l'exercice de l'année 2017, 198 millions d'euros de budget ont amené à la publication de 830 articles scientifiques, à de nombreuses heures de cours dispensées et à des missions de terrain (Eddi, 2018).

### 1.3 L'UR HortSys

L'unité propre de recherche Fonctionnement agroécologique et performances des Systèmes de cultures Horticoles (HortSys) est rattachée au département Persyst. Elle a pour principal objectif la conception de systèmes de culture horticoles tropicaux (essentiellement à base de fruits et/ou légumes) basés sur les principes de l'intensification écologique. Les productions horticoles jouent un rôle très important dans la sécurité alimentaire. En plus de fournir un nombre élevé d'emplois, ces cultures possèdent une haute valeur nutritive et l'accroissement de leur production permet donc de réduire la malnutrition dans le monde. Or, le constat actuel met en évidence d'importantes pertes de production dont une partie est due aux bioagresseurs des cultures. La question qui se pose aujourd'hui est comment pouvons-nous réduire ces pertes tout en évitant les moyens de lutte actuels, essentiellement basés sur de la lutte chimique, qui se montrent de moins en moins efficaces (problèmes de résistance) et de plus en plus controversés (impacts sanitaires et environnementaux). L'agroécologie peut aujourd'hui permettre de répondre à ces enjeux. Comme définie par Deguine *et al.* (2016), elle repose sur trois principes :

- Produire en s'appuyant sur les fonctionnalités des écosystèmes
- Maximiser la biodiversité fonctionnelle
- Renforcer les régulations biologiques dans les agroécosystèmes

L'UR HortSys tend à appliquer ces principes aux systèmes de productions principalement fruitiers et légumiers tropicaux en recherchant des solutions innovantes et alternatives à l'utilisation de produits phytosanitaires qui font l'objet d'essais réalisés en stations ou directement chez les producteurs concernés.

Cette UR est dirigée depuis 2018 par Fabrice Le Bellec. Elle est principalement présente à Montpellier et dans les DROM avec la Martinique et la Réunion, et dans une moindre mesure la Guyane et Mayotte. Elle est aussi présente sur le continent africain avec le Sénégal, la Côte d'Ivoire, le Kenya et la Tanzanie, ainsi que Madagascar. Jusqu'en 2018, les chercheurs et techniciens de cette UR étaient répartis dans deux équipes : l'équipe Agroécologie, interactions et régulations biologiques dans les systèmes horticoles (Airb) et l'équipe Evaluation et conception de systèmes horticoles (Ecos). L'équipe de recherche Airb de La Réunion, qui a accueilli cette année l'étude de ce mémoire, tente de comprendre les mécanismes endogènes au niveau de la plante et d'interactions et de régulations entre les organismes au sein du système horticole (fruitier en l'occurrence) pour améliorer sa durabilité. Par ses recherches, l'équipe a pour but de modéliser et de mettre en place des systèmes horticoles fonctionnels et performants qui pourront le cas échéant être proposés à d'autres pays pour lutter contre des bioagresseurs comme par exemple les différentes espèces de mouches des fruits présentes sur les productions de manguiers.

### 1.4 Cadre et contexte scientifiques de l'étude à La Réunion

Le stage s'inscrit dans le cadre du DPP COSAQ (cadre dont relève l'UR HortSys à La Réunion, avec quatre autres URs du CIRAD). Ce DPP (COSAQ : CO-construction de Systèmes Agroalimentaires de Qualité) a notamment pour objectif de « Produire mieux »

ce qui passe par une réduction des impacts environnementaux des systèmes techniques, notamment par la mise en oeuvre de méthodes agroécologiques, en particulier pratiques culturales à effet essentiellement « Bottom-up » (taille pour synchronisation de la floraison et aération de la canopée, couverture du sol à l'aplomb des arbres comme barrière physique, récolte prophylactique précoce pour rupture du cycle, récolte au stade optimal, optimisation de l'irrigation pour un meilleur compromis entre floraison et gestion d'un enherbement afin de mettre en place la lutte biologique par conservation. Notre étude s'inscrit plus précisément dans le projet COSAQ 1 (financé par le FEDER) qui s'intéresse aux bases biologiques et techniques de cette co-conception, et dans le cadre du projet Ecoverger est financé par l'ONEMA dans le cadre de l'APR 2014 « Résistance et pesticides » piloté par le MEDDE. L'objectif de ce projet (« Conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers guidée par les contraintes et les objectifs des agriculteurs ») conduit de 2015 à 2019 est d'élaborer une méthode pour concevoir des itinéraires techniques en vergers évalués sur leur capacité à limiter le développement et les dommages des bioagresseurs et à satisfaire les obligations d'efficacité agronomique, de viabilité économique et de durabilité. La conception d'itinéraires techniques passe par la connaissance des processus biologiques impliqués dans la régulation des bioagresseurs de la floraison du manguier et donc de l'effet de pratiques culturales sur ces processus.

A ce titre, ce stage s'inscrit à la suite du stage de fin d'études de Lucie Brustel, réalisé entre juin et décembre 2017 (Brustel, 2018) avec les mêmes financements et le même objet. En effet, l'étude mise en place en 2018 a suivi le même protocole que celui défini en 2017, année où la floraison des manguiers a été insuffisante (se traduisant par seulement environ 950 t de mangues à La Réunion pour une production annuelle moyenne normale de 3000 t), imposant une reconduction de l'étude en 2018. Cependant, l'un des deux sites d'expérimentation suivis en 2017 a dû être abandonné car il s'est avéré que tous les manguiers observés n'appartenant pas au même cultivar. Toutefois, un nouveau dispositif expérimental, plus léger, a été mis en place en 2018, chez un producteur.

Les Projets Ecoverger et COSAQ1, dans leur composante « manguier », s'inscrivent eux-mêmes à la suite du projet Ecofrut. Ce projet (Nouveaux systèmes de culture ECOlogiques et durables pour des productions FRUitières de qualité en milieu Tropical), conduit de 2010 à 2015, a été financé par le Fonds européen pour le développement rural (Feader). Il a visé notamment à améliorer les méthodes de production de mangues. Il a traité de la maîtrise de la production, de la phénologie et de la qualité des mangues par une meilleure efficacité de l'irrigation, ainsi que des problèmes phytosanitaires, notamment les cochenilles à sécrétions cireuses et la cécidomyie des fleurs. C'est dans le cadre de ce projet qu'une thèse réalisée par Paul Amouroux de 2011 à 2013 a permis de faire le point sur la biologie et la dynamique des populations de la cécidomyie des fleurs (*Procontarinia mangiferae*) à La Réunion (Amouroux, 2013). Cette thèse, en partie réalisée sur le principal verger sur lequel ont été conduites notre étude et celle de Lucie Brustel, a permis, entre autres, de comprendre les mécanismes d'entrée et de levée de diapause des larves de cécidomyies pour assurer la survie de l'espèce d'une année sur l'autre, ainsi que de mieux comprendre le mode de dispersion des femelles dans un verger. Ce travail d'approfondissement des connaissances sur les cécidomyies des fleurs du manguier a été à l'origine de la réflexion sur les stratégies de gestion agroécologique de ce bioagresseur.

Toujours dans le cadre du projet Ecofrut, deux essais ont été conduits par l'ARMEFLHOR (Association Réunionnaise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière, Légumière et HORTicole) en 2015 chez deux producteurs de mangue de l'Ouest de l'île, pour vérifier

l'impact du paillage synthétique du sol sur les populations des cécidomyies des fleurs, suspecté suite à la thèse de Paul Amouroux (Graindorge, 2015a ; Graindorge, 2015b ; Ratnadass *et al.*, 2017).

Ces différents projets à l'initiative de l'UR HortSys sont ou ont été davantage orientés vers les barrières physiques et les processus « bottom-up » et peuvent être considérés comme complémentaires de ceux du projet Biophyto mené par l'UMR PVBMT, faisant surtout appel à des processus « top-down ».

Le projet Biophyto, mis en place par le plan Ecophyto de 2008 visant la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires, a été lancé pour appliquer la protection agroécologique des cultures (PAEC) dans des cultures fruitières tropicales. Cette PAEC est une démarche qui « vise à privilégier le fonctionnement écologique de l'agroécosystème, en optimisant les interactions entre les communautés animales et les communautés végétales et en favorisant la santé du sol. » (COTE *et al.*, 2018). La PAEC, par ces deux axes directeurs, gestion des communautés et gestion du sol, cherche à optimiser les relations naturelles de régulation qu'ils existent entre ces différents composants de l'agroécosystème. Cette démarche systémique nécessite l'application de stratégies à la fois phytosanitaires et agronomiques non plus à l'échelle d'une parcelle mais de l'exploitation. L'agriculteur doit mettre en œuvre toutes les pratiques qui lui sont accessibles pour faire de son exploitation un environnement sain pour sa production et propice au développement de la biodiversité (Deguine *et al.*, 2016).

Le projet Biophyto a cherché à développer la PAEC dans des vergers de manguiers à la Réunion. Il s'est déroulé de 2012 à 2014 auprès de 13 producteurs de l'île en partenariat avec 11 organismes professionnels de domaines variés telle que la recherche avec le CIRAD ou le domaine de la formation avec l'EPLEFPA (Etablissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricole) de la commune de Saint-Paul (Deguine, Jacquot, *et al.*, 2018). Toutes les parties prenantes avaient pour objectif commun de démontrer, par le biais de ce projet, que mener une culture de mangues sans de lourdes pertes dues aux bioagresseurs habituels que sont la cécidomyie des fleurs du manguiers, la punaise et les mouches des fruits (voir paragraphe 4.1. Insectes) et sans recours à des produits phytosanitaires pouvaient fonctionner et être valorisée à sa commercialisation. Parmi les pratiques mises en place pour atteindre cet objectif, nous retrouvons l'installation d'une couverture végétale, de bandes fleuries, d'une récolte prophylactique et bien sûr l'arrêt des traitements phytosanitaires chimiques. Ces pratiques s'inscrivent toutes dans ce que nous appelons la lutte biologique par conservation, favorisant le développement de la faune auxiliaire, et qui est l'un des piliers de la protection agroécologique des cultures mais aussi de la problématique de cette étude. La lutte biologique par conservation, contrairement à ses deux méthodes alternatives : la lutte biologique classique et la lutte biologique inondative, ne consiste pas à introduire dans un système une faune auxiliaire extérieure mais bien à préserver la faune auxiliaire appartenant déjà au système en question et même à la développer. Cette lutte peut être mise en place par ces différents moyens d'action, qui s'appuie sur trois stratégies principales (voir figure 2) :

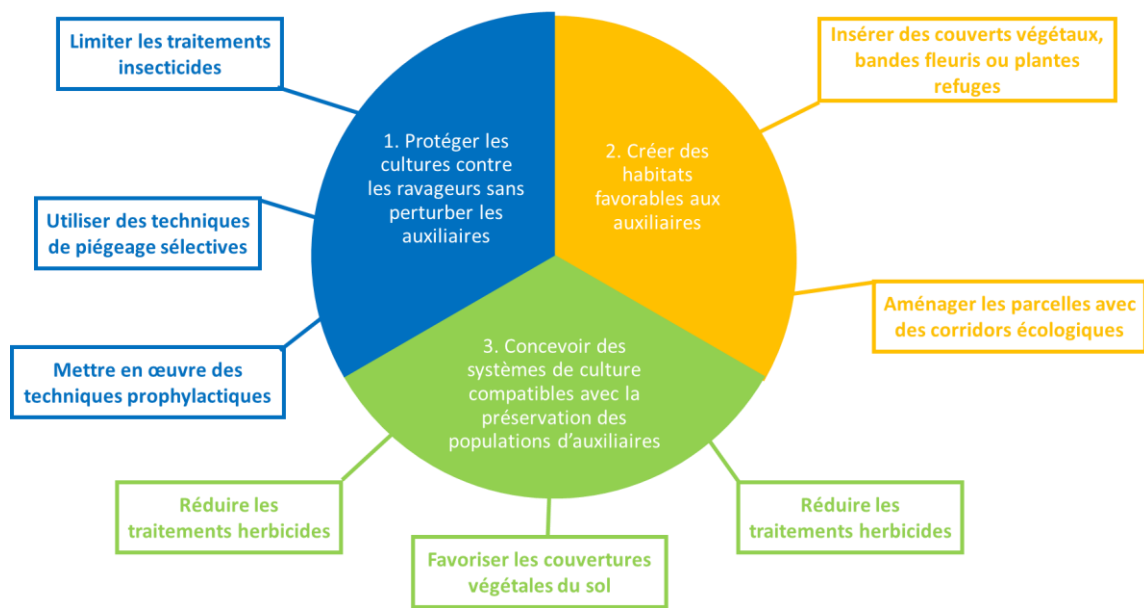


Figure 2 - La lutte biologique par conservation (adapté de Deguine et al., 2016)

Les résultats du projet Biophyto montrent que l'itinéraire cultural agroécologique proposé pour les vergers de manguiers, en plus de se trouver efficace pour la réduction de dégâts dus aux bioagresseurs, est plus économique qu'une conduite dite conventionnelle. En effet, le coût par cycle de production s'élève à 1320 € pour le conventionnel contre 370 € pour l'agroécologique et cela est principalement dû à l'absence de charges concernant des produits agrochimiques. C'est aussi pour cette même raison, l'arrêt de l'utilisation de produits phytosanitaires, que le projet Biophyto est favorable à la transition à une production « bio », certifiée par le label « Agriculture biologique », dont la demande sur le marché est actuellement en augmentation et qui sera valorisable même à l'exportation. De plus, les producteurs qui mettent en place ce genre de pratiques peuvent prétendre à des aides compensatoires grâce au développement des mesures agroenvironnementales (MAE) sur la région Réunion (Agrete, 2013). Ces mesures, initiées par la PAC en 2007, ont été déclinées dans les régions françaises et sont donc en financées par le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER) et les chambres d'agriculture régionales. Ces aides contractualisées s'élèvent à environ 790 €/ha pour l'implantation d'une couverture végétale ou de bandes fleuries à hauteur de 500 m<sup>2</sup>/ha (soit environ 5% des vergers) (Deguine, Aubertot, *et al.*, 2018).

## 2 L'île de La Réunion

### 2.1 Contexte géographique

L'île de la Réunion est à la fois un département et une région d'outre-mer de la France. Cette île volcanique de 2512 km<sup>2</sup> se trouve dans l'océan Indien. Elle se situe à environ 680 km de la côte est de Madagascar et 170 km au sud-ouest de l'île Maurice et appartient à l'archipel des Mascareignes. Son chef-lieu et préfecture est la commune de Saint-Denis au nord de l'île. Elle se divise en 24 communes regroupées en 5 communautés d'agglomération qui accueillent environ 850 000 habitants. L'île de la Réunion présente des paysages très différents entre ses profils montagneux et ses plages (voir figure 3). L'île possède un relief très varié imposé par ses deux volcans. Le piton de la Fournaise, volcan de type effusif toujours actif, entre en éruption plusieurs fois par an, tandis que le piton des Neiges, qui culmine à plus de 3000 m d'altitude, est responsable de la création de trois cirques ou caldeiras, des dépressions naturelles du terrain engendrant une cuvette, le cirque de Mafate, le cirque de Cilaos et le cirque de Salazie (Lénat, 2016). L'île de la Réunion est une île volcanique basaltique créée par un point chaud il y a environ 3 millions d'années. Ce qui fait d'elle une île relativement jeune et la plus récente de l'archipel des Mascareignes (Fevre, 2005). Cette nature fait de cette île une véritable réserve de biodiversité unique. D'ailleurs, 40% de son territoire est un parc national inscrit depuis 2010 au patrimoine mondial de l'UNESCO. Ce parc occupe la partie centrale de l'île, soit la partie la moins adaptée à l'exploitation en tout genre. Le littoral, quant à lui, concentre les activités humaines sur aussi près de 40% de la surface de l'île.

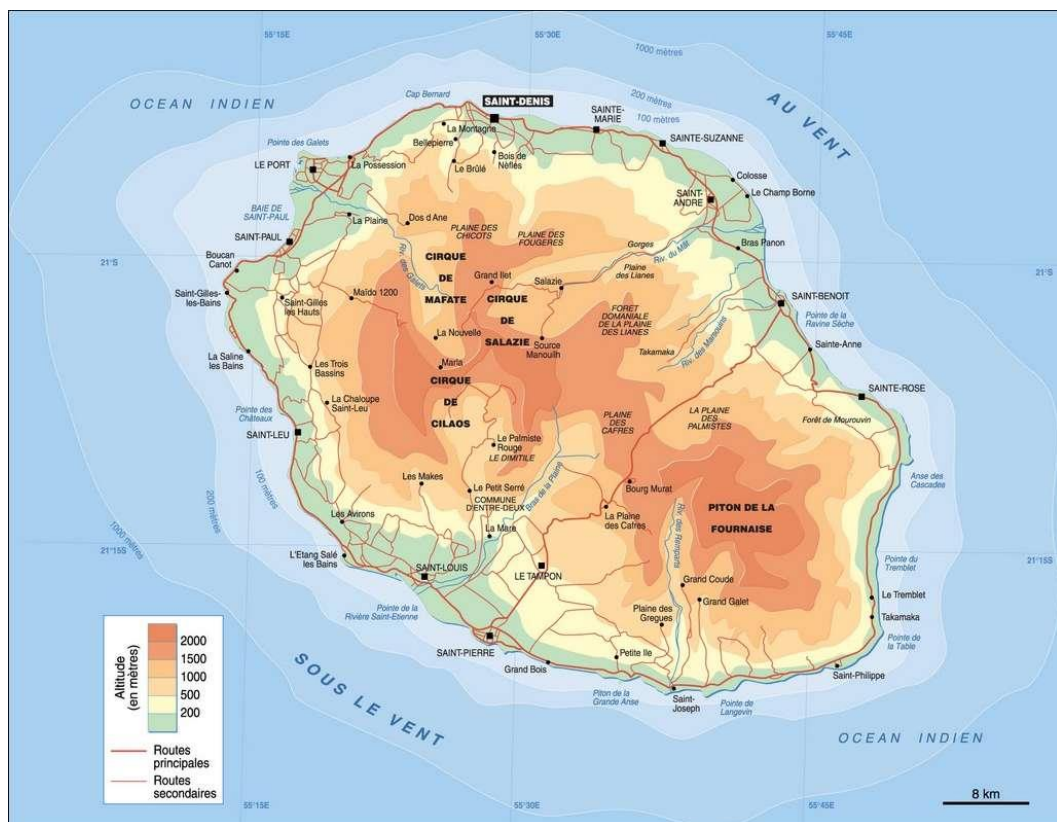
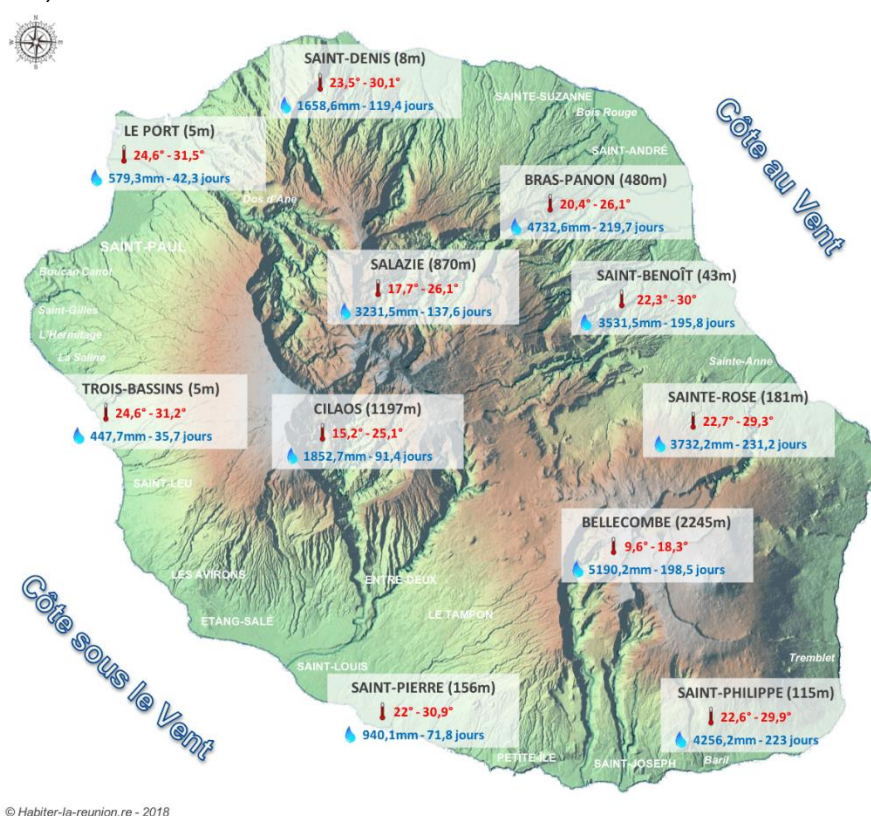


Figure 3 - Carte du relief de l'île de La Réunion (Actualitix, 2019)

## 2.2 Contexte pédoclimatique

Le climat de l'île de la Réunion est un climat tropical humide caractérisé par deux saisons : la saison d'été et la saison d'hiver austral. La saison d'été, qui s'étend du mois de novembre au mois d'avril, est caractérisé par des températures chaudes, aux alentours des 30°C pour les côtes, et une saison humide, de janvier à mars, où les précipitations sont plus fréquentes et importantes. Durant l'hiver austral, de mai à octobre, les températures sont plus fraîches, aux alentours des 22°C pour les villes côtières mais peuvent chuter jusqu'à 0°C dans les hauts. C'est aussi au cours de cette saison, que l'on peut noter l'installation d'une saison dite sèche (de mai à novembre) où les précipitations se font plus rares voire sont totalement absentes des communes situées sur le littoral ouest de l'île.

Toutefois, le climat sur l'île de La Réunion, est aussi défini par le relief imposé par ses deux pitons. En effet, ces massifs montagneux, au centre de l'île, protègent la côte ouest des alizés marines. L'île est en quelque sorte séparée en deux zones distinctes où le climat général est dégradé. Ces deux zones peuvent être séparées par une diagonale tracée entre le Nord-Ouest de l'île et le Sud-Est, soit entre les communes de Saint-Denis et de Saint-Philippe. La partie Sud-Ouest est la côte sous le vent, caractérisé par des températures moyennes plus chaudes, une pluviométrie plus faible et une saison sèche plus marquée (voir figure 4). La partie Nord-Est, la côte au vent, au contraire affiche en moyenne des températures plus basses et surtout des précipitations importantes comme à Sainte-Rose où chaque année on enregistre plus de 11 mètres de pluviométrie (Météo France, 2019a).



© Habiter-la-reunion.re - 2018

Figure 4 - Carte des normales saisonnières des principales communes de La Réunion (Habiter La Réunion, 2018)

L'île est aussi soumise à des aléas climatiques importants comme les cyclones. Ces phénomènes apparaissent régulièrement à la saison cyclonique tropicale s'étalant du mois de janvier au mois de mars, tout comme la saison humide de l'été austral. Les cyclones, dépressions atmosphériques, se caractérisent à La Réunion par des vents violents pouvant dépasser les 250 km/h, une forte houle, et des précipitations intenses qui sont à l'origine des nombreux records de pluviométrie de La Réunion. Ces précipitations provoquent la majorité des accidents liés aux épisodes cycloniques. En effet, la pluviométrie abondante entraîne des crues et des glissements de terrain qui ont déjà causé la mort de plusieurs personnes. Les cyclones peuvent aussi impacter la production de mangues car les vents sont suffisamment violents pour déraciner les manguiers.

Le climat réunionnais impacte directement la production de mangues locale. En effet, les températures plus fraîches et la faible pluviométrie de l'hiver austral sont des facteurs d'induction de la floraison du manguiers qui débute donc vers le mois de juillet. De plus, les maladies fongiques sont favorisées par un climat humide et explique donc que la zone de production de mangues soit située dans l'Ouest où la pluviométrie est moins importante que dans l'est de l'île.

### **2.3 Contexte économique**

L'île de la Réunion possède la croissance économique la plus rapide des DROM et même supérieure à la France métropolitaine (+3,1% en 2015 contre +0,6% pour la métropole) (Ministère des Outre-Mer, 2016). Le PIB par habitant est de 21 460, ce qui reste inférieur au niveau national français (INSEE, 2016) et qui est certainement dû au niveau de chômage très élevé (près de 25%), surtout chez les jeunes, ce qui est aussi très largement supérieur à la moyenne nationale (9,9%). Ce phénomène est aussi accentué par la forte croissance démographique et par le manque d'institutions de formation qui oblige les Réunionnais à terminer leurs études et chercher du travail en France métropolitaine. Le caractère insulaire de La Réunion, impacte aussi fortement la balance commerciale de l'île, fortement déficitaire (5 milliards d'euros d'importation contre 500 millions d'euros seulement alloués aux exportations) puisque l'île importe de nouveaux produits de la métropole (produits pharmaceutiques, industriels, énergie, ...).

Le secteur primaire a une importance restreinte pour l'économie de l'île. En effet, il ne contribue qu'à 1% du Produit Intérieur Brut (PIB) de La Réunion et la Surface Agricole Utile (SAU) totale représente seulement 17% de la superficie de l'île. Cette SAU, répartie dans environ 7000 exploitations, assure un emploi à 15 232 personnes (Agreste, 2018). La majorité des exploitations de type individuel sont dirigées par des exploitants généralement âgés de 40 à 59 ans. La culture principale est celle de la canne à sucre qui a généré 70 millions d'euros en 2011 par son exportation et qui fait de La Réunion, la première région productrice de canne à sucre en Europe. La seconde culture de l'île est la production fruitière qui contribue aussi aux échanges commerciaux avec la France métropolitaine. De manière plus générale, la figure 5 représente l'orientation technico-économique des exploitations (OTEX) agricoles réunionnaises :

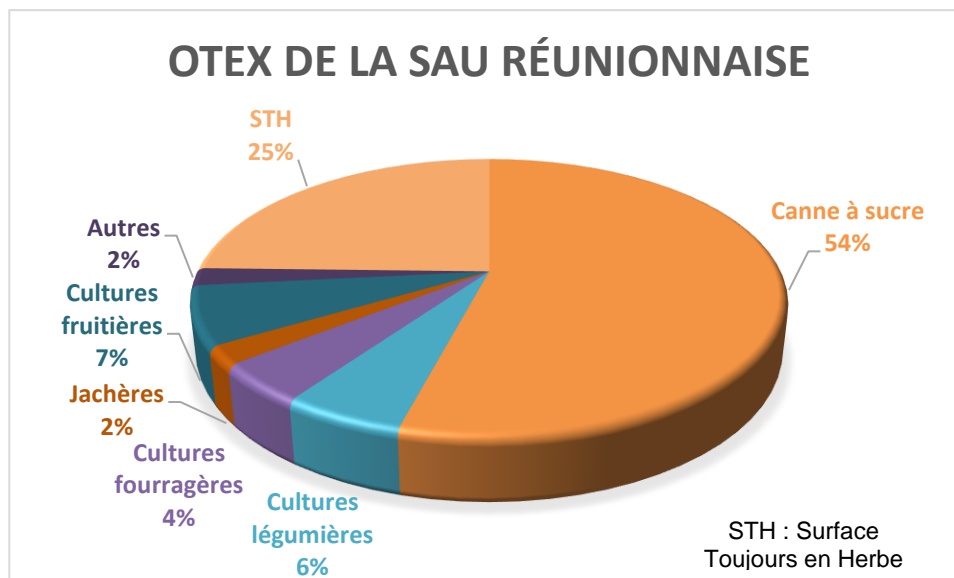


Figure 5 - OTEX de la SAU réunionnaise (adapté d'Agreste, 2018)

### 3 La culture de la mangue

La mangue est une production fruitière tropicale très importante dans le monde. D'après la FAO (FAOSTAT, 2019), c'est le sixième fruit le plus produit au monde avec plus de 50 millions de tonnes produites en 2017 sur plus de 5 millions d'hectares. Cela représente près de 9% de la superficie totale mondiale requise pour la production de fruits. D'après cette même source le niveau de production est toujours en augmentation depuis 1997 comme nous le montre la figure 6 :

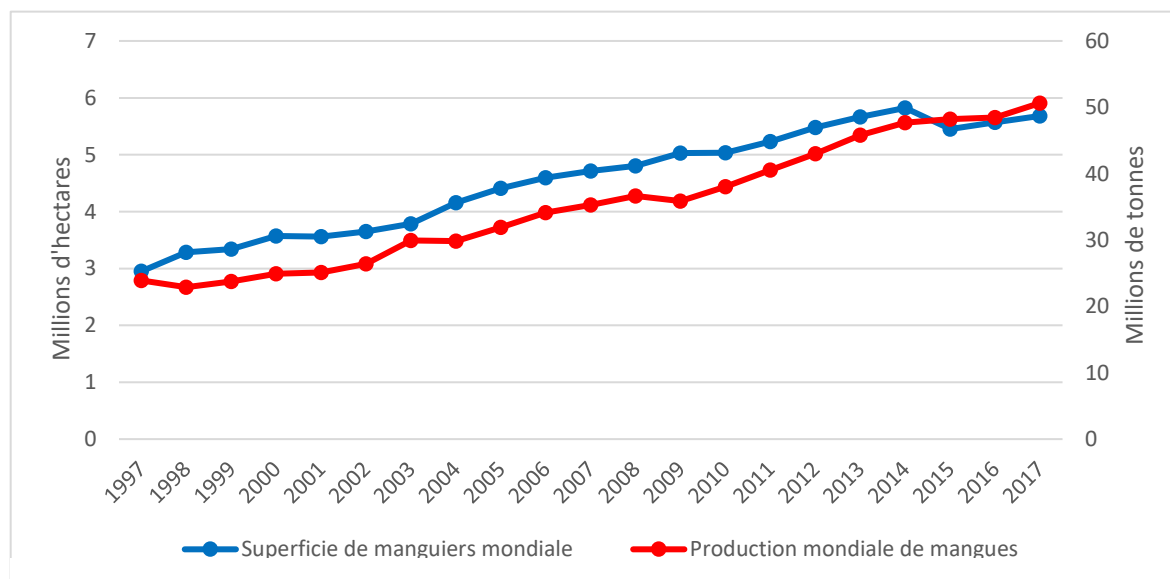


Figure 6 - Evolution de la production et de la superficie récoltée de mangues sur la période de 1997 à 2017 (FAO, 2019)



### 3.1 Importance mondiale

L'Inde est depuis des décennies le premier pays producteur de mangues avec presque 20 millions de tonnes de mangues récoltées sur la campagne 2017 et devance de loin les autres pays producteurs que nous retrouvons ci-dessous (FAOSTAT, 2019). En effet, la production de mangue de l'Inde est 4 fois plus importante que le deuxième producteur qui est la Chine, comme nous l'indique la figure 7. La Réunion arrive seulement en 69<sup>ème</sup> position sur 103 pays producteurs de mangues.

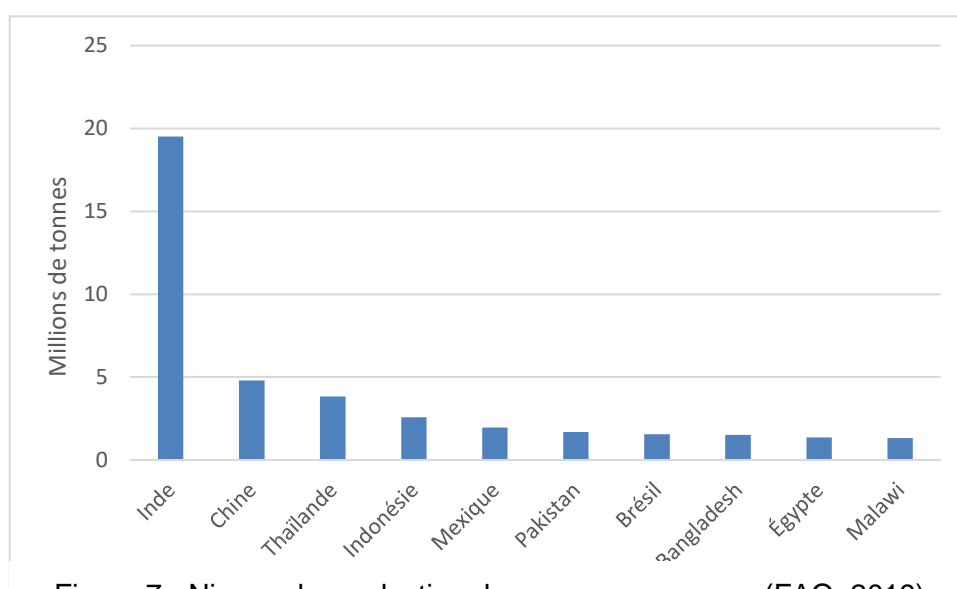


Figure 7 - Niveau de production de mangues par pays (FAO, 2019)

Nous pouvons aussi remarquer que les quatre premiers pays producteurs appartiennent au continent asiatique qui produit à lui seul plus de 70% de la production mondiale. Toutefois la majorité de la production de mangues est destinée à une consommation locale puisque seulement environ 3% de la production mondiale est exportée (1 672 000 tonnes en 2016 selon FAOSTAT, 2019). Ces exportations, qui représentent environ 2 milliards de dollars américains, sont principalement à destination des pays occidentaux comme les Etats-Unis et l'Europe. L'intensification de l'exportation de mangues est donc une voie exploitable par ses pays producteurs. Il est donc important, pour aider les producteurs, d'orienter des sujets de recherche autour de la conservation de la mangue durant son transport, de la maîtrise de son rendement ou encore de la gestion de ses bioagresseurs.

## 3.2 Culture du manguier à La Réunion

### 3.2.1 Biologie

Le manguier, de son nom scientifique *Mangifera indica* L., fait partie de la famille des Anacardiaceae qui regroupe d'autres espèces à intérêt agricole comme l'anacardier ou le pistachier. Comme son nom semble l'indiquer cette espèce végétale est originaire de la région indo-birmane, qui en est d'ailleurs, comme évoqué précédemment, le leader mondial ainsi qu'un de ses centres de domestication. Depuis le 20<sup>ème</sup> siècle, la Floride peut aussi être considérée comme un second centre de diversification de l'espèce puisque cette région a travaillé à la création de nombreux cultivars, dits « floridiens », sur lesquels les critères de commercialisation de la mangue sont encore basés aujourd'hui.



Figure 8 - Présentation d'un manguier Cogshall (A) avec ses feuilles (B), ses inflorescences (C) et ses fruits (D)

Le manguier est un arbre fruitier d'environ 40 m de haut qui peut vivre plusieurs centaines d'années. Il possède un feuillage persistant composé de feuilles vertes à vert foncé (voir figure 8), disposées en spirales, dont la forme et la taille dépendent généralement de la variété. Son système racinaire est composé d'une ou plusieurs racines pivotantes profondes complétées par des racines latérales puisant l'eau et les nutriments nécessaires à la croissance jusqu'au 40 premiers centimètres (Vincenot et Normand, 2009). Les fleurs sont regroupées en panicules de centaines à quelques milliers de fleurs à la fois mâles et hermaphrodites (Litz, 2009), ce sont les inflorescences. Les fleurs, petites et peu mellifères sont souvent autofécondées de façon anémophile et entomophiles (mouches, thrips). Le fruit est une drupe dont la taille, la couleur, la texture et les qualités gustatives dépendent du cultivar. La mangue est un fruit climactérique (qui a la capacité de mûrir même après sa récolte) ce qui favorise son exportation vers des pays éloignés de leur zone de production.

### 3.2.2 Physiologie

La croissance du manguier est rythmique et alterne entre phase de croissance végétative, une phase de repos végétatif, la phase de floraison et la phase de fructification (voir figure 9) (Persello, 2015). La croissance végétative, favorisée par un climat chaud et humide, débute avec l'été austral et en parallèle de la période fructification, vers le mois d'octobre. L'arrivée de l'hiver austral en avril, caractérisé par une chute des températures et de la pluviométrie, marque un stress hydrique chez le manguier qui arrête sa croissance, c'est la phase de repos végétatif. Ce changement de climat est aussi à l'origine de l'induction

de la floraison qui a lieu en juillet. La floraison peut s'étaler jusqu'au mois d'octobre en fonction de la variété du manguiier mais surtout en raison du phénomène d'asynchronisme général des manguiiers, qui induit que tous les bourgeons d'un même arbre ne débourrent pas sur un même laps de temps. En effet, la croissance végétative du manguiier, comme sa période de floraison, sont asynchrones au niveau du verger et à l'échelle de l'arbre (Dambreville, 2012). Cet asynchronisme s'intensifie avec l'âge du manguiier. Cette particularité permet une période de production plus longue, car des inflorescences sont présentes sur une période plus longue, mais induit aussi une gestion des bioagresseurs et des pratiques culturales, comme la récolte, plus complexe. En effet, les stades de sensibilité aux bioagresseurs se chevauchent et le besoin en main d'œuvre est plus long.

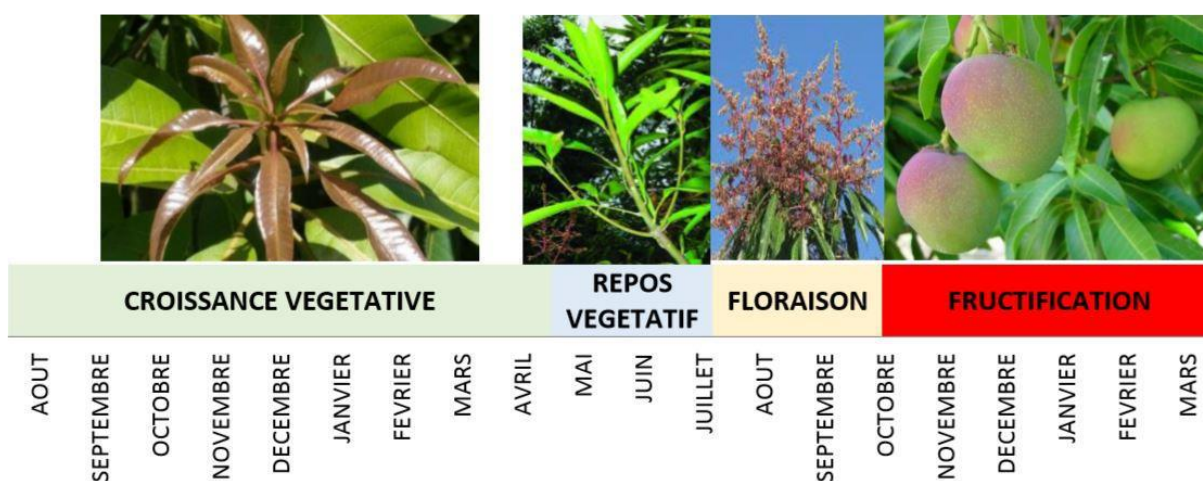


Figure 9 - Cycle de croissance d'un manguiier à La Réunion (Persello, 2015)

L'unité de croissance (voir figure 10), qui sera abrégé UC pour la suite de cette étude, est une notion importante que nous retrouverons à plusieurs reprises. L'UC est l'axe provenant d'une période ininterrompue de croissance (Dambreville, 2012). Cet axe feuillé met environ 10 jours pour atteindre son dernier stade de développement (du stade phénologique C au stade H, voir annexe 2) et mettre en place des bourgeons en dormance. Ces bourgeons, placés en position apicale ou latérale, peuvent être de différentes natures : végétatifs, reproducteurs ou mixtes. Les bourgeons reproducteurs donneront une inflorescence tandis que les bourgeons végétatifs donneront des feuilles. Les bourgeons mixtes donneront les deux, soit de petites panicules à l'aisselle des feuilles. Les bourgeons reproducteurs suivent aussi une croissance selon différents stades phénologiques décrits dans l'annexe 3. Le manguiier est aussi soumis à un phénomène d'alternance de production. La production d'une année est souvent plus importante que la suivante et inversement.

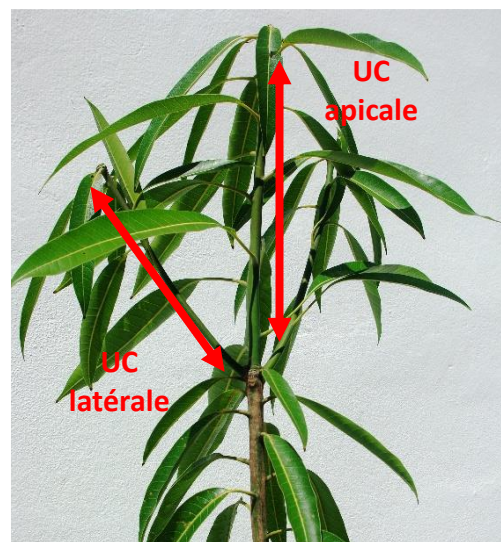


Figure 10 - Unités de croissance (UC) dont une en position apicale et deux en positions latérales (© F. Normand - Cirad)

### 3.2.3 Principales variétés cultivées

Plus de 80% de la production de mangue à La Réunion est réalisée par les variétés José et Cogshall. Le reste de la production est complété par des variétés de mangues locales dérivées de variétés de mangues réunionnaises (dont le fond génétique est d'origine indienne) comme les mangues Carotte, Lise ou Auguste, vendues directement sur les marchés communaux (Vincenot et Normand, 2009).

- **La variété José** est une variété réunionnaise, dont la floraison très étalée permet à ses producteurs d'être présents plus longtemps sur les marchés. Cette variété très sucrée, parfumée et juteuse est très appréciée des Réunionnais. Toutefois, la mangue José est très sensible à certains bioagresseurs présents à La Réunion comme l'antracnose et les cécidomyies (**voir partie 4. Les principaux bioagresseurs du manguier à La Réunion**).
- **La variété Cogshall** est une variété qui a été développée en Floride dans les années 1940, hybride de la variété Haden (Olano *et al.*, 2005). Comme les autres variétés floridiennes (Irwin, Keitt, Kent, ou Tommy Atkins), la Cogshall correspond aux critères de commercialisation mondiaux. En effet, ces variétés produisent des fruits rouges-violacés, d'un calibre important (350 à 750 g), résistants au transport, et avec des qualités gustatives très appréciées des consommateurs (Nordey, 2014). La mangue Cogshall est donc la principale mangue d'exportation sur l'île. Variété, localement appelée « mangue américaine » ou « Early Gold » (ce dernier nom étant erroné car il correspond à une autre variété non présente à La Réunion), elle a un poids moyen de 350 g, une couleur rouge-violacée, et une chair juteuse, sucrée et sans fibres qui lui confère aussi le surnom de mangue « dévisse ». Les manguiers Cogshall, bien que sensibles à l'oïdium, sont aussi appréciés des producteurs car ils sont plus résistants à l'antracnose et que leur floraison moins asynchrone permet une récolte concentrée entre les mois de novembre à janvier, juste avant la saison cyclonique (Vincenot et Normand, 2009). Cette variété a fait l'objet d'une campagne d'implantation subventionnée par le CIRAD entre 1987 et 1992 pour diversifier la gamme des variétés locales issus de variétés indiennes.

### 3.2.4 Pratiques culturales du manguier

- **La plantation** se fait généralement par greffage. En effet, pour s'adapter aux cyclones qui frappent régulièrement l'île, les manguiers de production sont, pour la grande majorité, greffés sur des porte-greffes de la variété Maison rouge (voir paragraphe précédent). Cette méthode permet une production qui arrive rapidement, au bout de 2-3 ans (compter 10 ans pour des manguiers semés) (Vanniere *et al.*, 2013). La plantation est accompagnée d'une fumure de fond et avec une densité d'environ 200 plants par hectare. Les manguiers vont être laissés en production pendant 15-20 ans.
- **Les principales pratiques d'entretien** des vergers de manguier sont : la fertilisation, la taille, l'irrigation, le désherbage et la gestion des bioagresseurs. Durant les deux premières années, il est conseillé d'irriguer, de fertiliser et d'assurer un sol propre aux jeunes plants pour faciliter leur développement. Au-delà de 5 à 10 ans, nous pouvons considérer que le manguier a développé un réseau racinaire suffisamment important pour subvenir à ses besoins. Une fertilisation excédentaire favorise le risque de problème phytosanitaire et est donc fortement déconseillée. L'irrigation, tout comme la taille bien maîtrisée d'un

manguier, sont des pratiques culturales annuelles qui peuvent améliorer le rendement. Toutefois, il faut respecter la saison sèche nécessaire au manguier pour induire sa floraison. L'irrigation débute en général avec la floraison pour maximiser le rendement tout au long de la formation des fruits (voir tableau 1). La taille est une pratique culturale annuelle qui permet d'améliorer le rendement et d'atténuer l'effet d'alternance. La taille est réalisée chaque année après la période de la récolte (voir tableau 1). La gestion des bioagresseurs est présentée dans la partie suivante.

- **La récolte** se fait manuellement. Les producteurs planifient généralement plusieurs passages dans la semaine en raison des stades de maturité très différents suivant les variétés. Les mangues sont récoltées en début de maturation, lorsque les éléments nutritionnels sont en plus forte concentration (teneur en sucres, en vitamines, etc ...) soit au stade « point jaune » pour la variété Cogshall.

Tableau 1 - Calendrier des pratiques culturales annuelles du manguier à La Réunion

Floraison			Fructification				Croissance végétative			Repos végétatif	
Irrigation											
						Récolte					
						Taille					
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin

### 3.2.5 La production de mangues

La production de mangue à La Réunion s'élève à environ 3000 tonnes récoltées par an. Elle fait partie des 40 espèces fruitières cultivées sur l'île et qui sont à 70% consommées sur place en frais (Agreste, 2018). Ces cultures fruitières, qui génèrent environ 60 millions d'euros, sont organisées autour de l'AROP-FL, Association Réunionnaise des Organisations de Producteurs de Fruits et Légumes, dont l'interprofession, l'ARIFEL (Association Réunionnaise Interprofessionnelle Fruits et Légumes), a été créée en 2012. Selon le recensement agricole de 2010 (Agreste, 2014), cette production est répartie sur 386 hectares sur 383 exploitations différentes. Cette surface représente 14% de la production fruitière totale de l'île, ce qui fait de la mangue le troisième fruit le plus cultivé de La Réunion derrière le letchi (25%) et la banane (17%).

Le niveau de production de l'île de La Réunion est trop faible pour être concurrentiel sur le marché mondial (3000 tonnes contre plus de 50 millions à l'échelle mondiale), et c'est pourquoi les exportations sont exclusivement destinées à la France métropolitaine. L'exportation de la mangue vers la France, de l'ordre de 110 tonnes par an, est la troisième exportation de fruits frais la plus importante derrière l'ananas Victoria (1372 t) et le letchi (337 t) (Vincenot et Normand, 2009).

Comme nous l'avons vu dans la partie pédoclimatique, l'Ouest de l'île est plus propice à la culture de la mangue du fait de sa saison sèche très marquée qui va permettre d'induire le début de la floraison du manguier. De plus, la pluviométrie beaucoup plus importante de l'Est de l'île favorise le développement des maladies fongiques auxquels les manguiers sont très sensibles (oïdium, anthracnose). Nous pouvons distinguer trois zones de production de mangues sur l'île (voir figure 11) : le Nord-Ouest, l'Ouest et le Sud.

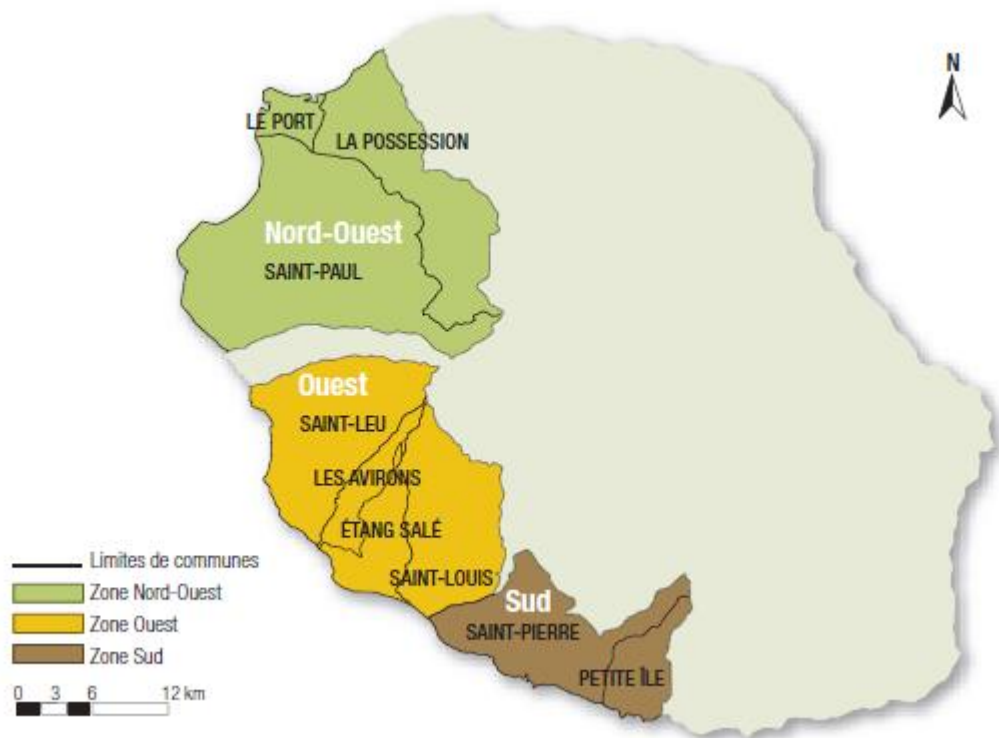


Figure 11 - Les trois zones de production de mangues à La Réunion (Vincenot et al., 2009)

Les vergers de manguiers ne dépassent jamais les 400 m d'altitude car le manguiers ne se développe pas normalement au-delà de ces altitudes. Les principales exploitations agricoles qui produisent des mangues ne sont pas spécialisées dans cette production. Elles produisent aussi d'autres types de fruits ou font aussi du maraîchage et les surfaces dédiées à la mangue dépassent rarement les 3 hectares. Toutefois, pour 50% de ses producteurs, la mangue représente leur principal revenu (environ 750 € par hectare) (Vincenot *et al.*, 2009). Le rendement moyen d'une production de mangue est de 9 tonnes par hectare ce qui est légèrement au-dessus du rendement mondial. Pour exemple, sur la production de l'année 2017 le rendement était de 9,7 t/ha pour La Réunion et de 8,9 t/ha pour la moyenne mondiale (FAO, 2019).

#### 4 Les principaux bioagresseurs du manguiers à La Réunion

Les bioagresseurs du manguiers présents sur les vergers de l'île de la Réunion sont nombreux et de nature très différente. Les manguiers peuvent être à la fois attaqués par des ravageurs (insectes, acariens), des maladies cryptogamiques et des maladies bactériennes. Sur la vingtaine de ces bioagresseurs recensés sur les vergers réunionnais, seuls 3 insectes, 2 champignons et une bactérie sont considérés comme ayant une importance phytosanitaire majeure sur manguiers, en termes de pertes occasionnées. Cette partie présentera quelques notions de biologie et de lutte concernant ces bioagresseurs.

## 4.1 Insectes

Les insectes ravageurs du manguier, qui ont un impact majeur sur les vergers, sont principalement les cécidomyies des fleurs du manguier, les mouches des fruits et les punaises. Les thrips et les cochenilles ne représentent pas vraiment un problème préoccupant sur la production de mangues à La Réunion et ne seront donc abordés pas dans cette partie.

### 4.1.1 Cécidomyies

La famille des *Cecidomyiidae*, appartenant à l'ordre des diptères, recouvre essentiellement des espèces phytophages dont les larves se développent à l'intérieur des tissus végétaux en formant des galles (Delvare et Aberlenc, 1989). La cécidomyie des feuilles et la cécidomyie des fleurs sont des diptères nématocères appartenant au genre *Procontarinia* et sont des espèces inféodées au manguier.

- **La cécidomyie des feuilles**, *Procontarinia matteiana*, pique et pond des œufs dans les jeunes feuilles du manguier. Les attaques apparaissent donc aux périodes de reprises de croissance végétative (octobre-novembre) lorsque les feuilles sont encore tendres. Le manguier est sensible aux attaques de cécidomyies des feuilles en fin de floraison et après la récolte. Les galles causées par les larves endommagent les feuilles mais les principaux dégâts sont les risques d'infections par d'autres bioagresseurs comme les maladies fongiques dont les cécidomyies facilitent l'entrée (Vincenot et Normand, 2009). Les dégâts peuvent être sérieux sur de jeunes plants mais affectent très peu la production de manguiers adultes. Ce ravageur est considéré comme une menace mineure pour les vergers de manguiers et ne sera donc pas plus détaillé.
- **La cécidomyie des fleurs**, *Procontarinia mangiferae*, est un petit moucheron d'environ 2 mm (voir A de la figure 12). Les femelles adultes pondent leurs œufs dans les parties tendres, comme le pédoncule floral, des inflorescences des manguiers. En l'absence d'inflorescences, les femelles peuvent aussi pondre dans de jeunes feuilles de manguiers. Les larves forment des galles pour accomplir leur développement. En effet, ces galles, assurent à la fois aux larves, une ressource alimentaire, une protection physique ainsi qu'une protection contre leurs ennemis naturels.



Figure 12 - Adulte de *P. mangiferae* (A) et ses dégâts sur une inflorescences de manguiers (B) (© A. Franck - Cirad)

Le cycle de vie normal de *P. mangiferae* est représenté par le schéma de la figure 13, d'après Amouroux *et al.* (2009), que nous allons détailler ici. Tout d'abord (1), les adultes émergent du sol lorsque les conditions se montrent favorables (température et humidité qui donnent des indices sur la potentielle présence ou absence de la ressource). Les adultes, qui ne vivent pas plus de 2 à 3 jours, vont se reproduire, puis les femelles vont pondre leurs œufs dans les parties tendres des panicules florales au moyen de leur ovipositeur (2). En effet, les très jeunes inflorescences sont les plus touchées. Les femelles piquent généralement des inflorescences encore en bouton ou au stade de débourrement (environ stade B1 à D2, voir annexe 3). Dans un troisième temps (3), les larves, après avoir éclos, vont rester entre 7 à 12 jours dans les tissus végétaux pour se développer et se nourrir en creusant des galeries et des galles qui dessèchent l'inflorescence petit à petit (voir B de la figure 12). Les larves provoquent alors la destruction partielle ou totale de l'inflorescence, réduisant ainsi la capacité de floraison et donc affectant plus ou moins le rendement du manguiers. Ensuite (4), après avoir atteint leur troisième stade larvaire et acquis leur coloration orange, les larves s'éjectent des panicules pour tomber au sol et s'y enfouir pour s'empurger (Amouroux, 2013). Dans le sol, les larves forment un cocon de soie pour se protéger et passer du stade larvaire au stade adulte. C'est au moment où les larves s'éjectent et tombent, qu'elles sont le plus vulnérables. En effet, sur le sol, les larves peuvent être mangées par de nombreux arthropodes prédateurs généralistes comme les araignées, les fourmis, les carabes, les oiseaux et bien d'autres. Une fois au sol, une partie des larves peut entrer en diapause (ou quiescence : état pas encore à ce jour déterminé pour *P. mangiferae* (Amouroux, 2013)) pour former une nouvelle génération l'année suivante (5) ou plusieurs années plus tard si les conditions de levée de diapause ne sont pas réunies. Sinon, l'autre partie des larves vont sortir et former une nouvelle génération, dans ce cas-là, la pupaison dure environ 5 jours (6).



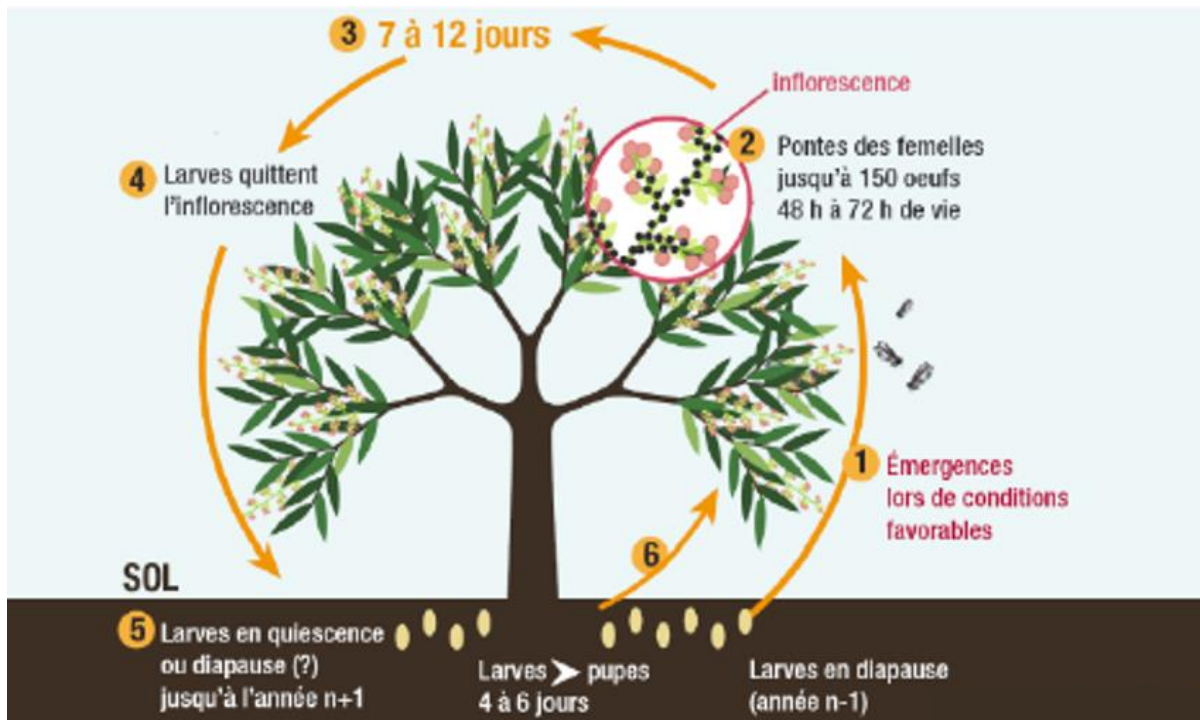


Figure 13 - Cycle de vie de la cécidomyie des fleurs à La Réunion (Vincenot et al., 2009)

Il n'existe pas de prédateurs spécialistes de la cécidomyie des fleurs connus à ce jour mais deux espèces de micro-hyménoptères de la famille des *Eulophidae* ont été avérées espèces parasitoïdes de *P. mangiferae* (Quilici et al., 2003). Ces micro-guêpes sont dites parasitoïdes car les adultes vont pondre leurs œufs dans les larves des cécidomyies (ou d'autres insectes) et les larves qui en émergeront vont se développer aux dépens des larves de cécidomyies et ainsi les tuer. Toutefois, leur présence dans les vergers est insuffisante pour réduire la nuisibilité des cécidomyies. La lutte contre la cécidomyie est complexe puisque lorsque les dégâts sont constatés, les adultes responsables ne sont déjà plus présents au champ.

Depuis 2017, un traitement insecticide a été homologué pour traiter les cécidomyies des fleurs et les cochenilles des vergers de manguiers. Cet insecticide est le Movento® de la firme Bayer, dont la substance active est du spirotetramat 100 g/L et dont la dose d'application conseillée est de 1,9 L/ha. Néanmoins, ce traitement ne semble pas suffisamment efficace d'après les producteurs de mangues (source personnelle, 2018) et l'utilisation d'un produit phytosanitaire ne correspond pas non plus à leur vision actuelle de réduction d'utilisation de produits de synthèse pour la protection de leur culture. Des méthodes de luttés préventives, notamment celles qui sont le support de cette étude, font actuellement l'objet de recherches. On retrouve, entre autres, la mise en place de couvertures du sol, synthétique ou naturel, pour empêcher les larves de s'enfouir et ainsi de terminer leur cycle.

#### 4.1.2 Punaises

Les punaises font partie de l'ordre des hémiptères et du sous-ordre des hétéroptères dont plus de 35 000 espèces ont été décrites d'après Delvare et Aberlenc (1989). Tout comme la cécidomyie des fleurs du manguier, la punaise *Orthops palus*, s'attaque aux inflorescences du manguier. Cette punaise appartenant à la famille des *Miridae*, pique et absorbe le contenu des cellules des inflorescences ce qui finit par les détruire. Elle a été pour la première fois recensée sur l'île en 1974, sur des productions de mangues mais aussi de letchis (Atiama, 2016). Elle est considérée comme un sérieux ravageur du manguier depuis 1996, où des attaques détruisant tout ou partie d'une production de mangues ont été constatées. Ces vagues d'attaques ne reviennent pas forcément chaque année mais peuvent être très rapides et réduisent les chances de trouver un moyen efficace de s'en protéger ou d'en limiter les dégâts. Les punaises ont de nombreuses autres plantes hôtes à La Réunion comme le letchi, l'avocatier, ou le faux-poivrier. Elles sont donc présentes toute l'année sur l'île. La punaise adulte, longue de 3,5 mm, pond ses œufs dans les inflorescences, tout comme *P. mangiferae*. Pourtant, dans le cas de ce ravageur, ce sont les piqures de nutrition qui causent les dégâts sur les fleurs du manguier.

Il n'existe pas à ce jour de mesures prophylactiques pour contrer ce ravageur, la lutte contre la punaise est donc majoritairement de nature chimique et consiste en l'application d'un traitement insecticide sur la canopée des manguiers lorsque le seuil de nuisibilité, défini par l'itinéraire technique mangue (Vanniere *et al.*, 2013), a été atteint. Pour évaluer ce seuil, la méthode préconisée est un battage sur feuille blanche A4 de 2 inflorescences par arbre sur 10 arbres pris au hasard dans le verger. L'application de l'insecticide est décrétée sur l'arbre lorsque celui-ci compte plus de 3 punaises ou sur l'ensemble de la parcelle si plus de 5 arbres ont dépassé ce nombre. Le traitement insecticide curatif généralement utilisé est le Karate Zeon ® 0,048 L/ha, développé par l'entreprise Syngenta, dont le principe actif est la lambda-cyhalothrine 100 g/L (Vincenot et Normand, 2009). Ce traitement est un insecticide à large spectre qui est depuis longtemps utilisé mais qui montre une perte d'efficacité possiblement due à un phénomène de résistance.

#### 4.1.3 Mouches des fruits

Les mouches des fruits sont des diptères brachycères appartenant à la famille des Tephritidae. Cette famille compte près de 5000 espèces répandues à travers le monde entier. Ces ravageurs infligent de lourds impacts pour de nombreuses productions fruitières et légumières. Pour exemple, la campagne de trois ans d'éradication de la mouche méditerranéenne des fruits en 1980 en Californie a coûté 100 millions de dollars, et l'éradication de la mouche orientale des fruits au Japon 32 millions de dollars (Stibick, 2004). Il existe à ce jour quatre espèces de mouches de fruits particulièrement importantes dans les attaques de vergers de manguiers à La Réunion. Ces espèces sont la *Ceratitis quilicii*; la mouche méditerranéenne, *Ceratitis capitata*; la mouche de la pêche, *Bactrocera zonata*; et la mouche orientale des fruits, *Bactrocera dorsalis*. Les trois premières espèces ont un comportement et un cycle de vie assez similaires, elles seront donc simplement appelées mouches des fruits pour la suite de cette partie par opposition à *B. dorsalis*, qui sera appelée par son nom commun.

- **Les mouches des fruits** font environ 5 mm de longueur et sont de couleur brune à jaunâtre avec des ailes à motifs. Les femelles adultes vont piquer et pondre leurs œufs sous l'épiderme des mangues mûres déjà au sol. Les larves éclosent au bout de quelques jours (2 à 3 jours) et vont se développer et se nourrir de la chair du fruit. Ce cycle dure environ 4 semaines durant la saison chaude et humide. Les tissus atteints se dégradent très rapidement, murissent

prématurément et pourrissent. La consommation du fruit est directement affectée mais l'exportation d'un fruit contaminé est surtout strictement interdite du fait du potentiel très invasif et du caractère nuisible de ces espèces. De nombreuses espèces de prédateurs et de parasitoïdes existent dans le monde entier et sont d'ailleurs recensées dans le rapport du Département de l'Agriculture des Etats-Unis (Stibick, 2004). Sur l'île de La Réunion, les parasitoïdes comme *Psytalia fletcheri*, *Anagaspis daci* et *Fopius arisanus* (Hymenoptera : Braconidae) sont présents mais en concentration trop faible pour avoir réellement un impact positif sur les populations des mouches des fruits.

Depuis 2008, un insecticide homologué pour l'agriculture biologique, permet de traiter les mouches des fruits. Cet insecticide a pour principe actif du spinosad 0,02% et des substances attractives pour piéger les mouches. Le produit communément utilisé est le Synéïs Appat ®, conçu par Dow Agrosociétés. Le dosage recommandé est 1,5 L/ha soit pour environ 250 arbres, mais le produit peut être aussi appliqué seulement par taches sur les arbres qui sont attaqués lorsque plus de 2% de la production est atteinte. Il se renouvelle normalement au bout de 8 jours sauf si une pluie de 20 mm a été constatée.



Figure 14 - Adulte de *B. dorsalis* sur une mangue Cogshall

- **La mouche orientale des fruits**, mesure environ 8 mm et provient de l'Asie du Sud-Est (voir figure 14). Elle s'est propagée dans toute l'Asie, avant de se répandre en Océanie, en Amérique du Nord et en Afrique. Cette espèce s'attaque à plus de 300 espèces différentes de fruits sauvages ou cultivés dont certaines sont aussi présentes à La Réunion comme la goyave, le corossol ou la prune de Cythère. Elle a été récemment détectée sur les sols réunionnais (5 mai 2017) et pose de réels problèmes aux producteurs de mangue. En effet, son cycle de vie diffère un peu des autres mouches de fruits qui étaient déjà présentes à La Réunion. *B. dorsalis* est soupçonnée d'avoir la capacité de piquer des fruits verts et sains qui sont encore sur l'arbre. Le développement des larves affecte très rapidement le fruit et provoque sa chute. La nuisibilité de la mouche orientale des fruits est donc plus importante et lui permet aussi d'attaquer plus tôt les vergers. L'espèce serait peut-être en train de supplanter les autres espèces de mouches de fruits présentes sur l'île. La lutte contre *B. dorsalis* semble donc être une priorité à La Réunion. Les méthodes de lutte, dans des contextes différents, contre cette espèce sont toutefois bien renseignées et se sont montrées efficaces puisque l'espèce a été totalement éradiquée comme au Japon en 1985, ou en 1996 à l'île Maurice (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 2001). Il existe plusieurs

types de méthodes de lutttes : lutte bio-technique, lutte chimique, lutte biologique et lutte culturale (Mau et Matin, 2007).

- La lutte bio-technique fait souvent référence au piégeage de masse qui peut se faire à l'aide de pièges comme le Ceratipack ou les pièges Mac-Phail, généralement imprégnés de para-phéromones seules, de méthyl-eugénol pour *B. dorsalis*, ou associés à des biocides
- La lutte chimique est la même que celle évoquée plus haut pour les mouches communes de fruits.
- La lutte biologique comprend des méthodes de lâchers inondatifs de parasitoïdes, ou des méthodes qui reprennent la lutte biologique par conservation avec une augmentation de la biodiversité (plantation de haies, de bandes fleuries, mise en place d'un couvert végétal) pour développer les populations des prédateurs et parasitoïdes de *B. dorsalis*.
- Le contrôle culturel se fait grâce à l'enlèvement, couplé à la destruction des fruits infestés, c'est la récolte sanitaire. La récolte précoce des fruits avortés, ou récolte prophylactique, consiste en l'enlèvement de fruits proches de l'abscission encore sur l'arbre ou de petits fruits tombés au sol. Le point d'abscission en partie sectionné par l'arbre lui-même (l'arbre tente naturellement d'éliminer les fruits piqués) permet de repérer facilement ces fruits. Le potentiel d'action de la récolte prophylactique, combiné à la gestion des couvertures des sols, est étudié dans ce projet. Les deux derniers moyens de lutte (biologique et récolte prophylactique) peuvent être associés et ainsi montrer de meilleurs résultats. C'est ce qui a été fait dans le cadre du projet GAMOUR, avec la mise en place d'un dispositif appelé l'augmentorium (Deguine *et al.*, 2013 ; Deguine *et al.*, 2008). Ce dispositif, mis au point par le CIRAD et inspiré de recherches faites à Hawaï, est encore à l'étude. Il s'agit d'un abri fermé (voir figure 15) avec une moustiquaire sur le dessus, ou l'on dispose les fruits récupérés par récolte prophylactique pour les détruire. Les mailles de la moustiquaire doivent emprisonner les mouches des fruits qui émergent des fruits contaminés mais sont censées laisser s'échapper les parasitoïdes, généralement plus petits.



Figure 15 - Augmentorium du CIRAD (Deguine et al., 2008)

## 4.2 Maladies cryptogamiques

Les maladies cryptogamiques, ou fongiques, qui attaquent la production de manguiers à La Réunion sont principalement l'oïdium et l'antracnose. Leur fréquence d'apparition dépend essentiellement du climat et de la variété de mangue cultivée. En effet, l'oïdium est plus présent par temps sec sur la variété Cogshall, tandis que l'antracnose est favorisée par l'humidité et attaque plus souvent les mangues de la variété José qui y sont sensibles.

### 4.2.1 Oïdium

L'oïdium est une maladie causée par des champignons ascomycètes de l'ordre des érysiphales appartenant à la famille des *Erysiphaceae*. L'oïdium du manguiers, *Oidium mangiferae*, produit un mycélium blanc qui se développe principalement sur les inflorescences du manguiers en début de floraison et empêche leur ouverture. La maladie est constatée durant l'hiver austral car elle se développe par temps frais et la pluie lui est très défavorable. Pour lutter contre cette maladie, le plus recommandé, est d'appliquer un traitement préventif sur les inflorescences dès leur apparition. Ce traitement, très lessivable, est généralement répété tous les 8 à 10 jours (Vanniere *et al.*, 2013). Il s'agit d'un fongicide dont la substance active est du soufre micronisé à 80%, commercialisé sous le nom de Microthiol® 3,2 L/ha par l'entreprise UPL. Ce fongicide est homologué en agriculture biologique.

### 4.2.2 Anthracnose

L'antracnose est une maladie provoquée par des champignons ascomycètes de la famille des *Glomerellaceae* qui attaque de nombreux arbres fruitiers comme l'olivier, l'avocatier ou le caféier. L'antracnose du manguiers, *Colletotrichum gloeosporioides*, s'attaque aux feuilles et aux fruits du manguiers. Sur les feuilles, l'antracnose forme de petites taches noires qui se transforment en nécroses et nuisent à la capacité photosynthétique de l'arbre (Vincenot et Normand, 2009). Sur les mangues, l'antracnose provoque des taches brun noirâtre qui conduisent à un flétrissement et à la pourriture des tissus avec la maturation du fruit. Cette maladie est favorisée par l'humidité et les piqûres de cécidomyies qui favorisent l'entrée de l'inoculum. Pour limiter l'impact de cette maladie, l'agriculteur peut avoir recours à des pratiques préventives telles que la taille pour améliorer l'exposition solaire et l'aération des arbres, ou l'enlèvement et la destruction des fruits et autres organes atteints pour réduire l'inoculum primaire (Vanniere *et al.*, 2013). L'application de traitements fongicides à base de cuivre, de mancozèbe ou de manèbe est aussi efficace.

## 4.3 Maladies bactériennes

La bactériose est une maladie bactérienne qui affecte de nombreux organismes. Chez le manguiers, elle est due au phytopathogène *Xanthomonas campestris* pv. *mangiferaeindicae*. Elle se développe dans les vergers généralement durant l'été austral car elle est favorisée par un temps chaud et humide (Vincenot et Normand, 2009). Les bactéries sont dispersées par le vent et les pluies et infestent majoritairement les feuilles et les fruits. Les symptômes sont des taches noires auréolées de jaune sur les feuilles et la formation de nécroses au niveau des lenticelles et stomates du fruit. Les dommages

consistent en la chute prématurée des feuilles atteintes et les fruits non commercialisables du fait de la gomme chargée en bactéries qui s'écoule des taches nécrosées. Il n'existe à ce jour aucun traitement curatif contre cette maladie. En effet, le recours aux produits phytosanitaires à base de cuivre freinent la maladie mais ne l'éradiquent pas (Vanniere *et al.*, 2013).

Les principaux bioagresseurs du manguiers sont regroupés dans le tableau 2 :

Tableau 2 - Tableau récapitulatif des principaux bioagresseurs du manguiers à La Réunion (adapté de Vincenot *et al.*, 2009)

Bioagresseurs	Organes concernés	Période	Traitement homologué	Auxiliaires associés	Fréquences d'apparition
Cécidomyie des fleurs	Inflorescences	Juin à septembre	Spirotetramat 100g/l	Hyménoptères parasitoïdes	+++
Cécidomyie des feuilles	Feuilles	Août à mars	-	Hyménoptères parasitoïdes	+
Mouches des fruits	Fruits	Novembre à mars	Spinosad 0,02%	Hyménoptères parasitoïdes	+++
Punaise	Inflorescences	Juin à septembre	Lambda-cyhalothrine 100g/L	Inconnu	+++
Oïdium	Inflorescences	Juin à juillet	Soufre micronisé 80%	-	++
Anthraxnose	Feuilles et fruits	Décembre à mars	Cuivre, Mancozèbe	-	+
Bactériose	Feuilles et fruits	Décembre à mars	Cuivre	-	-

## 5 La problématique de l'étude

La mangue à La Réunion représente une culture à forte valeur ajoutée, inscrite dans le patrimoine et qui est donc très importante pour ses producteurs et ses consommateurs. Les récentes et sérieuses attaques des différents bioagresseurs menacent cette production et les anciennes méthodes de lutte chimiques ne correspondent plus à la vision de l'agriculture durable et responsable qui progresse actuellement sur l'île, et ont perdu de leur efficacité. Il est important de trouver des solutions agroécologiques avec des résultats convaincants pour accompagner les producteurs de mangues de l'île vers un système de production rentable et dont la gestion est plus autonome et durable.

La problématique de cette étude a donc pour but d'évaluer les effets de pratiques culturales alternatives sur la régulation de population de bioagresseurs des manguiers (cécidomyies des fleurs du manguiers et mouches de fruits). Ces pratiques culturales sont la mise en place d'une couverture du sol pour les cécidomyies et la mise en place de couverture du sol associée à la récolte prophylactique des fruits avortés du manguiers pour les mouches des fruits. L'étude se divise en trois suivis (voir figure 16) : l'effet des couvertures du sol sur la dynamique du manguiers, l'effet des couvertures du sol sur la population de cécidomyies et l'effet des couvertures du sol sur la récolte prophylactique. Ces différentes couvertures du sol sont : l'enherbement ras, l'enherbement haut, et un paillage synthétique.

Cette étude cherche à répondre à la question : les couvertures du sol permettent-elles de réguler les populations de cécidomyies et de mouches des fruits tout en n'affectant pas négativement la phénologie de l'arbre (floraison, rendement) ? Nous verrons donc, dans la partie qui suit, le matériel et le protocole mis en place pour réaliser ces trois suivis.

**Etude de l'effet des pratiques culturales sur la régulation de population de bioagresseurs du manguiier à La Réunion**

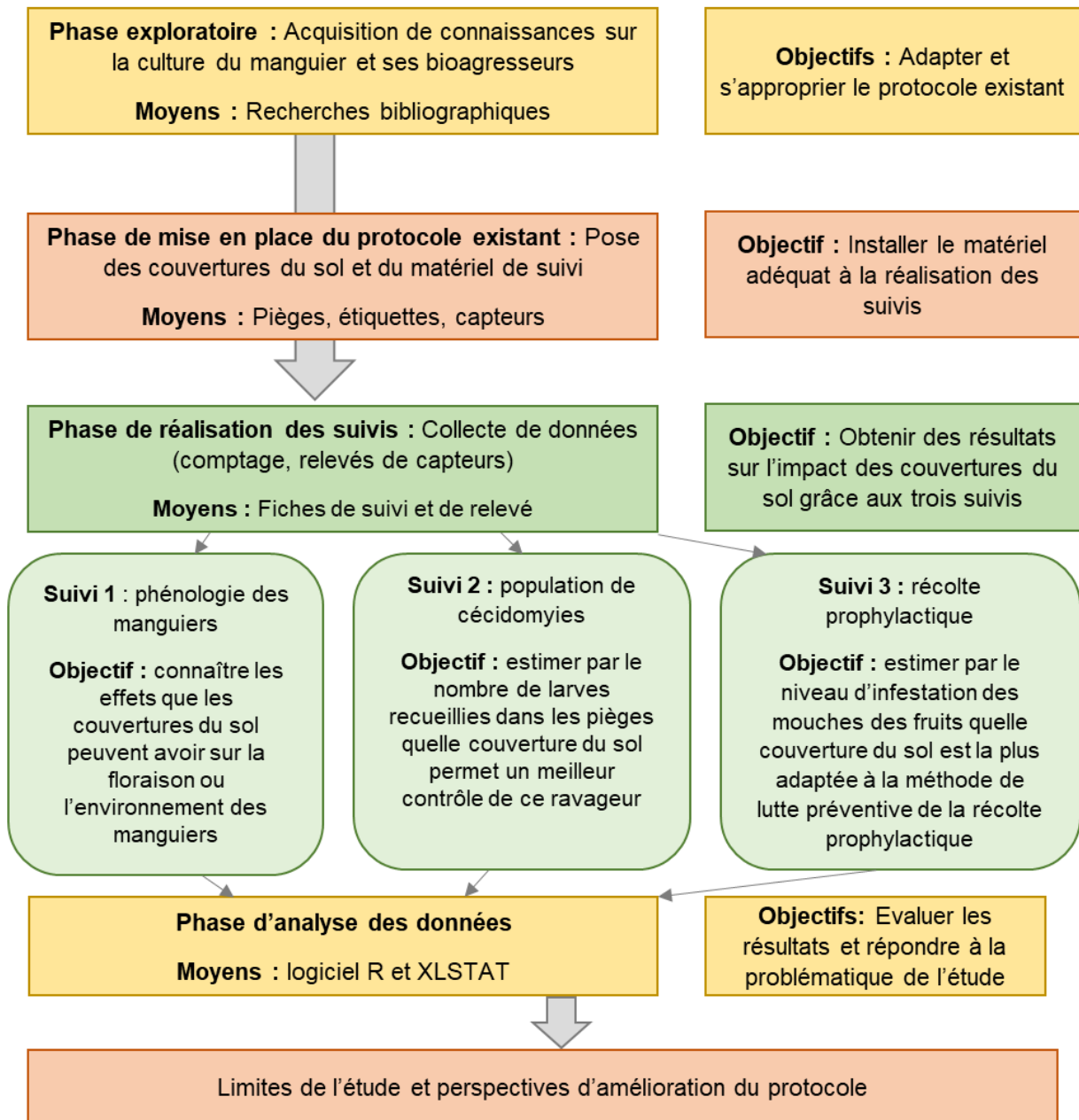


Figure 16 - Schéma méthodologique de l'étude



## **PARTIE 2 : Matériels et méthodes**



# 1 Contexte général des suivis et dispositifs expérimentaux

L'étude, qui cherche à mettre en évidence l'effet de différentes couvertures du sol sur la régulation de populations de bioagresseurs de la floraison et de la fructification et sur la phénologie des manguiers a mené à la conduite de trois suivis sur des vergers de manguiers. Les trois suivis ont été réalisés sur deux sites d'expérimentations différents durant la période de floraison et de début de maturation des fruits du manguiers. Cette partie vise à présenter le matériel et le protocole mis en œuvre dans le cadre de ces 3 suivis.

## 1.1 Le matériel végétal

Les suivis ont tous été menés sur des manguiers de la variété floridienne Cogshall greffés sur des manguiers d'une variété locale, Maison rouge, bien adaptée aux contraintes pédoclimatiques de La Réunion est en particulier aux cyclones. Cette variété a été choisie par le CIRAD pour ses intérêts agronomiques et commerciaux (mangue d'exportation et résistante à l'antracnose). A ce titre, elle fait l'objet de recherche pluridisciplinaires par l'UR HortSys en vue de la construction d'un modèle mathématique intégré, avec des modules d'interaction plante-bioagresseurs (à savoir plus particulièrement la cécidomyie des fleurs et les mouches des fruits).

## 1.2 Les couvertures du sol

Les différentes couvertures du sol qui font l'objet de notre étude sont identiques sur les deux sites d'expérimentation différents. L'étude a testé l'efficacité de trois modalités différentes : l'enherbement ras, l'enherbement haut, et un paillage synthétique, que nous avons respectivement abrégés en ER, EH et PS pour les schémas et résultats de cette étude.

### 1.2.1 L'enherbement ras ER

La modalité de l'enherbement ras, ou sol nu, qui correspondait tout au moins jusqu'à récemment à la modalité de gestion du couvert du sol la plus répandue chez les producteurs de mangues, se caractérise par un désherbage régulier (chimique ou mécanique) que les exploitants mettent en place pour garder leur parcelle « propre » ou faciliter d'autres opérations comme la récolte par exemple. Comme elle est censée représenter la pratique courante des producteurs de mangues à La Réunion, cette modalité constitue donc notre modalité « témoin ».

Dans le cadre de l'étude, cet enherbement ras a été obtenu par un désherbage mécanique unique de type gyrobroyage sur les deux dispositifs expérimentaux de l'étude.

### 1.2.2 L'enherbement haut EH

L'enherbement, ou couverture végétale, se caractérise par l'ensemble des espèces végétales qui se développent aux alentours des plantes cultivées (Deguine *et al.*, 2016). Une couverture végétale peut apporter de nombreux bénéfices comme réduire l'érosion du sol, limiter le développement de plantes adventices ou encore le piégeage d'éléments

nocifs des produits phytosanitaires qui pourraient polluer les eaux souterraines. Dans le cadre de notre étude, c'est surtout les avantages d'augmentation de la biodiversité qui sont avant tout visés. En effet, l'enherbement crée une biomasse végétale qui constitue refuge et ressource pour une faune auxiliaire de nos cultures. L'enherbement doit permettre d'augmenter la population de prédateurs et de parasitoïdes. De plus, un enherbement haut et dense est aussi censé constituer une barrière physique végétale qui peut bloquer l'enfouissement des larves de *P. mangiferae*, ou tout au moins le ralentir, les exposant ainsi à l'action des auxiliaires précités.

L'enherbement haut correspond à l'établissement d'un enherbement spontané supérieur à 20 cm de hauteur sur la parcelle (voir figure 17). Il implique un arrêt total de fauchage ou de désherbage quel qu'il soit. Des relevés floristiques, des relevés de biomasse et des prélèvements d'entomofaune ont aussi été réalisés au cours de l'étude pour tenter de caractériser cet enherbement.



Figure 17 - Enherbement haut sur le site de Ption Defaud

### 1.2.3 Le paillage synthétique PS

Le paillage synthétique correspond à la mise en place d'un tapis de sol plastique sur l'intégralité du sol du verger pour l'un des deux sites d'expérimentations et la mise en place d'un tapis de sol recouvrant seulement le rang des manguiers pour l'autre site. Ce tapis de sol a pour but de constituer une barrière physique qui rompt le cycle des cécidomyies, en empêchant totalement l'enfouissement des larves de *P. mangiferae* pour leur diapause ou leur pupaison.

Pour notre étude, le paillage synthétique choisi est un tapis de sol tressé en polypropylène, de couleur sombre (noir ou vert foncé), perméable et permettant aussi l'aération du sol et l'infiltration de l'eau (voir figure 18). Ce tapis de sol ne doit donc pas normalement affecter la température ou l'activité biologique du sol. Pour vérifier ces paramètres un suivi des températures du sol ainsi que plusieurs analyses de l'activité biologique du sol ont été effectués durant l'étude.



Figure 18 - Tapis de sol mis en place sur le site du CPEA

### **1.3 Les sites d'expérimentations**

Les deux expérimentations ont été réalisées sur la commune de Saint-Paul, dans le bassin principal de production de mangue soit le Nord-Ouest de l'île comprenant les communes de La Possession, du Port et de Saint-Paul (voir figure 11).

#### **1.3.1 Site 1 : CPEA**

Le principal site d'expérimentation de l'étude (site 1 ou CPEA) est le verger de manguiers du lycée agricole de Saint-Paul. Ce verger appartient plus particulièrement au CPEA (Centre de Production et d'Expérimentation Agricole), l'exploitation agricole de l'EPLEFPA de Saint-Paul. Le site de production de Saint-Paul comprend 10 ha de production végétale (mangues, pitayas, cucurbitacées, ...) sur un terrain irrigué le long de la route de Mafate (D2). La parcelle où les suivis ont été réalisés est une parcelle de mangues Cogshall de 3790 m<sup>2</sup> entourée de haies (voir figure 19). La parcelle est située à environ 130 m d'altitude et possède un dénivelé positif moyen de 3 m (Géoportail, 2018).



Figure 19 - Disposition des modalités sur le site du CPEA (Géoportail, 2018)

Le long de son extrémité Sud-Ouest se trouve une autre parcelle de mangues Cogshall et à l'Ouest se trouve une parcelle de pitayas (fruits du dragon). La parcelle a été plantée en 2000, avec une densité d'environ 286 arbres par hectare avec un espacement de 5 m entre les arbres sur le rang et un espacement de 7 m entre les rangs. Les manguiers sont issus d'une greffe de la variété floridienne Cogshall sur des pieds de Maison Rouge. Le rendement moyen des 5 dernières années concernant les différentes parcelles de manguiers du CPEA est 4,04 t/ha avec un pic de 10,4 t/ha en 2015-2016 (sachant que la moyenne réunionnaise est 9 t/ha) et une chute de rendement, 0,4 t/ha, en 2017 dû à une très faible floraison. Son itinéraire cultural pour la saison 2018-2019 est présenté dans le tableau 3.

Tableau 3 - Itinéraire cultural 2018 du site du CPEA

Modalités \ Stade	Phase végétative		Floraison				Fructification			
Toutes modalités			Traitement oïdium toutes les semaines (x12)							
Modalité ER	Désherbage mécanique									
Modalité PS			Pose tapis de sol							Retrait tapis de sol
Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	

La parcelle s'étend sur 7 rangs et comprend normalement 24 arbres par rang. Depuis la plantation du verger, certains arbres sont morts. La parcelle a été partagée en trois pour installer les différents traitements (voir figure 20). L'extrémité ouest de la parcelle,

comprenant 52 arbres, correspond à la conduite habituelle du verger du CPEA et forme la modalité témoin de nos suivis. Il s'agit du traitement enherbement ras (ER). Les 48 arbres du milieu de la parcelle constituent la modalité du paillage synthétique, PS, soit le tapis de sol plastique tressé installé sur l'ensemble de la zone dédiée à la modalité (rangs + inter-rangs). L'extrémité est de la parcelle correspond, avec 54 pieds de manguiers, à la modalité d'enherbement haut, EH, sur laquelle les techniciens du CPEA ont laissé un enherbement spontané s'installer et se développer.

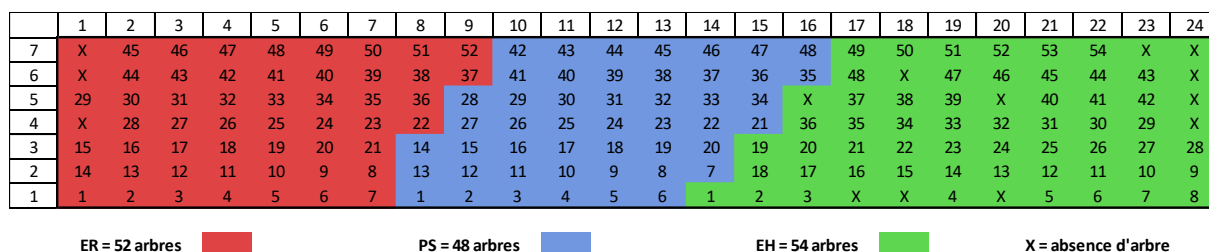


Figure 20 - Disposition des 3 modalités de couvertures du sol

### 1.3.2 Site 2 : Piton Defaud

Le deuxième site d'expérimentation (site 2 ou Piton Defaud) est l'exploitation agricole de M. Jean Claudy Robert, au pied du Piton Defaud, au bord de la rivière des Galets. Ce producteur s'est installé en 1997 sur près de 17 ha à Piton Defaud, Il est aussi maraîcher avec des cultures de piment et de cucurbitacées (margose, citrouille péi, pipangaille, ...) (voir figure 21) et possède une exploitation cannière de 15 ha sur la commune de Sainte-Marie. Cet exploitant avait été contacté l'année dernière pour mettre en place des essais sur la gestion des ravageurs pour une de ses parcelles de manguiers. La parcelle en question a une surface de 5 ha et, à une altitude d'environ 100 m. Les manguiers ont été implantés en 2014 en 7\*8 m soit environ 179 arbres par hectare.

La majorité de ces manguiers sont de la variété floridienne Cogshall greffée sur des pieds de Maison Rouge mais quelques manguiers plantés en bordure sont de la variété Nam Doc Maï et serviront à terme de brise vent. Ce verger étant très jeune, il n'avait donc subi aucun traitement et aucune pratique culturale en 2017. Néanmoins, ce verger avait quand même commencé à produire quelques mangues (environ 500 kg) tandis que cette année, M. Robert espère en récolter une tonne. Voici l'itinéraire cultural mené pour la campagne 2018 (voir tableau 4).

Tableau 4 - Itinéraire cultural 2018 du site de Piton Defaud

Modalités \ Stade	Phase végétative			Floraison			Fructification		
Toutes modalités	Taille				Traitement oïdium	Traitement oïdium	Traitement oïdium		
Modalité PS				Pose tapis de sol				Retrait tapis de sol	
Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre

Sur cette parcelle, le dispositif expérimental a été uniquement déployé sur trois rangs de manguiers en tout, soit un rang par modalité (voir figure 21). Nous retrouvons donc d'ouest en est, la modalité ER, avec 16 arbres, en première position puis la modalité PS, 14 arbres, et pour finir la modalité EH avec aussi 14 arbres. Cependant, l'exploitant

n'ayant pas pratiqué le gyrobroyage de la parcelle suffisamment tôt (pas avant le mois de novembre cf tableau 4), le traitement ER n'a pas été pris en compte dans les suivis.



Figure 21 - Disposition des modalités sur le site de Piton Defaud (Géoportail, 2018)

#### 1.4 Outils d'analyses statistiques

Les données obtenues par les différents suivis ont été traités par le biais d'analyses statistiques. Les logiciels qui ont permis de réaliser ces analyses statistiques sont le logiciel XLSTAT avec la version 2019.1.2.56889 installé sur le logiciel de traitement de données Microsoft Excel 16.0 11328 et le logiciel R sous la version 3.5.1 avec l'interface de RStudio version 1.1.453.

Pour tous les tests statistiques réalisés pour l'analyse des données, le seuil de significativité  $\alpha$  choisi est de 5% ( $p$ -value = 0,05). Les résultats des suivis sont généralement obtenus par analyses de variance (ANOVA), par modèles linéaires généralisés (GLM) ou tests non-paramétriques (Mann-Whitney ou Kruskal-Wallis) de variables quantitatives (taux de floraison, effectifs de larves de cécidomyies ou de mouches des fruits) par rapport à variable qualitative (les différentes modalités de couvertures du sol ER, PS et EH).



## 2 Suivi 1 : dynamique de la phénologie des manguiers

Le suivi de la phénologie des manguiers va permettre de vérifier que les modalités des couvertures du sol différentes (ER, EH et PS) n'impactent pas (ou du moins pas négativement) la productivité et l'environnement propre du manguiers. Pour cela il faut vérifier, dans un premier temps, les indicateurs relatifs à la phénologie du manguiers comme la dynamique de floraison, le taux de floraison et le taux de fructification. Dans un deuxième temps, il faut tester si les couvertures du sol n'ont pas un impact sur l'environnement direct des manguiers et notamment sur le milieu édaphique. Par exemple, la mise en place d'une couverture du sol synthétique telle que la pose d'un tapis de sol sombre peut entraîner une élévation de la température du sol et impacter ainsi positivement ou négativement son activité biologique. Le suivi va donc aussi permettre d'évaluer les impacts des trois différentes couvertures du sol pour ces deux paramètres. Dans un troisième temps, nous pouvons nous demander quel est l'impact des différentes modalités de couvertures du sol sur la flore et l'entomofaune globales des vergers de manguiers. Cette vérification ne concerne que les modalités d'enherbement, soit ER et EH et va permettre de mieux caractériser cette dernière modalité. Cette partie présente le matériel et le protocole mise en œuvre pour mener ce suivi.

### 2.1 L'étiquetage des UC

Le suivi hebdomadaire de certaines UC de manguiers des vergers des sites d'expérimentation vont permettre de récolter des données sur la floraison nécessaires pour calculer la dynamique ou le taux de floraison. Ces relevés avaient pour but de noter le nombre d'inflorescences et de fruits produits par UC, ainsi que les dates de débourrement de ces inflorescences. Le nombre d'inflorescences produites par UC, est défini par la somme des bourgeons reproducteurs et mixtes en excluant les bourgeons végétatifs qui par définition ne produisent pas de fleurs (voir partie 1 : 3.2.2. Physiologie). Donc pour chaque relevé, et pour chaque UC, était notées la nature des bourgeons apparus ainsi que leurs dates estimées de débourrement, soit la date où les bourgeons atteignent le stade phénologique C végétatif ou reproducteur (voir les annexes 2 et 3). Une partie de la fiche de suivi de la phénologie des manguiers, sous format Excel, est disponible en annexe 4.

- **Site 1** : CPEA de Saint-Paul

Pour ce suivi, au lycée agricole de Saint-Paul, la parcelle de manguiers a été séparée suivant les trois modalités de couverture du sol comme indiqué dans la figure 22. Pour chacune de ces modalités, 25 arbres ont été sélectionnés en excluant les arbres situés en bordure de champ ou de traitements pour exclure les phénomènes d'interaction. Pour suivre la phénologie des manguiers, 8 UC par arbre ont été sélectionnées de manière aléatoire. Pour plus d'homogénéité sur le tirage, les UC étiquetées étaient choisies avec des orientations différentes, soit une UC à l'orientation nord, une UC à l'orientation nord-est, etc ... Au total, le suivi a été réalisé sur 200 UC par modalité soit 600 UC en tout. Ces UC ont été relevées une fois par semaine entre le vendredi 27 juillet jusqu'au vendredi 5 octobre, soit 11 relevés.

	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 22 - Coordonnées des manguiers étiquetés pour le suivi de la phénologie par modalité de couverture du sol

- **Site 2 : Piton Defaud**

Comme nous l'avons vu dans la présentation des sites d'expérimentation (cf 1.3. Les sites d'expérimentations) les couvertures du sol n'ont été déployées que sur un rang de manguiers et le suivi ne concerne que les modalités EH et PS puisque la modalité ER n'était pas exploitable. Sur ce site, le protocole expérimental est différent. En effet, moins de manguiers ont été suivis (10 et non pas 25) mais plus d'UC par manguiers ont été étiquetées, soit 20 par arbre car cela permet d'avoir un meilleur aperçu de la floraison par arbre. Les relevés, aussi hebdomadaires ont débuté le 31 juillet et se sont terminés le 7 novembre pour un total de 15 relevés. Les observations faites ont été les mêmes que pour le site 1, à savoir nature et date de débourrement des bourgeons apparus au cours du temps.

## 2.2 Les paramètres édaphiques

L'impact potentiel des différentes modalités de couvertures du sol sur l'environnement des manguiers sera évalué en fonction de deux paramètres édaphiques que sont l'activité biologique du sol et sa température. Ces paramètres ont seulement été analysés sur le site 1 du CPEA. L'activité biologique du sol a été estimée au moyen des Bait lamina test et la température grâce à des capteurs thermiques.

### 2.2.1 Les Bait lamina tests

Les bandelettes de Bait lamina test, développé dans les années 1990 par Törne (Kratz, 1998), permettent d'évaluer l'activité biologique du sol. En effet ces bandelettes de PVC sont composées de 16 puits remplis d'un appât (voir figure 23). Le test donne une idée du niveau d'activité biologique du sol par une appréciation visuelle du niveau de consommation des appâts par les microorganismes et les invertébrés du sol. Les bandelettes de 16 centimètres sont enterrées sur les 15 premiers centimètres du sol pour être exposées aux processus biotiques de la microfaune et de la microflore édaphiques. L'appât est un mélange de poudre de cellulose (70%) et de flocons de son de céréales (30%) avec des traces de charbon actif. Les Bait lamina test sont généralement utilisés en écotoxicologie pour prouver une différence dans le niveau d'activité du sol entre une parcelle sans traitements et d'autres subissant des traitements phytosanitaires (Kratz, 1998). Dans le cas de notre suivi, les Bait lamina test vont permettre définir s'il y a une

différence significative d'activité biologique du sol qui serait induite par l'une des 3 différentes modalités de couverture du sol.

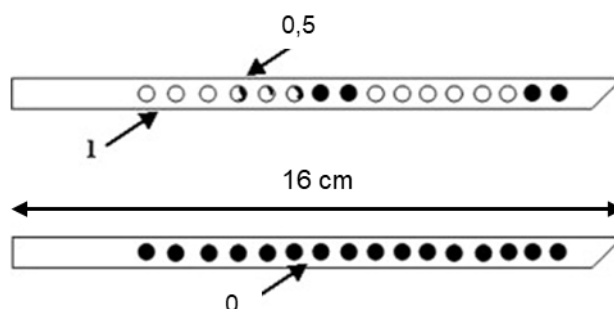


Figure 23 - Bait lamina tests (1 = consommé ; 0,5 = en partie consommé ; 0 = non consommé) (Kratz, 1998)

Les Bait lamina tests ont été disposés sur les premiers centimètres du sol du verger du site d'expérimentation du CPEA uniquement. Comme la méthode préconisée le recommande, des jeux de 16 bandelettes en 4 répétitions par modalités ont été installés sur les rangs, entre deux manguiers. Ce dispositif a été reconduit 3 fois durant la période de l'étude avec un relevé le 3 août, le 28 septembre et le 12 novembre. Après une dizaine de jours enterrés, les Bait lamina test étaient retirés et évalués. Au moyen d'une fiche d'évaluation, chaque puit était noté 1 s'il avait été entièrement consommé, 0,5 s'il était en partie consommé ou 0 si l'appât était toujours présent (voir figure 23).

## 2.2.2 Les capteurs de température

Des capteurs de température de type Tinytag® et Thermo bouton ont été disposés en 3 emplacements différents pour chaque modalité de couverture du sol. Chacune de ces répétitions correspondaient aussi à un emplacement de pose de Bait lamina tests pour contrôler l'activité biologique du sol (voir paragraphe précédent). Les thermo boutons étaient à la fois disposés sur une branche de la canopée de l'arbre et sur la surface de la modalité de la couverture du sol. Toutefois les résultats de prise de ces capteurs ne seront pas présentés dans cette étude. Les capteurs Tinytag® ont été placés sous la surface du sol sur les 5 premiers centimètres. Certains de ces capteurs sont aussi faits pour mesurer l'humidité relative de l'air et le point de rosée. Toutefois, ces capteurs n'étant pas adaptés à la prise d'humidité dans le sol seule la température relevé sera analysée dans cette étude.

Les Tinytag® ont été mis en place le 18 juin et retirés le 3 décembre. Durant toute cette période les capteurs ont enregistré la température du sol toutes les heures. Le 17 septembre un relevé intermédiaire a permis de vérifier que tous les capteurs fonctionnaient bien. Les Tinytags® disposés au même endroit que les Bait lamina tests vont permettre de faire un test de corrélation entre la température et l'activité biologique du sol.

Sur le verger du site 1 (site du CPEA) le matériel concernant la mesure des paramètres édaphiques (Bait lamina tests et capteurs de température) était disposé selon la figure 24 :

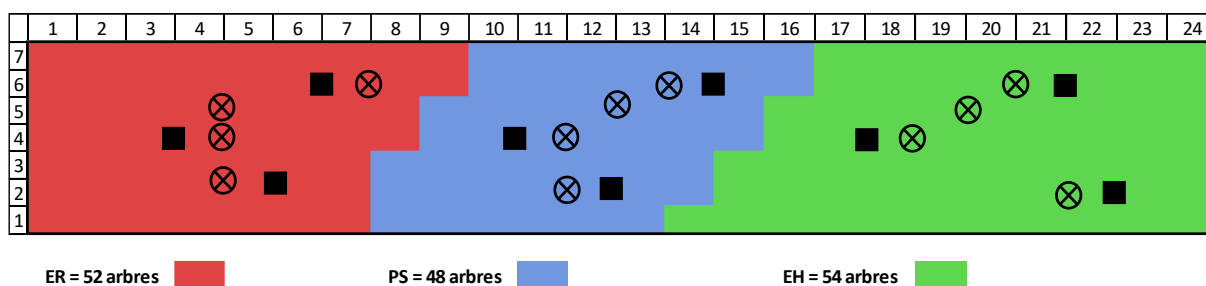


Figure 24 - Disposition des capteurs de températures et des Bait lamina tests

### 2.3 Caractérisation de la flore et de l'entomofaune sur les modalités d'enherbement (ER et EH)

La caractérisation des modalités d'enherbement n'a été effectuée que sur le site du CPEA (site 1), pour les modalités ER et EH au cours de deux relevés, le 3 septembre et le 12 novembre 2018, concernant la flore et l'entomofaune de chacune de ces deux modalités. Pour ces relevés, 4 quadrats de 0,50 m sur 0,50 m (voir A de la figure 25) ont été posés par modalités (1 par rang déterminé au hasard pour les deux différents relevés). Pour chacun de ces quadrats, l'entomofaune présente a été aspirée au moyen d'un souffleur STHIL BG56® inversé et la flore identifiée (nom scientifique et famille botanique) et son taux de recouvrement par quadrat a été estimé visuellement. Les échantillons de flore et faune ont ensuite été transportés au laboratoire de la station du CIRAD à Bassin Plat. L'entomofaune y a été identifiée au niveau du sous-ordre ou de la famille tandis que la flore y a été pesée puis séchée (étuvage de 48h à 70°C) pour en obtenir le poids frais et le poids sec (voir B de la figure 25).



Figure 25 - Quadrat posé sur la modalité ER (A) et échantillons de flore après séchage (B)

### 3 Suivi 2 : dynamique des populations de cécidomyies

Pour estimer le nombre de cécidomyies au sein du verger de manguiers, nous avons posé des pièges d'interception de larves sous la canopée de certains manguiers choisis. La population de cécidomyies des fleurs du manguiier ne peut pas se faire par un comptage des adultes de cécidomyies puisque ce sont des insectes très petits et volants qui ne sont pas présents toute la journée sur les vergers de manguiers. L'estimation de la population de cécidomyies est donc plus pertinente par le comptage des larves qui s'éjectent des panicules florales. Les pièges sont des bidons d'eau minérale de 5 L coupés en deux (voir figure 26). Ces pièges, uniquement remplis d'eau (pas d'attractif ou d'insecticide) permettent de récupérer les larves de cécidomyies qui s'éjectent des panicules situées juste au-dessus des pièges. Ces pièges sont identiques à ceux utilisés pour l'étude conduite en 2017 (Brustel, 2018).



Figure 26 - Deux pièges d'interception en bidon de 5 L coupé en deux

Le suivi de la population de cécidomyies a débuté dès l'apparition des premières inflorescences sur les sites d'expérimentation. Les pièges sont placés sous le maximum de ressources florales. Les pièges sont relevés deux fois par semaine (les mardis et les vendredis) et peuvent être déplacés, après comptage des larves pour être à nouveau disposés sous le maximum d'inflorescences. Lors des relevés, les observations notées sont le nombre de larves recueillies dans le pièges, le nombre d'inflorescences situées au-dessus du piège et les observations éventuelles comme par exemple si le piège a été déplacé. Un exemple d'une fiche de suivi de la population de cécidomyies se trouve en annexe 5.

- **Site 1** : Site du CPEA

Pour le site 1, les pièges d'interception de larves de cécidomyies ont été placés sur chacune des différentes modalités de couvertures du sol, auprès de 10 manguiers, à raison de 2 pièges par manguiier (piège A et piège B). Les 10 arbres choisis pour ce suivi sont issus d'un tirage aléatoire sans remise (à l'aide du logiciel XLSTAT) parmi les 25 arbres déjà suivis pour le suivi de la phénologie des manguiers (voir figure 27). Chaque relevé correspondait donc au comptage des larves et des ressources de 20 pièges par modalités, soit un total de 60 pièges. Le premier relevé a eu lieu le 7 août et le dernier a eu lieu le 21 septembre 2018, à la fin de la floraison, pour un total de 14 relevés.

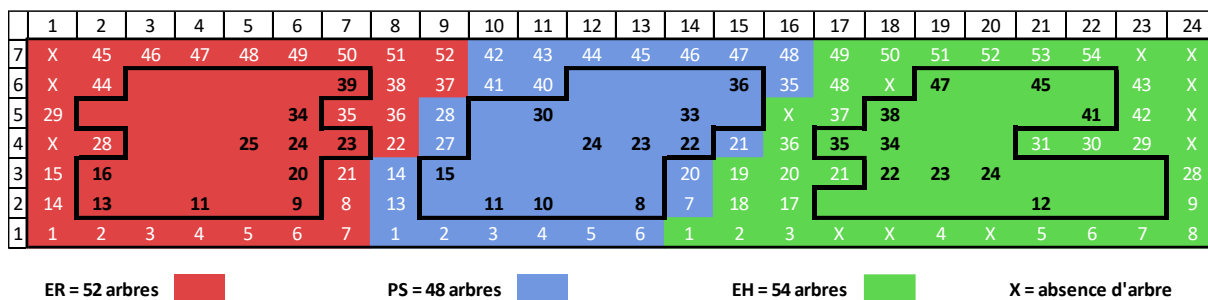


Figure 27 - Disposition des manguiers sélectionnés pour le suivi population des cécidomyies

- **Site 2 : Site de Piton Defaud**

Pour le site 2, deux pièges d'interception de larves de cécidomyies ont été placées sous les fleurs de 10 manguiers des rangs correspondant aux modalités d'enherbement haut et de paillage synthétique (voir figure 21), déjà choisis pour le suivi de la phénologie du manguiers, pour un total de 40 pièges par relevé. Sur ce site, la floraison ayant commencé plus tard, le premier relevé a eu lieu le 10 août et le dernier le 16 octobre, soit 20 relevés.

#### 4 Suivi 3 : infestation précoce des jeunes fruits

Le suivi de l'infestation précoce des jeunes fruits a pour but de comprendre comment les modalités différentes de couvertures du sol peuvent contribuer à la gestion des bioagresseurs à l'origine de ces infestations (à savoir les mouches des fruits, en tant que complexe d'espèces) par le biais d'une méthode de lutte préventive qu'est la récolte prophylactique. Cette méthode consiste, comme expliqué dans la partie 1 : 4.1.2. Mouches des fruits, en l'enlèvement des fruits piqués pour éliminer en grande partie la source potentielle de ré-infestation. L'objectif de ce suivi, en relevant le niveau d'infestation des quatre différentes espèces de mouches de fruits présentes sur l'île de La Réunion et s'attaquant aux mangues, à savoir *C. quilicii*, *C. capitata*, *B. zonata* et *B. dorsalis*, est de savoir si l'une des deux couvertures du sol proposées comme levier de lutte contre les cécidomyies, soit l'enherbement haut EH et le tapis de sol PS, permet aussi de réduire la population des mouches des fruits. L'hypothèse faite est que ces deux modalités de couvertures du sol sont moins attractives qu'un sol nu pour les femelles adultes de mouches des fruits cherchant un site de ponte.

Pour évaluer l'effet des couvertures du sol sur la population des mouches des fruits, plusieurs prélèvements de fruits ont été effectués sur chacune des modalités de couvertures du sol (voir A de la figure 28). Les fruits ont été à la fois prélevés au sol, sur les couvertures, mais aussi directement sur les arbres et ce afin de vérifier l'hypothèse que les femelles de *B. dorsalis* ont la capacité de piquer et pondre sur des fruits immatures encore sur pied. Les prélèvements ont été effectués à 3 dates différentes sur le site d'expérimentation du CPEA de Saint-Paul (site 1). Le premier relevé a été réalisé le 28 août, puis le 18 septembre, et le dernier relevé a eu lieu le 28 septembre 2018.



Figure 28 - Mangues prélevées sur les différentes modalités (A) et mangues ensachées en laboratoire (B)

Les mangues prélevées au lycée agricole ont ensuite été analysées en laboratoire sur le site du CIRAD de Bassin Plat. Après prélèvements sur le terrain, les mangues sont rapportées au laboratoire pour y être mises en incubation jusqu'à l'émergence des adultes de mouches des fruits (Tephritidae) correspondant aux stades pré-imaginaux qui les infestaient le cas échéant. Les mangues sont tout d'abord pesées par catégorie (au sol/sur arbre) puis ensachées dans des sacs (ou housses) à fruits en papier microperforé (voir B de la figure 28). Le sac est auparavant partiellement rempli d'une fine couche de sable noir de rivière préalablement stérilisé par étuvage (70°C durant 48h), qui facilite l'émergence des adultes des mouches des fruits. Après une vingtaine de jours, les poches à fruits sont ouvertes pour dénombrer les larves, pupes et/ou adultes des quatre différentes espèces de mouches des fruits. Ce comptage doit aussi permettre de compter l'effectif des parasitoïdes des mouches des fruits quand ceux-ci sont présents. La fiche de suivi de la récolte prophylactique est disponible en annexe 6.





## **PARTIE 3 : Résultats des suivis**



## 1 Climat global des suivis

Avant de traiter des résultats obtenus dans le cadre des trois suivis de l'étude, il convient de présenter le climat général relatif aux deux sites d'expérimentations situés à Saint-Paul. Le diagramme ombrothermique (cf figure 29) présente d'une part, la pluviométrie et les températures moyennes enregistrées pour la période couvrant l'étude, soit du mois de juin au mois de décembre 2018, et d'autre part, la pluviométrie et les températures normales calculées sur la période 1981-2010 (Météo France, 2019b). Ces données ont été obtenues de la station météorologique de la commune du Port située à moins de 5 km de chacun des deux sites d'expérimentation.

Nous pouvons remarquer que le mois de juin 2018 a été particulièrement humide comparé à la normale (+26 mm). Cette pluviométrie importante pourtant enregistrée durant la saison sèche a pu retarder le début de la floraison. Il en va de même pour le mois d'octobre (+63 mm) qui est peut-être à l'origine de l'apparition d'antracnose, maladie fongique favorisée par l'humidité. Pour le mois de décembre, période de maturation et de récolte des mangues la pluviométrie enregistrée est inférieure de 30,8 mm ce qui a peut-être causé un retard de développement chez certains fruits. Pour la température relevée durant toute la période des suivis, les moyennes mensuelles sont restées très proches des températures normales. Les températures sont globalement légèrement plus élevées mais ne dépassent jamais le degré (°C) de différence.

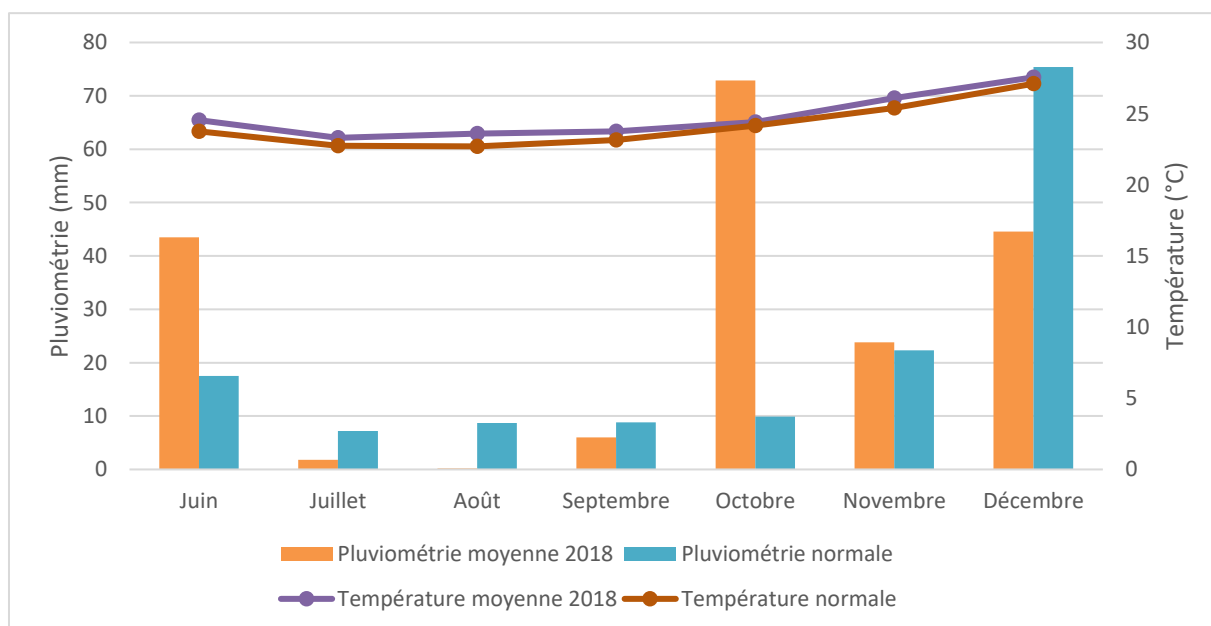


Figure 29 - Diagramme ombrothermique de Saint-Paul sur la période juin-décembre 2018 (Météo France, 2019b)

## 2 Suivi 1 : dynamique de la phénologie des manguiers

### 2.1 Phénologie

#### 2.1.1 Dynamique de floraison

La dynamique de la floraison se caractérise par l'évolution de la floraison au cours du temps. Ce critère permet d'évaluer si la floraison est plutôt précoce ou tardive et elle permet d'estimer la période de maturation des fruits et donne donc une idée sur le démarrage de la récolte.

Pour calculer cette dynamique nous avons tout d'abord calculé le nombre d'UC ayant donné au moins un bourgeon florifère (reproducteur ou mixte) et nous avons calculé pour ces UC une date moyenne de débourrement pour tous leurs bourgeons florifères. Cette date est rapportée à une semaine sachant que la semaine 1 correspond à la première semaine de l'année. Pour le site 1, les débournements florifères, pour toutes les modalités confondues, ont tous eu lieu entre la semaine 29 et la semaine 36, soit entre le 17 juillet et le 10 septembre, et entre la semaine 30 à 37 pour le site 2, soit entre le 24 juillet et le 17 septembre.

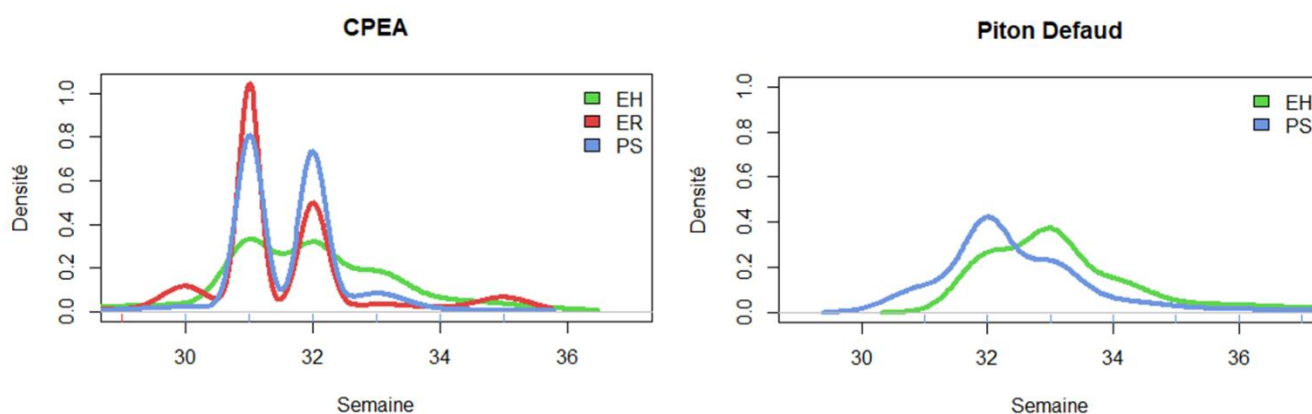


Figure 30 - Dynamique de floraison pour chaque site en fonction de la semaine

Nous pouvons remarquer que la floraison globale sur le site de Piton Defaud, soit toutes modalités de couvertures du sol confondues, est arrivée une semaine après celle du CPEA. Nous pouvons également observer sur la représentation graphique (voir figure 30), des pics de floraison pour les trois modalités pour les semaines 31 et 32 pour le site 1. Pour le site 2, nous observons un pic pour la modalité PS en semaine 32 et un pic pour la modalité EH en semaine 33.

#### 2.1.2 Taux de floraison

L'intensité de la floraison d'un manguiier peut être calculée par son taux de floraison. Le taux de floraison se calcule par le nombre d'UC florifères (UC ayant donné au moins un bourgeon mixte ou reproducteur) sur le nombre total d'UC par modalité de couverture du

sol, soit 200. Le taux de floraison est globalement plus élevé pour le site 1 que pour le site 2 (voir tableau 5).

Tableau 5 - Taux de floraison en fonction des couvertures du sol pour les deux sites

Site d'expérimentation	Site 1: CPEA			Site 2 : Piton Defaud	
Modalités de couvertures du sol	EH	ER	PS	EH	PS
Taux de floraison	0,665 (b)	0,535 (a)	0,520 (a)	0,335 (a)	0,420 (a)
Intervalle de confiance à 95%	[0,600 ; 0,730]	[0,466 ; 0,604]	[0,451 ; 0,589]	[0,270 ; 0,400]	[0,352 ; 0,488]

Les taux de floraison de chaque modalité de couverture du sol ont été comparés séparément pour les deux sites d'expérimentations. Les données suivent une distribution binomiale (succès = l'UC a fleuri ; échec = l'UC n'a pas fleuri) et ont donc pu être analysées au moyen d'un GLM suivant une loi binomiale, dont les valeurs sont présentées dans le tableau 5. Le test de comparaison multiple de Tukey a permis de mettre en évidence qu'il existe une différence significativement supérieure entre la modalité de l'enherbement haut EH et les modalités de sol nu ER et de tapis de sol PS pour le site du CPEA, alors qu'il n'y a pas de différence significative entre les modalités EH et PS du site 2. Sur la représentation graphique de la figure 31, les lettres différentes mettent en évidence les modalités significativement différentes.

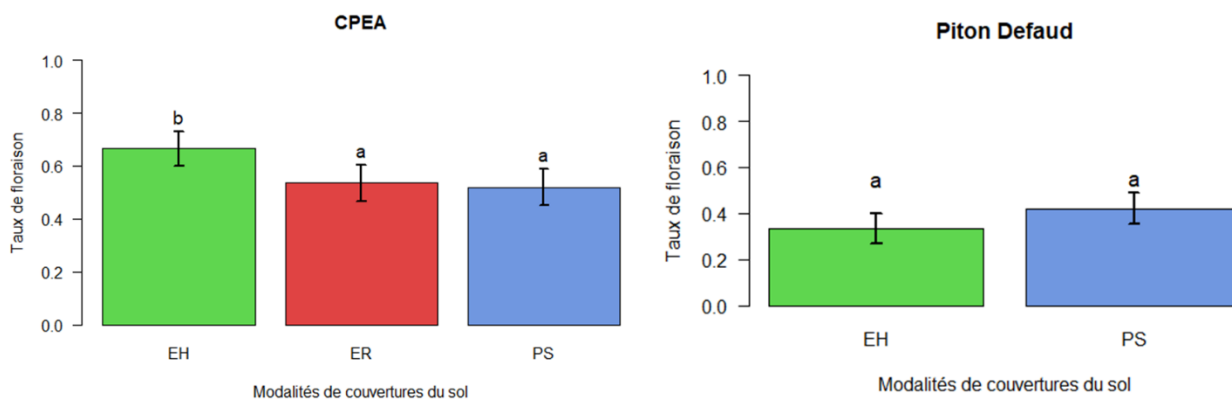


Figure 31 - Taux de floraison en fonction des couvertures du sol pour les deux sites d'expérimentation

### 2.1.3 Taux de fructification

Le taux de fructification correspond au nombre d'UC ayant donné au moins un fruit sur le nombre d'UC florifères (UC ayant au moins donné un bourgeon mixte ou reproducteur) total. Ce taux de fructification a été très faible sur le site 1, au vu de l'effectif de fruits dénombrés (34 fruits toutes modalités confondues) à l'occasion du dernier relevé (5 octobre) sur les UC suivies.

Tableau 6 - Taux de fructification en fonction des couvertures du sol pour les deux sites

Site d'expérimentation	Site 1 : CPEA			Site 2 : Piton Defaud	
Modalités de couvertures du sol	EH	ER	PS	EH	PS
Taux de fructification	0,098 (a)	0,093 (a)	0,106 (a)	0,209 (a)	0,250 (a)
Intervalle de confiance à 95%	[0,047 ; 0,149]	[0,038 ; 0,148]	[0,047 ; 0,165]	[0,112 ; 0,306]	[0,157 ; 0,343]

Les taux de fructification de chaque modalité de couverture du sol ont été comparés séparément pour les deux sites d'expérimentations. Les données suivent une distribution binomiale (succès = l'UC a donné au moins un fruit ; échec = l'UC n'a pas donné de fruit) et ont été analysées grâce à un GLM suivant une loi binomiale, dont les valeurs sont présentées dans le tableau 6. Le test de comparaison multiple de Tukey n'a décelé aucune différence significative entre les trois modalités de couvertures du sol pour les deux sites d'expérimentation, comme permet de le constater la représentation graphique de la figure 32.

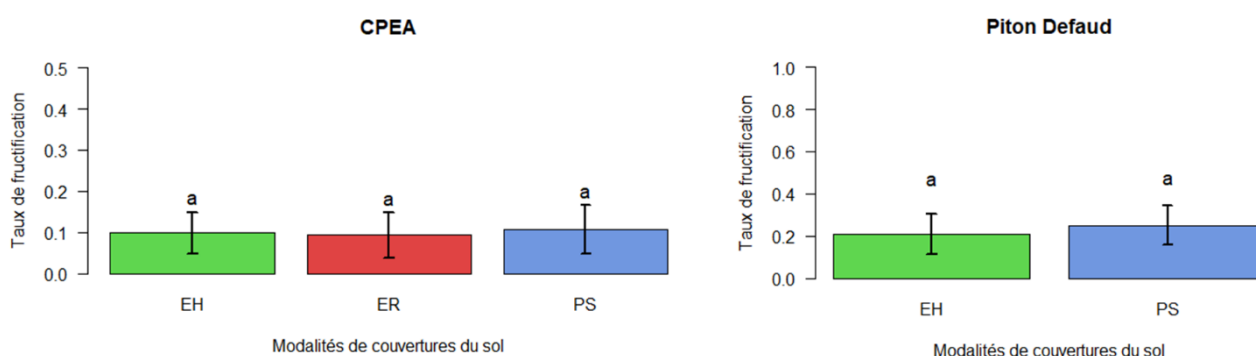


Figure 32 - Taux de fructification en fonction des couvertures du sol pour les deux sites d'expérimentation

## 2.2 Environnement

Pour estimer l'impact des couvertures sur l'environnement des manguiers, nous avons procédé à une analyse des paramètres édaphiques et à une caractérisation de faune et flore des modalités enherbées. Pour les paramètres édaphiques des vergers de manguiers, l'activité biologique du sol a été évaluée durant trois périodes dans le cadre de l'étude, par la mise en place de Bait lamina tests. La température du sol a aussi été enregistrée durant ces trois périodes, soit du 25 juillet au 3 août pour la première, du 18 au 28 septembre pour la deuxième et du 31 octobre au 12 novembre pour la troisième et dernière. Pour la caractérisation des modalités enherbées, deux relevés de la flore et de l'entomofaune (3 septembre et 12 novembre 2018) ont été effectués sur le site du CPEA.

### 2.2.1 Analyse de l'activité biologique du sol

Pour tous les Bait lamina tests relevés (16 bandelettes x 4 répétitions x 3 relevés) on a considéré la somme des valeurs de consommation ainsi que le taux de consommation par bandelette (puits en partie et totalement consommés) (cf tableau 7).

Tableau 7 - Taux de consommation des Bait lamina tests sur les 3 relevés en fonction de la couverture du sol

Modalités de couvertures du sol	EH	ER	PS
Taux moyen de consommation	0,30 (a)	0,39 (a)	0,44 (a)
Taux minimum de consommation	0,10	0,09	0,16
Taux maximum de consommation	0,64	0,75	0,84

Malgré des valeurs de consommation (somme et taux) plus élevés pour la modalité PS, il n'y a pas de différences significatives entre les trois modalités de couvertures du sol sur les trois différents relevés au seuil de 5% au test de Kruskal-Wallis (cf figure 33).

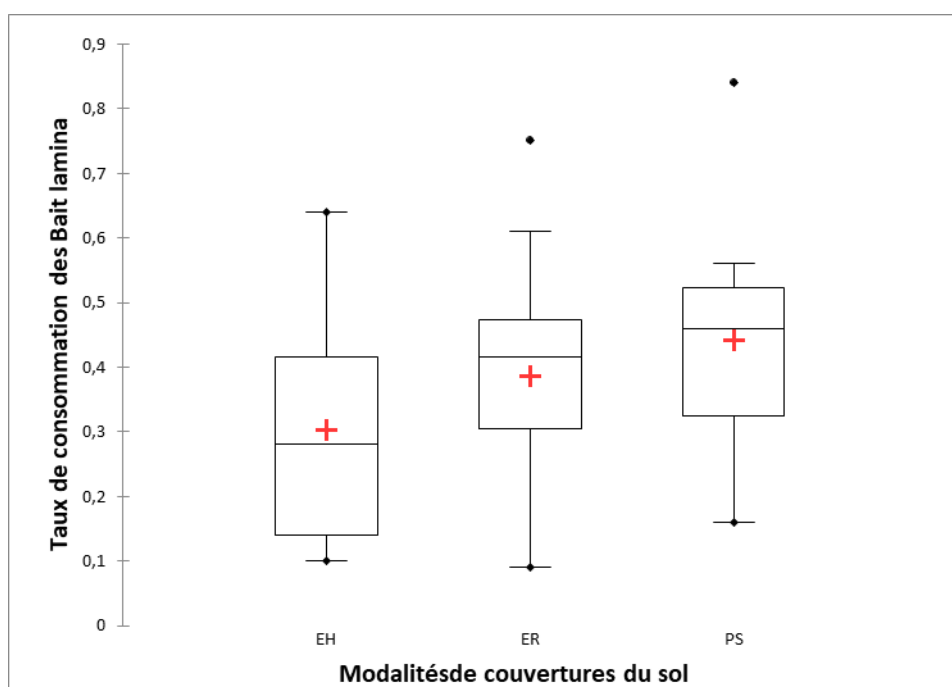


Figure 33 - Taux de consommation des Bait lamina tests sur les 3 relevés en fonction de la couverture du sol

## 2.2.2 Analyse des températures du sol

Les données des températures du sol ont été extraites sur les trois périodes de mise en place des Bait lamina tests pour les trois capteurs de température posés par modalité. Dans un premier temps, un test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence une différence significative des températures moyennes de ces capteurs, toutes modalités confondues, entre les trois périodes (cf tableau 8). Les températures moyennes enregistrées pour la 3<sup>ème</sup> période (début novembre) sont effectivement significativement plus élevées (en moyenne +2,30°C pour les trois modalités) que pour la 1<sup>ère</sup> période (fin juillet), ce qui semble concorder avec l'augmentation des températures d'été.

Tableau 8 - Température moyenne des 3 capteurs de température par modalités durant les 3 relevés

Relevés\Modalités	EH	ER	PS
1er relevé	20,89 (a)	22,02 (a)	21,38 (a)
2ème relevé	22,57 (ab)	23,17 (ab)	22,93 (ab)
3ème relevé	24,68 (b)	24,32 (b)	24,44 (b)

Les températures moyennes de chacun de ces capteurs par période et par modalité ont été comparées par comparaisons multiples au moyen d'un test de Dunn à la suite du test de Kruskal-Wallis. Comme nous pouvons le voir sur la figure 34, aucune des températures moyennes d'une modalité n'est significativement différente des autres et ce pour aucun des 3 relevés.

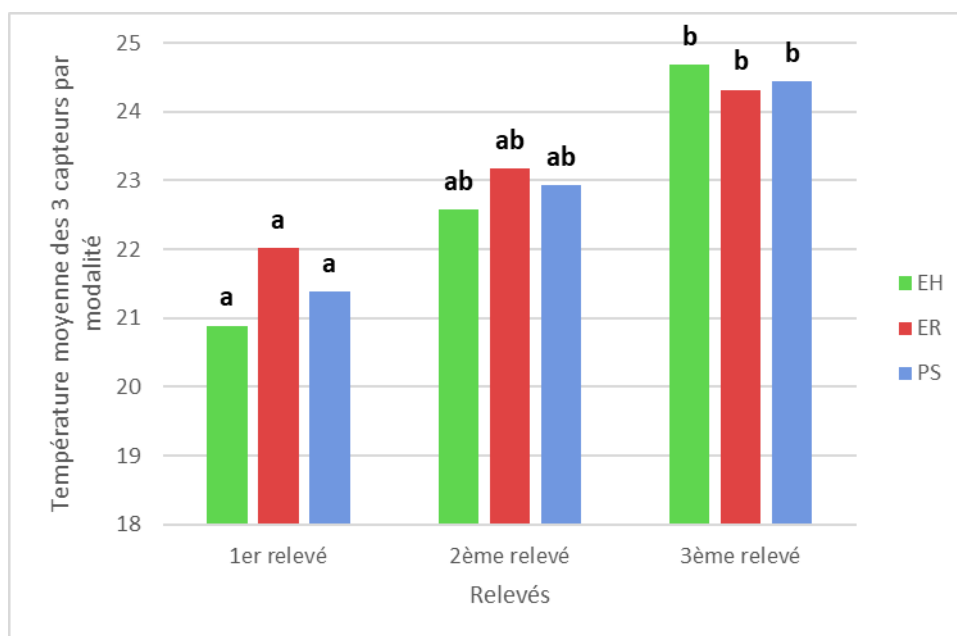


Figure 34 - Température moyenne des 3 capteurs de température par modalités durant les 3 relevés



### 2.2.3 Analyse de la caractérisation de la flore et de l'entomofaune sur les modalités d'enherbement (ER et EH)

- **Flore**

Un inventaire complet de la flore des modalités EH et ER (hors-quadrats) a permis de mettre en évidence que 23 familles botaniques différentes étaient présentes sur tout le verger du CPEA (site 1) avec majoritairement des Fabacées (16), des Poacées (10) et des Malvacées (9). Pour la modalité de l'enherbement haut EH, l'inventaire floristique général a permis d'identifier 37 espèces différentes appartenant à 20 familles différentes (cf tableau 9). Pour celui de la modalité ER, l'inventaire a recensé 38 espèces relevant de 18 familles différentes et dont les espèces sont à plus de 90% similaires aux espèces recensées sur la modalité EH.

Tableau 9 - Taux de recouvrement des 4 quadrats par modalité pour le 12/11 et leur poids en matière en sèche (g/0,25m<sup>2</sup>)

Modalités de couvertures du sol	EH	ER
Nombre de familles identifiées	20	18
Nombre d'espèces identifiées	37	38
Taux de recouvrement	51% (a)	49% (a)
Poids en matière sèche	16,25 (a)	7,38 (a)

Des tests de Kruskal-Wallis (p-value = 0,05) ont été utilisés pour comparer le taux de recouvrement et le poids en matière sèche des quatre quadrats posés par modalité au relevé du 12 novembre 2018. Comme nous pouvons le remarquer sur la représentation graphique de la figure 35, il n'y a pas de différences significatives entre les deux modalités d'enherbement.

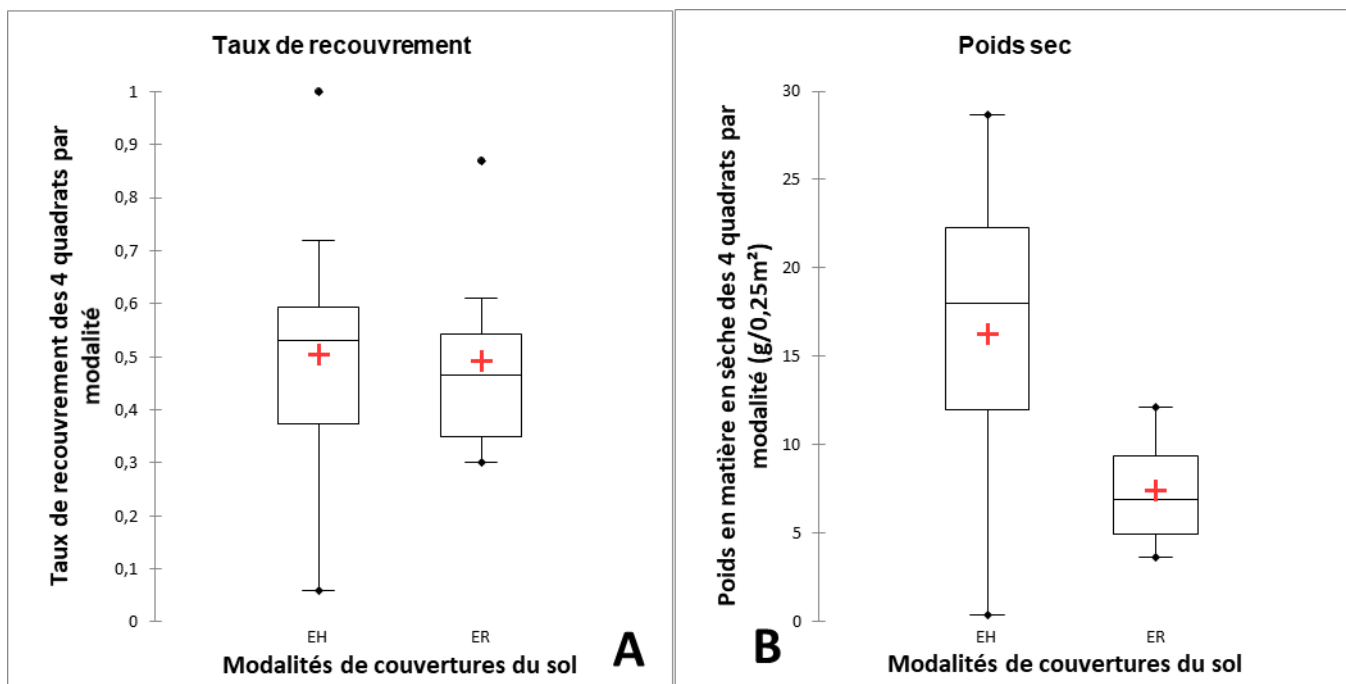


Figure 35 - Taux de recouvrement des quatre quadrats par modalité pour le 12/11 (A) et leur poids en matière en sèche (g/0,25m<sup>2</sup>) (B)

- **Entomofaune**

En ce qui concerne l'entomofaune prélevée un test de comparaison de deux échantillons de type Mann-Whitney a été réalisé pour les effectifs totaux d'arthropodes et le nombre de taxons différents identifiés pour les quatre quadrats par modalité au cours des deux relevés (cf tableau 10).

Tableau 10 - Nombre d'arthropodes et de taxons par quadrat de 0,25 m<sup>2</sup> recensés au cours des 2 relevés en fonction des 2 modalités enherbées

Modalités de couvertures du sol	EH	ER
Effectif d'arthropodes	112	45
Nombre de taxons	22	34

La représentation graphique qui en ressort (voir figure 36) montre qu'au seuil de signification de 5%, il n'y a pas de différence significative entre les deux modalités d'enherbement pour ces deux paramètres (effectif total et nombre de taxons). Nous pouvons toutefois remarquer qu'il y a plus d'arthropodes retrouvés sur la modalité d'enherbement haut EH que sur celle de l'enherbement ras ER même si les taxons sont identifiés sont moins diversifiés.

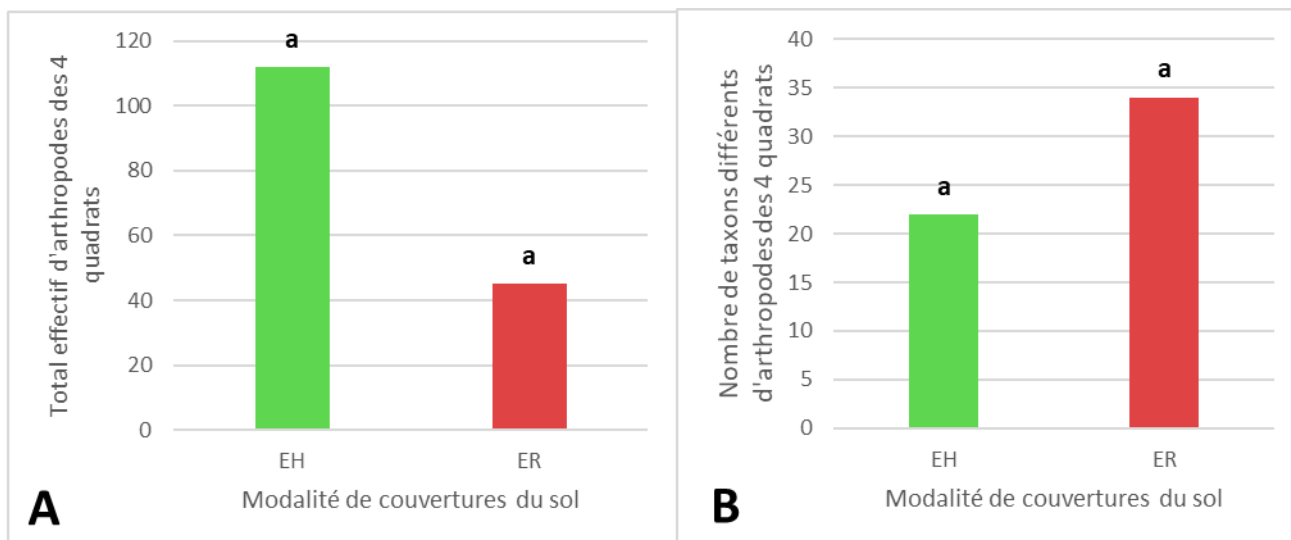


Figure 36 - Nombre d'arthropodes (A) et de taxons (B) par quadrat de 0,25 m<sup>2</sup> recensés au cours des 2 relevés en fonction des 2 modalités enherbées

Pour les synthèses de chaque suivi, le signe > indique une différence significativement supérieure statistiquement prouvée, tandis que le signe ≥ indique seulement une tendance visuelle supérieure.

### Synthèse du suivi 1 : Impact des couvertures du sol sur la phénologie et l'environnement des manguiers

Dynamique de floraison : le site 1 et le site 2 ont des dynamiques de floraison assez similaires

Taux de floraison par site : CPEA > Piton Defaud

Taux de floraison par modalité : EH > ER / PS

Taux de fructification par site : Piton Defaud > CPEA

Activité biologique du sol par modalité : PS ≥ ER ≥ EH

Température du sol durant les trois périodes : T° 3<sup>ème</sup> période > T° 1<sup>ère</sup> période

Température du sol par modalité : ER ≥ PS ≥ EH

Poids de la couverture végétale en matière sèche par modalité enherbée : EH ≥ ER

Nombre d'arthropodes par modalité enherbée : EH ≥ ER

### 3 Suivi 2 : dynamique des populations de cécidomyies

Pour estimer l'effet des modalités de couvertures du sol sur la régulation de l'infestation par la cécidomyie des fleurs du manguier, le suivi s'est intéressé à l'analyse du nombre de larves relevées dans des pièges d'interception de chaque modalité par semaine. Dans un premier temps, les pièges trouvés renversés ou écrasés lors des relevés ont été exclus de l'analyse, puis les 2 relevés du nombre de larves par pièges de la même semaine ont été cumulés pour rapporter un nombre de larves à la semaine.

- **Site 1 : CPEA**

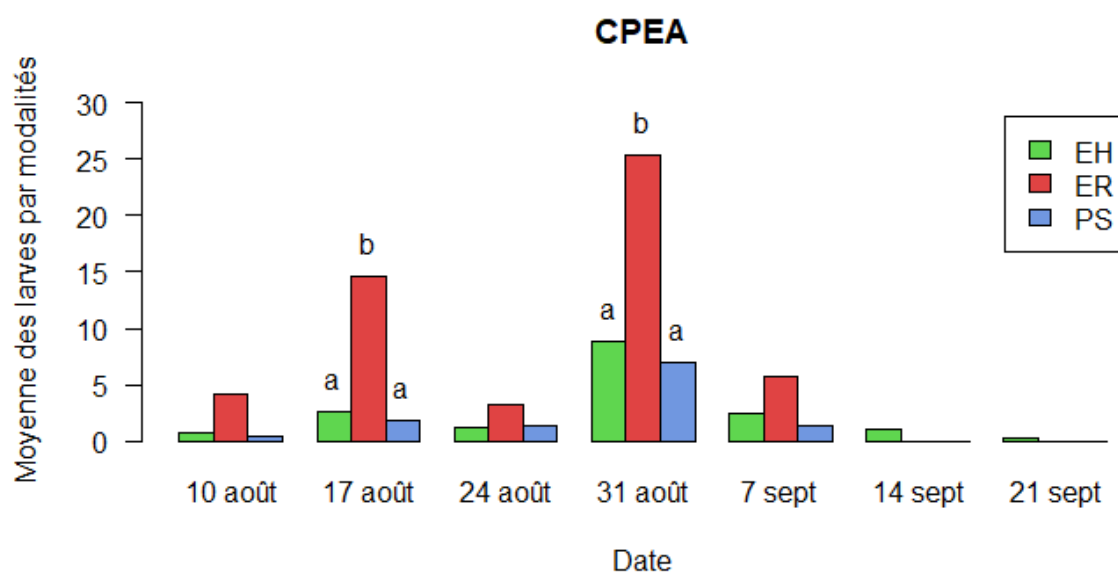


Figure 37 - Moyenne des larves piégées par modalité au cours des sept semaines de suivi sur le site du CPEA

Un GLM suivant une loi de Poisson a été construit à partir de la moyenne des larves piégées pour chacune des trois modalités du site 1 au cours des différentes semaines de relevés pour analyser ces données. Un test de comparaison multiple de Tukey a mis en évidence une supériorité significative de la modalité d'enherbement ras ER par rapport aux modalités d'enherbement haut EH et de paillage synthétique PS pour les semaines du 17 et du 31 août. La figure 37 est la représentation graphique de ce modèle. Les lettres différentes indiquent les modalités de couvertures du sol pour lesquelles les populations de larves de cécidomyies relevées dans les pièges étaient significativement différentes. Ces deux semaines de relevés montrent aussi que l'infestation des manguiers par les cécidomyies était plus importante à ces dates et peuvent correspondre à l'émergence d'une nouvelle génération ou liée à d'autres facteurs (climat, traitements chimiques).

- **Site 2 : Piton Defaud**

Pour le site de Piton Defaud, un GLM suivant les mêmes paramètres que pour le site du CPEA a été construit à partir des 10 relevés hebdomadaires du 14 août au 16 octobre 2018 sur les modalités de l'enherbement haut et du tapis de sol. Toutefois le test de Tukey n'a pas permis de conclure sur une différence significative entre ces deux modalités de couvertures du sol pour la période donnée. Nous pouvons toutefois observer, sur la représentation graphique de ce modèle (voir figure 38), le niveau particulièrement élevé de l'infestation des larves de cécidomyies pour ces deux modalités durant la semaine du 18 septembre.

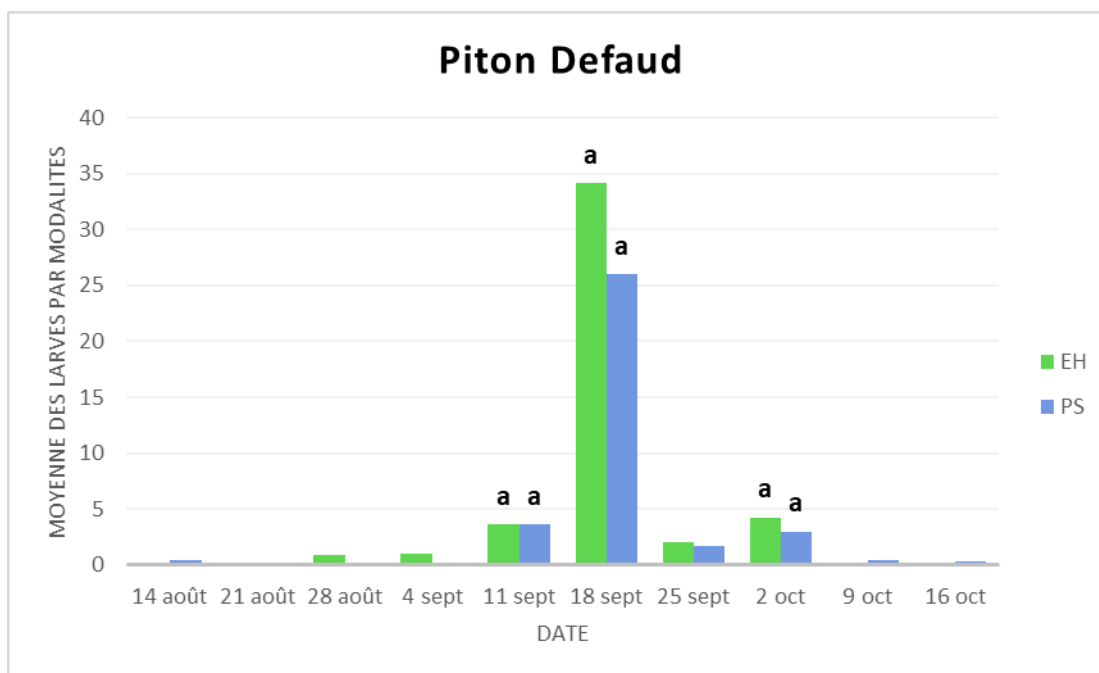


Figure 38 - Moyenne des larves piégées par modalités au cours des 10 relevés du site de Piton Defaud

- **Comparaison des études 2017 et 2018**

Le dispositif expérimental mis en place sur le site du CPEA en 2018 étant similaire à celui de l'étude 2017, les nombres totaux de larves piégées par modalité de couverture du sol sur ce site ont pu être comparés. Pour comparer ces valeurs, les données ont été traitées au moyen d'un test non-paramétrique de Kruskal-Wallis ( $p$ -value = 0,05). Puis, un test de comparaisons multiples suivant la procédure de Dunn a permis de démontrer que la modalité témoin ER était significativement différente des deux autres modalités de couverture du sol. Comme nous pouvons le voir sur la représentation graphique du test (voir figure 39), en 2017, seule la modalité de paillage synthétique PS était significativement différente des autres. En effet, la baisse importante du nombre de larves piégées sur les modalités d'enherbement haut et de tapis de sol en 2018, montre que ces solutions ont été efficaces pour réguler la population de cécidomyies des fleurs du manguier.

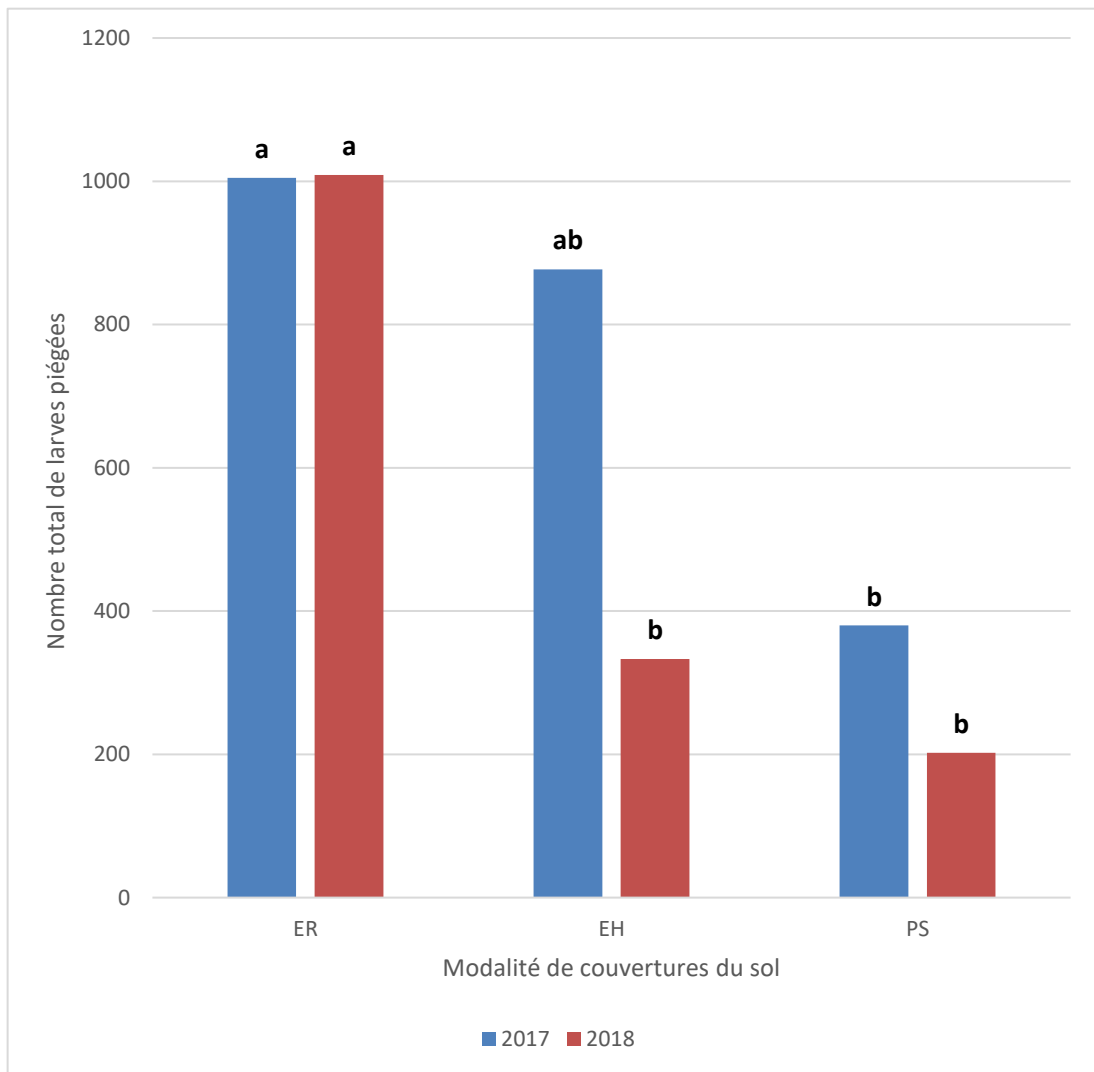


Figure 39 - Nombre de larves de cécidomyies piégées par modalité de couvertures du sol sur les années 2017 et 2018

**Synthèse du suivi 2 :** Impact des couvertures du sol sur la population de la cécidomyie des fleurs du manguier (*P. mangiferae*)

Evolution de l'infestation : site 1 : deux pics d'infestation (17 et 31 août) ; site 2 : un pic d'infestation (18 septembre)

Moyenne des larves par modalité : **ER** > **EH** / **PS**

## 4 Suivi 3 : infestation précoce des jeunes fruits

Les comptages en laboratoire réalisés suite à l'incubation des mangues prélevées sur chaque modalité de couverture du sol par récolte prophylactique précoce ont montré qu'une seule espèce de mouches des fruits, *B. dorsalis*, était présente sur les vergers sur la période du 28 août au 28 septembre 2018. Or au titre du même suivi réalisé en 2017, Brustel, (2018) n'avait recensé qu'un seul individu de cette espèce alors que les effectifs dénombrés étaient majoritairement composés de *B. zonata* (69%), puis de *C. capitata* (17%) et de *C. quilicii* (13%). *Bactrocera dorsalis*, détectée pour la première fois en mai 2017 sur l'île, semble avoir totalement supplanté en 2018 les autres espèces anciennement présentes à La Réunion. De plus, contrairement à celui de 2017, le suivi de 2018 n'a relevé aucun parasitoïde des mouches des fruits.

Pour évaluer le niveau d'infestation par les mouches des fruits, la somme des larves et des pupes décomptées ont été ramenées au kilo de mangues récoltées. Pour toutes les modalités confondues 38% de l'effectif des pupes et larves comptabilisées proviennent de mangues encore sur l'arbre.

Un test non paramétrique de Kruskal-Wallis au seuil de signification de 5% et après correction de Bonferroni pour les trois relevés montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les effectifs de pupes et larves selon les différentes modalités de couverture du sol (voir figure 40). Toutefois, la tendance montre que le niveau d'infestation était plus élevé pour le sol nu (ER), puis pour le tapis de sol (PS).

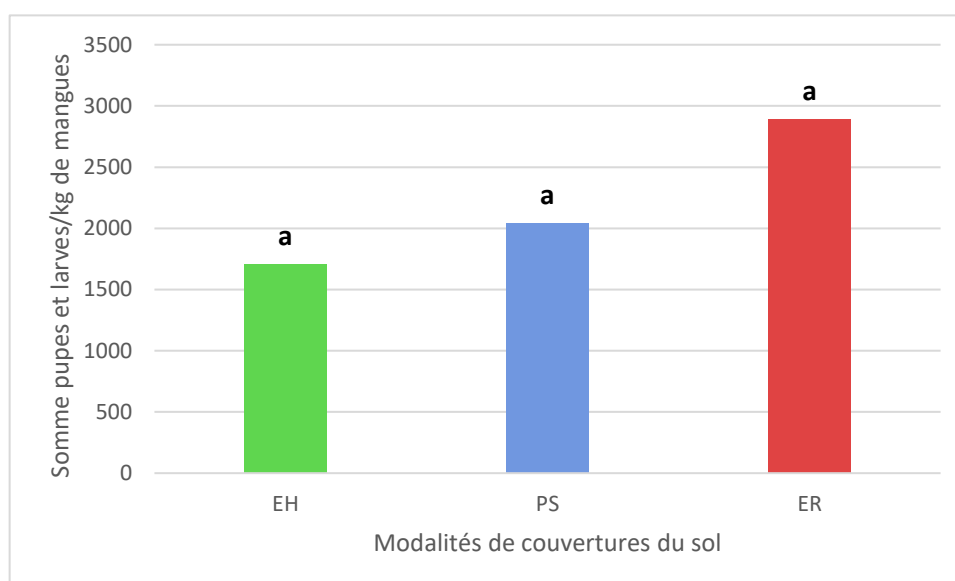


Figure 40 - Nombre de pupes et de larves de *B. dorsalis* par kg de mangues prélevées sur le site 1 au cours des 3 relevés en fonction de la couverture du sol

**Synthèse du suivi 3** : Impact des couvertures du sol sur le niveau d'infestation par les mouches des fruits

Aucun parasitoïde n'a été relevé

Tous les adultes dénombrés appartiennent à l'espèce *B. dorsalis*

38% des pupes et larves sont originaires de mangues sur l'arbre et pas au sol

Nombre de pupes et larves de *B. dorsalis* : ER ≥ PS ≥ EH



## **PARTIE 4 : Discussions et propositions**



# 1 Discussions et limites de l'étude

## 1.1 L'effet des couvertures du sol sur la phénologie et l'environnement du manguiier

Les résultats de l'étude de 2018 ne permettent pas toujours de conclure clairement sur l'efficacité de telle ou telle modalité mais leur tendance globale tend à confirmer les résultats déjà obtenus en 2017. En effet, le taux de floraison sur les manguiers en enherbement haut du site du CPEA a été significativement plus élevé que les deux autres modalités de couvertures du sol durant les deux années. Cela montre que non seulement l'enherbement haut ne gêne pas la floraison des manguiers mais semble en plus l'améliorer. De même, l'enherbement haut, ne semble pas non plus affecter les paramètres édaphiques du sol, contrairement à la modalité du paillage synthétique PS qui semble augmenter légèrement la température et l'activité biologique du sol.

Toutefois, d'autres données comme le taux de fructification, sont difficiles à analyser avec ce protocole. En effet, comme l'étiquetage des UC se fait avant le début de la floraison, on ne peut pas être sûr que les UC sélectionnées vont fleurir voire fructifier. Or le suivi de seulement 8 UC au hasard sur la totalité d'un arbre qui peut en contenir plus d'un millier ne semble pas vraiment représentatif.

En ce qui concerne les résultats de la caractérisation des modalités enherbées, l'enherbement haut EH ne montre pas réellement d'avantage par rapport à l'enherbement ras ER. En effet, le relevé floristique et de l'entomofaune de ces deux modalités sont assez semblables avec presque exactement les mêmes familles botaniques et les mêmes espèces pour ER et pour EH. Nous avons pu également remarquer que, parmi les quatre espèces les plus présentes sur la modalité EH (nombre de fois que l'espèce est présente sur le total des quatre quadrats de la modalité sur les deux relevés), trois sont classées comme espèces invasives à La Réunion (Lavergne, 2016 ; GEIR, 2019). De plus, parmi ces trois espèces invasives, la première est une liane envahissante (*Teramnus labialis*) et les deux autres sont des espèces ligneuses (*Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium dulce*). Ces espèces envahissantes peuvent à terme poser un problème de concurrence avec la culture principale, les manguiers. Ces espèces ligneuses peuvent aussi représenter un problème pour l'entretien du verger et gêner pour les interventions normales : passages pour traitements, récolte, etc ... Ces résultats montrent qu'il faut peut-être s'accorder sur une définition vraiment claire de l'enherbement haut comme sa hauteur ou sa composition (espèces végétales).

## 1.2 L'effet des couvertures du sol sur la population de cécidomyies

Les résultats du suivi 2 de 2018 montrent une certaine efficacité des traitements EH et PS, pour la régulation de population des cécidomyies. La modalité du paillage synthétique PS semble plus efficace que celle de la modalité EH en ce qui concerne le site du CPEA, déjà suivi en 2017, car elle constitue une véritable barrière physique pour bloquer la pupaison des larves de cécidomyies. Les résultats confirment les résultats obtenus en 2017 même si en 2018, le nombre de larves capturées pour les modalités EH et PS sont plus faibles. En s'appuyant sur la différence significative, sur deux années consécutives, entre la modalité ER et les modalités EH et PS, nous pouvons avancer l'intérêt d'installer un tapis de sol ou un enherbement haut spontané dans des vergers de manguiier comme levier d'action pour la gestion de la cécidomyies des fleurs du manguiier.

### 1.3 L'effet des couvertures du sol sur les populations de mouches des fruits

Pour les effets du tapis de sol (modalité PS) sur la gestion de population des mouches des fruits, l'hypothèse de départ était que le tapis sombre n'incite pas les femelles des mouches des fruits à pondre sur les mangues tombées sur le tapis de sol. De plus, cette couverture du sol devait faciliter la récolte prophylactique des mangues avortées qui sont facilement repérables et accessibles sur le tapis de sol. En ce sens, même si une différence significative n'a pas été mise en évidence, la modalité PS semble plus efficace que la modalité ER.

Pour les effets de la modalité de l'enherbement haut EH comme moyen de lutte contre les mouches des fruits, l'hypothèse faite est que l'enherbement haut favorise, par son importante biomasse, les populations d'ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes) des mouches des fruits. De plus, l'enherbement devait compliquer la ponte des femelles sur les mangues avortées en les cachant. Les résultats montrent aussi qu'aucun parasitoïde n'a été détecté sur la modalité EH, malgré le fait que c'est sur cette modalité que le moins de larves de mouches de fruits ont été dénombrées. Cependant, ce résultat peut être faussé par le fait que lors du premier relevé, aucune mangue n'a été retrouvée au sol pour la modalité EH. En effet, l'enherbement haut ne facilite pas du tout la récolte prophylactique. Contrairement au tapis de sol, les petites mangues avortées sont très difficiles à repérer.

Pour conclure, les modalités PS et EH semblent réduire le nombre de larves de mouches de fruits mais la modalité EH complique fortement la méthode de lutte préventive de la récolte prophylactique. La modalité PS semble donc la plus pertinente pour être associée à gestion des mouches des fruits par récolte prophylactique. Ce mode de gestion pourrait même être associé à terme avec une destruction des fruits piqués à l'aide d'un augmentorium. Les fruits piqués facilement récoltés sur le tapis de sol pourraient être stockés dans un augmentorium pour être détruits et en même temps permettre à de potentiels parasitoïdes d'être relâchés et de pouvoir parasiter d'autres individus de mouches de fruits pour en limiter la population.

### 1.4 Limites des différentes modalités de couvertures du sol

Même si résultats montrent que les deux couvertures du sol PS et EH comme méthodes de lutte préventives sont efficaces, ces modalités ont rencontré quelques limites.

Tout d'abord, l'enherbement haut, par exemple, n'est pas assez caractérisé (hauteur du couvert, type d'espèces végétales) par exemple pour le site 1 du CPEA. De plus, l'enherbement haut, a pu, dans certains vergers de producteurs de mangues de l'Ouest de l'île de La Réunion, être à l'origine d'autres problèmes phytosanitaires. En effet, certains producteurs ont remarqué une attaque importante de la maladie cryptogamique de l'antracnose (voir partie 1 : 4.2. Maladies cryptogamiques), sur leur verger mené en enherbement haut (sources personnelles, 2018). Cette maladie caractéristique des milieux humides, a pu être favorisée par l'augmentation de l'humidité relative dû à l'importante biomasse végétale de l'enherbement haut. Toutefois, la modalité EH présente les avantages, non négligeables, de réduire les charges et le temps de travail du producteur qui la met en place. En effet, son installation ne nécessite aucun coût supplémentaire et permet de supprimer les charges et le temps de travail initialement prévu pour les travaux de désherbage chimique des vergers de manguier, soit environ 10 heures de main d'œuvre et 645 € pour un hectare de manguier selon Deguine *et al.* (2018). De plus, cette solution répond tout à fait aux engagements d'une démarche agroécologique avec la favorisation de biodiversité au sein de la parcelle.

La modalité de couverture du sol synthétique PS pourrait aussi être améliorée même si elle semble être la modalité la plus efficace pour limiter la population de cécidomyies des fleurs. Les résultats de l'impact des couvertures du sol sur les paramètres édaphiques des vergers de manguiers n'ont pas permis de conclure réellement sur le fait le tapis de sol n'augmentait pas la température ou l'activité biologique du sol. De plus, ce tapis de sol représente un coût supplémentaire pour le producteur qui le met en place ainsi qu'un besoin en main d'œuvre. Par exemple, la mise en place du tapis de sol sur les 1260 m<sup>2</sup> de la parcelle du CPEA (site 1) a nécessité environ une journée pour deux personnes et a coûté environ 990 €. Nous pouvons aussi nous poser la question de l'utilisation mais surtout du recyclage de matières plastiques dans des vergers alors que l'objectif initial de l'étude et de mettre en place des pratiques agroécologiques dans les vergers de manguiers réunionnais.

Même si les modalités de couverture du sol proposées comme solutions alternatives à l'utilisation de produits phytosanitaires EH et PS ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients et qu'il est difficile de trancher sur laquelle de ces deux modalités est la plus appropriée, nous pouvons néanmoins conclure, au vu des résultats de l'étude de 2018, que la modalité témoin ER, correspondant au mode de gestion actuel (ou tout au moins jusqu'à récemment) largement admis dans les vergers de manguiers à La Réunion, ne représente pas un mode de gestion pertinent pour lutter contre les bioagresseurs des manguiers (cécidomyies des fleurs du manguiers et mouches des fruits). Il convient donc de diffuser les résultats de cette étude auprès des producteurs de mangues réunionnais pour qu'ils changent leur mode de conduite de verger. Selon, le type de terrain (zone humide ou non) et les objectifs visés/avantages recherchés (efficacité contre cécidomyies ou réduction des charges du désherbage), les producteurs pourraient être conseillés individuellement pour voir laquelle des deux modalités de couvertures du sol, EH ou PS, correspond le mieux à leur production de mangues. Le cas échéant, ce conseil pourrait être élargi aux adaptations de certaines pratiques culturales à ces couvertures de sol (rouleau pour la récolte des petits fruits tombés au sol ; adaptation du système d'irrigation...).

## **2 Perspectives d'amélioration et propositions**

### **2.1 Amélioration du protocole expérimental actuel**

- **Suivi 1**

Comme nous l'avons vu précédemment, le nombre d'UC étiquetées n'est peut-être pas vraiment approprié pour le suivi de la phénologie du manguiers. Ce qui est vraiment intéressant dans ce suivi c'est d'acquérir des données sur la floraison du manguiers, or entre les phénomènes d'asynchronisme et d'alternance de floraison chez les manguiers il est quasiment impossible, en choisissant aléatoirement 8 UC par arbre avant floraison comme pour le site du CPEA (site 1), de s'assurer que les UC choisies vont fleurir. Pour mieux couvrir la canopée des manguiers, il semblerait que le protocole d'étiquetage des UC mis en place sur le site de Piton Defaud (site 2) soit plus approprié pour obtenir des informations plus précises sur la floraison des manguiers, soit 20 UC par arbre pour 10 arbres suivis. De plus, il est possible d'envisager de déplacer les UC choisies avant la floraison. En effet, le protocole d'étiquetage pourrait prévoir de déplacer les étiquettes si l'UC préalablement choisie n'a pas fleuri.

La prise de données de paramètres édaphiques pourrait également être améliorée. En effet, dû au récent problème d'anthracnose potentiellement lié à la modalité d'enherbement haut, comme évoqué précédemment (voir paragraphe 1.4. Les différentes

modalités de couvertures du sol), la donnée de l'humidité relative des différentes modalités de couvertures du sol pourrait être ajoutée au suivi. Certains capteurs de température comme les Tinytag® étant déjà adapté à la prise de cette mesure, le protocole resterait presque inchangé. Il suffirait de doubler le nombre de Tinytag® par modalité. Les Tinytag® supplémentaires seraient placés à la surface du sol et non plus seulement dans le sol, où la prise d'humidité relative est faussée car non adapté à l'humidité du sol.

- **Suivi 2**

Les pièges d'interception mis en place pour le suivi de la population des cécidomyies des fleurs ne sont pas les pièges les plus adaptés. Plusieurs inconvénients remarqués au cours du suivi montrent que son protocole expérimental pourrait être amélioré dans la perspective d'une éventuelle reconduction de cette étude.

Tout d'abord, les pièges, directement posés sur les couvertures du sol, ont plusieurs fois été écrasés ou renversés sur le site du lycée agricole (site 1) pendant le déroulement du suivi. En effet, leur positionnement gêne le passage des tracteurs notamment pour le traitement fongicide hebdomadaire. Ces pièges endommagés ont entraîné la perte de nombreuses données. D'ailleurs, les données manquantes ont été un frein pour l'analyse statistique, les GLM ayant tendance à ne pas converger lorsqu'il y a trop de données manquantes.

De plus, les pièges n'étant pas fixes, le nombre de ressources florales par piège peut changer à chaque relevé. L'estimation de la disponibilité n'est donc pas fiable et dépend pour beaucoup de l'expérimentateur qui effectue le relevé et qui n'est pas toujours la même personne. En effet, la zone d'interception des pièges est difficile à évaluer par les expérimentateurs. Beaucoup de facteurs comme le vent ou la présence d'autres « éléments végétaux » (autres inflorescences, feuilles, branches) sur la trajectoire ressource florale – piège peuvent faire dévier les larves qui s'éjecteraient de cette même ressource florale. De plus, la méthode de prise en compte des inflorescences situées au-dessus des pièges d'interception comme ressource florale n'est pas uniforme auprès des différents expérimentateurs. Il s'agirait de préciser à partir de quelle stade phénologique reproducteur (voir annexe 3) une inflorescence ne peut plus être identifiée comme ressource florale pour les larves de cécidomyies. En effet, une inflorescence qui a atteint le stade G ne peut plus normalement être hôte de larves de cécidomyies car arrivée à un stade trop mature pour convenir à un site de ponte d'une femelle adulte de cécidomyie.

Il est aussi difficile d'estimer un nombre de larves par inflorescence par le biais de ce type de piège d'interception trop large. Pour pallier cela, le dispositif expérimental pourrait être perfectionné. Par exemple, des pièges d'interception adaptés à une seule et même inflorescence pourraient être mis en place. Le relevé des larves comptées par piège ne pourrait provenir que d'une seule ressource florale. Les données recueillies seraient donc plus pertinentes avec la possibilité d'avoir un nombre moyen de larves par inflorescence qui soit réel et non pas estimé comme cela a été le cas au cours de cette étude. Toutefois, ces pièges peuvent être difficiles à mettre en place car il faut soit pouvoir isoler une inflorescence en coupant toutes les autres inflorescences se trouvant alentours soit trouver un piège suffisamment petit et léger qui puisse isoler l'inflorescence suivie des autres (collerette) sans empêcher ou dissuader les cécidomyies de pondre sur celle-ci. De plus, ce dispositif de pièges d'interception a volontairement été gardé similaire à l'étude 2017 pour pouvoir en comparer les résultats avec l'étude 2018.

- **Modalités de couvertures du sol**

La suite de l'étude 2018 sur les impacts de différentes modalités de couvertures du sol dans des vergers de manguiers réunionnais peut amener à la reconduction des trois suivis à la fois sur les parcelles déjà étudiées en 2017 et en 2018 et à la fois chez de nouveaux producteurs de mangues. Toutefois, cette reconduction peut intégrer une amélioration préalable de ces différentes modalités. Par exemple, pour la modalité EH, l'enherbement pourrait être mieux caractérisé au vu des résultats du suivi 1 (voir partie 3 : 2.2. Environnement). Le nouveau protocole expérimental pourrait proposer une hauteur d'environ 20 cm de l'enherbement pour augmenter le taux de recouvrement et ainsi la biomasse végétale. De plus, sur certains vergers dont l'enherbement spontané est favorable à des espèces ligneuses ou envahissantes, comme pour le site du CPEA, il serait aussi possible d'envisager de semer l'enherbement haut. Par exemple, le kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) ou le chloris (*Chloris gayana*) sont des espèces végétales couramment utilisées dans les systèmes fourragers réunionnais qui permettent une bonne couverture du sol et qui limitent l'érosion des sols (Leleux, 2016).

D'autre part, la modalité du paillage synthétique PS, comme cela avait été proposé dans l'étude 2017 (Brustel, 2018), le tapis de sol pourrait n'être déployé que sur le rang des manguiers pour de réduire le coût et le besoin en main d'œuvre (voir paragraphe 1.4. Les différentes modalités de couvertures du sol) comme cela a été mis en place sur le site 2 (Piton Defaud) en 2018. L'installation du tapis de sol localisé sur le rang pourrait aussi peut-être conduire au développement d'un enherbement haut sur l'inter-rang pour combiner les effets de ces deux modalités de couvertures du sol, soit l'effet de la barrière physique pour PS et la régulation des bioagresseurs pour EH (voir figure 41).

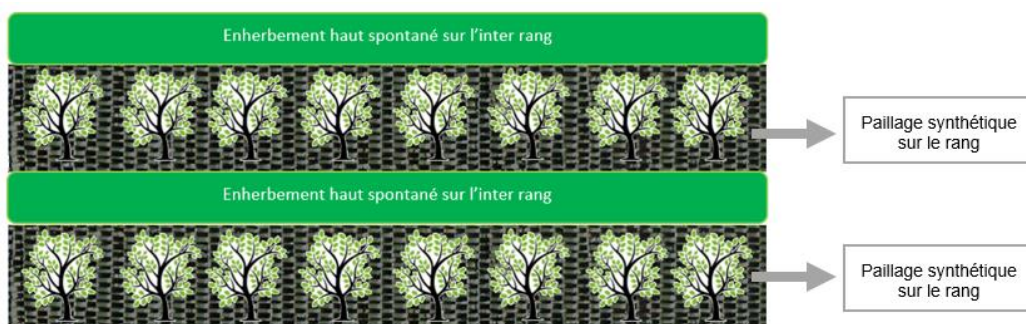


Figure 41 - Déploiement du tapis de sol sur le rang des manguiers et développement d'un enherbement haut sur l'inter-rang (Brustel, 2018)

## **2.2 Propositions générales relatives à la lutte contre les bioagresseurs du manguier**

### **2.2.1 Déployer l'étude auprès des producteurs de mangues pour améliorer l'acquisition de connaissances sur le sujet**

Pour valider les résultats de cette étude obtenus en 2018 et en 2017, il est nécessaire de déployer l'étude, et de manière générale toutes les études concernant le sujet, à plus grande échelle en conditions réelles chez des producteurs de mangues. Ces suivis ont concerné deux producteurs de mangue d'un même bassin de production, le bassin Nord-Ouest. Des essais de couvertures du sol pourraient révéler d'autres freins pour leur mise en place comme par exemple les attaques d'anthracnose fin 2018 chez des producteurs des bas de Saint-Gilles (bassin de production ouest) dont les vergers sont menés avec un enherbement haut spontané. En effet, chez ces producteurs, il faudrait vérifier si c'est l'augmentation de l'humidité relative due au développement de l'enherbement haut qui a favorisé l'apparition de cette maladie fongique.

L'étude pourrait être étendue auprès de producteurs déjà sensibles à ces pratiques comme les producteurs de mangues qui ont fait partie du projet Biophyto ou des producteurs de mangues issus du GAB (Groupement des Agriculteurs Biologiques), pour enrichir ou perfectionner les solutions déjà mises en place. Mais l'étude pourrait être surtout proposée auprès des producteurs de mangues, au contraire, peu habitués aux méthodes de lutte préventives ou alternatives à l'usage de produits phytosanitaires et dont les résultats des suivis pourraient les convaincre de changer de pratiques culturales.

Ce déploiement à grande échelle auprès de tous types de producteurs pourra aussi fortement favoriser la diffusion et l'appropriation de ces solutions alternatives à la lutte chimique pour contrôler les populations de bioagresseurs. Les producteurs satisfaits et convaincus de l'efficacité de ces méthodes sont les mieux placés pour en faire la promotion auprès de leurs collègues.

### **2.2.2 Développer les collaborations et les projets autour de la gestion des bioagresseurs du manguier**

Le CIRAD mène aujourd'hui de nombreux projets et collaborations avec d'autres institutions (Chambre d'Agriculture, DAAF), des centres techniques (Armeflhor, FDGDON), des agriculteurs ainsi qu'auprès de centres de formation agricole comme l'EPLEFPA de Saint-Paul. En lien avec cette étude, le CIRAD pourrait développer de nouveaux projets, avec ces acteurs, centrés sur la gestion des bioagresseurs du manguier comme par exemple autour de la mouche des fruits orientale *B. dorsalis*, espèce arrivée en 2017 sur l'île de La Réunion.

De plus, l'étude peut amener à d'autres pistes de réflexion comme celle d'une gestion des bioagresseurs du manguier plus globale. En effet, il existe des solutions pour limiter les populations de ravageurs possédant une partie de leur cycle de vie commune. C'est le cas, par exemple, pour les cécidomyies des fleurs du manguier et les différentes espèces de mouches des fruits dont une partie du cycle de vie, ici la pupaison, se passe au sol. L'une de ces solutions est l'introduction d'animaux dans le verger qui participerait à la réduction des populations de ces ravageurs par le biais de leur alimentation, dont le site du CPEA de Saint-Paul commence actuellement une expérimentation sur ce sujet. En effet, depuis 2018, un poulailler a été installé sur une des parcelles de mangue du CPEA. L'hypothèse initiale de ce projet est que les poulets qui y seront élevés peuvent manger les larves de bioagresseurs du manguier et en particulier celles des mouches des fruits dans les mangues piquées au sol, constituant ainsi un moyen efficace de réduction des



ré-infestations. Cela permettrait de limiter les sources d'émergence de ces bioagresseurs en plus de générer pour le producteur un nouveau revenu relatif à la vente des poulets. Cela permettrait aussi d'autres bénéfices pour le verger de mangue en lui-même, comme celui d'une fertilisation gratuite, ou d'un contrôle biologique des adventices comme cela a été montré dans des vergers de goyaviers en Martinique (Lavigne *et al.*, 2012). Il faudra, toutefois veiller à ce que les apports en azote dues aux déjections de la volaille ne favorisent pas la sensibilité des feuilles de manguier à d'autres bioagresseurs comme la cochenille.

Ce projet mènerait à la création de nouveaux systèmes d'exploitation agroforestiers de type pré-vergers qui est largement pratiqué dans le monde comme en Afrique subsaharienne ou aux Pays-Bas (Dembele, 2014 ; Bestman, 2014). Ce type de système pourrait réellement intéresser d'autres producteurs de mangues sur l'île en diversifiant leur production. L'élevage de volailles représente la part la plus importante de la production animale de La Réunion, soit 51% des tonnages (Agreste, 2018) mais qui représente aussi la part la plus importante des importations (51% selon Agreste, 2018). Il existe donc un marché pour cette production. En plus, des effets apportés à la production principale, les manguiers (réduction des bioagresseurs, fertilisation), ce système permettrait une gestion simplifiée de l'élevage de volailles avec une protection physique des volailles par les manguiers (ombre, prédateurs aériens) et des charges d'alimentation réduite dues au fait que les animaux ont une complémentation alimentaire avec ce qu'ils trouvent au sol du verger (Balaguer, 2013 ; Balaya, 2019). Toutefois ce type de système n'est pas adapté à une conduite du verger en paillage synthétique mais est fortement favorisé par le développement d'un enherbement haut. Le développement d'une couverture végétale permettrait effectivement d'enrichir la disponibilité en ressources alimentaires pour la volaille en augmentant le nombre d'arthropodes.

Pour promouvoir la gestion des bioagresseurs par paillage synthétique, le CIRAD pourrait populariser auprès des producteurs de mangues de l'île l'utilisation de l'augmentorium associée à la récolte prophylactique. Comme nous l'avons vu précédemment, la modalité du paillage synthétique étant le type de couverture du sol la plus adaptée pour ce mode de gestion des populations des mouches des fruits, il conviendrait d'en mettre en avant l'efficacité.

### **2.2.3 Communiquer et conseiller sur les suivis pour l'appropriation d'innovations agroécologiques par les producteurs**

De manière générale, cette étude pourrait permettre de communiquer et de conseiller les producteurs de mangues réunionnais sur l'intérêt et la diversité des solutions agroécologiques qui peuvent être introduites dans la culture des manguiers. Toutes les pratiques ne sont pas forcément pertinentes ou adaptables chez tous les producteurs mais leurs atouts et inconvénients étant différents, il est possible d'y trouver un intérêt pour l'une ou l'autre des différentes exploitations de l'île. Par exemple, la modalité de l'enherbement haut s'adapterait plus chez des producteurs qui souhaitent réduire au maximum leurs charges mais qui possèdent des manguiers (ou qui les cultivent sur une zone) qui ne sont pas sensibles à l'anthracnose. En contrepartie, la modalité du paillage synthétique conviendrait plus à des producteurs qui souhaitent conserver un accès facile à leur parcelle ou qui veulent mettre un augmentorium.



## Conclusion

Pour la production fruitière importante qu'est la mangue pour l'île de La Réunion, la question de la gestion de ses bioagresseurs est primordiale et fait partie des missions menées par le CIRAD. L'enjeu de cette étude est de pouvoir proposer une gestion durable des vergers de manguiers par le biais de la mise en place de méthodes de lutte limitant les populations des ravageurs de la floraison et de la fructification des manguiers et limitant l'utilisation de produits phytosanitaires tout en permettant une production de mangues égale en quantité et en qualité à ses producteurs. L'étude 2018 a ainsi permis de valider l'intérêt de l'installation de différentes couvertures du sol (paillage synthétique et enherbement haut) pour réduire l'impact des principaux ravageurs du manguiers (cécidomyies des fleurs du manguiers et mouches des fruits) en rapport avec des résultats déjà pré établis par une étude menée en 2017. En effet, les résultats obtenus en 2018 ont permis de confirmer que ces modalités de couverture du sol permettaient de réduire le niveau d'infestation des cécidomyies et des mouches des fruits sans affecter négativement la production des manguiers.

Toutefois, pour une meilleure confirmation de ces constats l'étude pourrait être reconduite après une amélioration du protocole et un déploiement auprès de plus de producteurs et en diversifiant les zones de production. Les informations seraient ainsi plus enrichies et initieraient la diffusion et l'appropriation de ces méthodes pour les différents producteurs de mangues de l'île.

L'étude montre aussi que ces modalités de couvertures du sol sont parfaitement adaptées à être conduite en association avec d'autres méthodes de lutte préventives pour une gestion plus durable et plus complète des bioagresseurs des manguiers présents à La Réunion. En effet, l'enherbement haut pourrait être mis en place dans des systèmes de production de mangues agroforestiers associés à des élevages de volailles tandis que le paillage synthétique (ou tapis de sol) pourrait être complété par une gestion des mouches des fruits par récolte prophylactique associé à un augmentorium. Ces propositions différentes conviendraient aux différents systèmes de production de mangues existants à La Réunion et pourraient se concrétiser ces prochaines années.



## Références bibliographiques

- Agreste. 2013. *Bilan des mesures agroenvironnementales 2008-2012 à La Réunion*. Saint-Denis : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt, (Analyses).
- Agreste. 2014. *La production fruitière à La Réunion*. Saint-Denis : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt, (Agreste DAAF La Réunion).
- Agreste. 2018. *Mémento 2018 - Agricole et rural*. Saint-Denis : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt, (Mémento).
- Amouroux, P. 2013. [Thèse]. *Bio-écologie et dynamique des populations de cécidomyie des fleurs (Procontarinia mangiferae), un ravageur inféodé au manguier (Mangifera indica), en vue de développer une lutte intégrée*. Biodiversité et Ecologie. Saint-Pierre : Université de La Réunion - Faculté des Sciences et Technologies, 187 p.
- Atiama, M. 2016. [Thèse]. *Bioécologie et diversité génétique d'Orthops palus (Heteroptera, Miridae), ravageur du manguier à La Réunion*. Saint-Pierre : Université de La Réunion - Faculté des Sciences et Technologies, 362 p.
- Balaguer, F. 2013. *L'agroforesterie pour aménager les parcours de volaille* [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.agroforesterie.fr/agroforesterie-documentation.php> > (Consulté le 14 avril 2019).
- Balaya, J. 2019. *Agroforesterie* [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.fao.org/3/i1861f/i1861f08.pdf> > (Consulté le 14 avril 2019).
- Bestman, M. 2014. *Initial Stakeholder Meeting Report Agroforestry for poultry systems in the Netherlands* [En ligne]. AGFORWARD - Agroforestry for Europe, Disponible sur : < <https://www.agforward.eu/index.php/en/agroforestry-for-poultry-systems-in-the-netherlands.html> > (Consulté le 14 avril 2019).
- Brustel, L. 2018. *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 frotraison et de la fructification : Les cas de la cécidomyie des fleurs (Procontarinia mangiferae) et des mouches des fruits (Diptera : Tephritidae)*. Ecole d'Ingénieurs de Purpan, 117 p.
- Dambreville, A. 2012. [Thèse]. *Croissance et développement du manguier (Mangifera indica L.) in natura : approche expérimentale et modélisation de l'influence d'un facteur exogène, la température, et de facteurs endogènes architecturaux*. Biologie végétale. Montpellier : Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 177 p.
- Deguine, J.-P., J.-N. Aubertot, J.-C. De Cambiaire, C. Cresson, M. Fares, G. Lambert, M. Marquier, T. Nurbel, P. Laurent, L. Vanhuffel, et D. Vincenot. 2018. « Développement de systèmes agro-écologiques horticoles à la Réunion ». Dans : *La transition agro-écologique des agricultures du sud*. Versailles : p. 127-141.
- Deguine, J.-P., X. Augusseau, G. Insa, M. Jolet, K. Le Roux, M. Marquier, P. Rousse, E. Roux, Y. Soupapoullé, et W. Suzanne. 2013. « Gestion agroécologique des Mouches des légumes à La Réunion ». *Innovations Agronomiques*. Vol. 28, p. 59-74.

- Deguine, J.-P., M. Duval, S. Quilici, M.-L. Moutoussamy, C. Ajaguin-Soleyen, et P. Laurent. 2008. « The Augmentorium: a technique of sanitation to help controlling Tephritid Fruit Flies in Reunion Island ». Dans : *Diversifying Crop Protection: ENDURE International Conference*.
- Deguine, J.-P., C. Gloanec, P. Laurent, A. Ratnadass, et J.-N. Aubertot. 2016. *Protection agroécologique des cultures*. Versailles : Quae, 287 p.
- Deguine, J.-P., M. Jacquot, A. Allibert, F. Chiroleu, R. Graindorge, P. Laurent, B. Albon, M. Marquier, L. Vanhuffel, D. Vincenot, et J.-N. Aubertot. 2018. « Agroecological Protection of Mango Orchards in Réunion ». *Sustainable agriculture reviews*. n°28, p. 249-307.
- Delvare, G., et H.-P. Aberlenc. 1989. *Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale - Clés pour la reconnaissance des familles*. Montpellier : PRIFAS - CIRAD Département GERDAT, 302 p.
- Dembele, A. 2014. *Etude socio-économique des systèmes agroforestiers (SAF) à manguier et à anacardier dans le terroir de Kotoudéni (province du Kénégoudou, Burkina Faso)*. Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, 79 p.
- Eddi, M. 2019. « Le Cirad, en bref ». Disponible sur : < <https://www.cirad.fr/qui-sommes-nous/le-cirad-en-bref> > (Consulté le 8 février 2019).
- Eddi. 2018. *Les faits marquants 2017 - Rapport d'activité* [En ligne]. Paris : CIRAD, 56 p. Disponible sur : < [https://collaboratif.cirad.fr/alfresco/s/d/workspace/SpacesStore/90fe1cdc-daa6-49af-8c23-fae17eafabd4/RA2017\\_FR.pdf](https://collaboratif.cirad.fr/alfresco/s/d/workspace/SpacesStore/90fe1cdc-daa6-49af-8c23-fae17eafabd4/RA2017_FR.pdf) > (Consulté le 11 décembre 2018).
- FAO. 2019. « FAOSTAT ». Disponible sur : < <http://www.fao.org/faostat/fr/#home> > (Consulté le 11 mars 2019).
- Fevre, Y. 2005. [Thèse]. *Mécanismes et vitesses d'érosion à l'échelle géologique sur une île volcanique jeune à relief élevé - La Réunion (Océan Indien)*. Université de La Réunion - Faculté des Sciences et Technologies, 236 p.
- GEIR. 2019. « Espèces invasives à La Réunion ». Dans : *Groupe Espèces Invasives de La Réunion* [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.especiesinvasives.re/especies-invasives/especies-invasives-a-la-reunion/> > (Consulté le 14 novembre 2018).
- Géoportail. 2018. « Photos aériennes ». Dans : *Géoportail* [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.geoportail.gouv.fr/carte> > (Consulté le 3 décembre 2018).
- Graindorge, R. 2015a. *Efficacité du bâchage du sol au niveau du rang contre la cécidomyie des fleurs du manguier*. Saint-Paul : ARMEFLHOR,
- Graindorge. 2015b. *Efficacité du bâchage du sol au niveau du rang contre la cécidomyie des fleurs du manguier*. Saint-Gilles : ARMEFLHOR,
- INSEE. 2016. *Bilan économique 2015 - La Réunion: la croissance se maintient - Insee Conjoncture Réunion*. Saint-Denis : INSEE, (Bilan économique).
- Kratz, W. 1998. « The Bait-Lamina Test ». *ESPR - Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 5, n°2, p. 94-96.

- Lavergne, C. 2016. *Méthode de hiérarchisation des espèces végétales exotiques envahissantes et potentiellement envahissantes de Mayotte - Note méthodologique pour l'élaboration d'une liste hiérarchisée d'espèces exotiques envahissantes en vue de leur gestion*. Saint-Leu : Conservatoire Botanique National et Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement de Mascarin, 56 p.(Note non publiée).
- Lavigne, A., E. Dumbardon-Martial, et C. Lavigne. 2012. « Les volailles pour un contrôle biologique des adventices dans les vergers ». *Fruits*. Vol. 67, n°5, p. 341-351.
- Leleux, M. 2016. *Etude prospective sur la ressource fourragère*. Nîmes : BRL ingénierie, (Rapport définitif de l'étude).
- Lénat, J.-F. 2016. « Construction of La Réunion ». Dans : Bachelery P, Lenat J-F, Di Muro A, Michon L (éd.). *Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, p. 31-44.
- Litz, R. E., éd. 2009. *The mango: botany, production and uses*. 2nd ed. Wallingford, UK ; Cambridge, MA : CABI, 680 p.
- Mau, R., et J. Matin. 2007. « *Bactrocera dorsalis* (Hendel) ». Dans : *EXTension ENTOMology & UH-CTAHR Integrated Pest Management Program* [En ligne]. Disponible sur : < [http://www.extento.hawaii.edu/Kbase/Crop/Type/bactro\\_d.htm](http://www.extento.hawaii.edu/Kbase/Crop/Type/bactro_d.htm) > (Consulté le 25 mars 2019).
- Météo France. 2019a. « Climat La Réunion - Descriptions, records de pluie, record de vent, ... » Disponible sur : < <http://www.meteofrance.re/climat/description-du-climat> > (Consulté le 16 mars 2019).
- Météo France. 2019b. « Données climatiques de la station de Le Port ». Dans : *Météo France La Réunion* [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.meteofrance.re/climat/reunion/le-port/97407520/relevés> > (Consulté le 11 mars 2019).
- Ministère des Outre-Mer. 2016. « La Réunion - Économie ». Dans : *Service d'Information du Gouvernement* [En ligne]. Disponible sur : < <http://www.outre-mer.gouv.fr/la-reunion-economie> > (Consulté le 16 mars 2019).
- Nordey, T. 2014. [Thèse]. *Analyse expérimentale et modélisation de l'hétérogénéité de la qualité et de la maturité des mangues*. Sciences agricoles. Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, 222 p.
- Olano, C., R. Schnell, W. Quintanilla, et R. Campbell. 2005. « Pedigree analysis of Florida mango cultivars ». *Proc. Fla. State Hort. Soc.* Vol. 118, p. 192-197.
- Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. 2001. « Elimination de la mouche orientale des fruits à Maurice ». Dans : *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*. Rome : FAO,
- Persello, S. 2015. *Modélisation de l'élaboration du rendement de la mangue : analyse de la fructification et couplage de sous-modèles*. Gradignan : Bordeaux Sciences Agro,
- Quilici, S., D. Vincenot, A. Frank, P. Ohm, S. Kreiter, G. Delvare, C. Kassebeer, et J.-C. Ledouc. 2003. *Les auxiliaires des cultures fruitières à l'île de La Réunion*. Saint-Denis : CIRAD - Chambre d'Agriculture de La Réunion, 168 p.

- Ratnadass, A., I. Grechi, R. Graindorge, A. Caillat, A. L. Préterre, et F. Normand. 2017. « Effects of some cultural practices on mango inflorescence and fruit pest infestation and damage in Reunion island: recent progress, on-going studies and future steps ». *Acta Horticulturae (soumis)*. p. 8.
- Stibick, J. 2004. *Natural Enemies of True Fruit Flies (Tephritidae)*. Riverdale : United States Department of Agriculture,
- Vanniere, H., J.-Y. Rey, J.-F. Vayssieres, et H. Maraite. 2013. *PIP - Itinéraire technique mangue (mangifera indica)*. Bruxelles : Programme PIP - COLEACP, 88 p.
- Vincenot, D., et F. Normand. 2009. *Guide de production intégrée de mangues à La Réunion*. Saint-Pierre : Chambre d'Agriculture de La Réunion, 126 p.



## Table des figures

Figure 1 - La présence du CIRAD dans le monde (Eddi, 2018).....	6
Figure 2 - La lutte biologique par conservation (adapté de Deguine et al., 2016).....	11
Figure 3 - Carte du relief de l'île de La Réunion (Actualitix, 2019).....	12
Figure 4 - Carte des normales saisonnières des principales communes de La Réunion (Habiter La Réunion, 2018).....	13
Figure 5 - OTEX de la SAU réunionnaise (adapté d'Agreste, 2018).....	15
Figure 6 - Evolution de la production et de la superficie récoltée de mangues sur la période de 1997 à 2017 (FAO, 2019).....	15
Figure 7 - Niveau de production de mangues par pays (FAO, 2019).....	16
Figure 8 - Présentation d'un manguiers Cogshall (A) avec ses feuilles (B), ses inflorescences (C) et ses fruits (D).....	17
Figure 9 - Cycle de croissance d'un manguiers à La Réunion (Persello, 2015).....	18
Figure 10 - Unités de croissance (UC) dont une en position apicale et deux en positions latérales (© F. Normand - Cirad).....	18
Figure 11 - Les trois zones de production de mangues à La Réunion (Vincenot et al., 2009).....	21
Figure 12 - Adulte de <i>P. mangiferae</i> (A) et ses dégâts sur une inflorescences de manguiers (B) (© A. Franck - Cirad).....	23
Figure 13 - Cycle de vie de la cécidomyie des fleurs à La Réunion (Vincenot et al., 2009).....	24
Figure 14 - Adulte de <i>B. dorsalis</i> sur une mangue Cogshall.....	26
Figure 15 - Augmentorium du CIRAD (Deguine et al., 2008).....	27
Figure 16 - Schéma méthodologique de l'étude.....	31
Figure 17 - Enherbement haut sur le site de Ption Defaud.....	35
Figure 18 - Tapis de sol mis en place sur le site du CPEA.....	36
Figure 19 - Disposition des modalités sur le site du CPEA (Géoportail, 2018).....	37
Figure 20 - Disposition des 3 modalités de couvertures du sol.....	38
Figure 21 - Disposition des modalités sur le site de Piton Defaud (Géoportail, 2018).....	39
Figure 22 - Coordonnées des manguiers étiquetés pour le suivi de la phénologie par modalité de couverture du sol.....	41
Figure 23 - Bait lamina tests (1 = consommé ; 0,5 = en partie consommé ; 0 = non consommé) (Kratz, 1998).....	42
Figure 24 - Disposition des capteurs de températures et des Bait lamina tests.....	43
Figure 25 - Quadrat posé sur la modalité ER (A) et échantillons de flore après séchage (B).....	43
Figure 26 - Deux pièges d'interception en bidon de 5 L coupé en deux.....	44
Figure 27 - Disposition des manguiers sélectionnés pour le suivi population des cécidomyies.....	45
Figure 28 - Mangues prélevées sur les différentes modalités (A) et mangues ensachées en laboratoire (B).....	46
Figure 29 - Diagramme ombrothermique de Saint-Paul sur la période juin-décembre 2018 (Météo France, 2019b).....	50
Figure 30 - Dynamique de floraison pour chaque site en fonction de la semaine.....	51

Figure 31 - Taux de floraison en fonction des couvertures du sol pour les deux sites d'expérimentation .....	52
Figure 32 - Taux de fructification en fonction des couvertures du sol pour les deux sites d'expérimentation .....	53
Figure 33 - Taux de consommation des Bait lamina tests sur les 3 relevés en fonction de la couverture du sol .....	54
Figure 34 - Température moyenne des 3 capteurs de température par modalités durant les 3 relevés .....	55
Figure 35 - Taux de recouvrement des quatre quadrats par modalité pour le 12/11 (A) et leur poids en matière en sèche (g/0,25m <sup>2</sup> ) (B) .....	57
Figure 36 - Nombre d'arthropodes (A) et de taxons (B) par quadrat de 0,25 m <sup>2</sup> recensés au cours des 2 relevés en fonction des 2 modalités enherbées .....	58
Figure 37 - Moyenne des larves piégées par modalité au cours des sept semaines de suivi sur le site du CPEA.....	59
Figure 38 - Moyenne des larves piégées par modalités au cours des 10 relevés du site de Piton Defaud.....	60
Figure 39 - Nombre de larves de cécidomyies piégées par modalité de couvertures du sol sur les années 2017 et 2018.....	61
Figure 40 - Nombre de pupes et de larves de <i>B. dorsalis</i> par kg de mangues prélevées sur le site 1 au cours des 3 relevés en fonction de la couverture du sol.....	62
Figure 41 - Déploiement du tapis de sol sur le rang des manguiers et développement d'un enherbement haut sur l'inter-rang (Brustel, 2018) .....	70

## Table des tableaux

Tableau 1 - Calendrier des pratiques culturelles annuelles du manguiier à La Réunion ....	20
Tableau 2 - Tableau récapitulatif des principaux bioagresseurs du manguiier à La Réunion (adapté de Vincenot et al., 2009) .....	29
Tableau 3 - Itinéraire cultural 2018 du site du CPEA.....	37
Tableau 4 - Itinéraire cultural 2018 du site de Piton Defaud.....	38
Tableau 5 - Taux de floraison en fonction des couvertures du sol pour les deux sites d'expérimentation .....	52
Tableau 6 - Taux de fructification en fonction des couvertures du sol pour les deux sites d'expérimentation .....	53
Tableau 7 - Taux de consommation des Bait lamina tests sur les 3 relevés en fonction de la couverture du sol .....	54
Tableau 8 - Température moyenne des 3 capteurs de température par modalités durant les 3 relevés .....	55
Tableau 9 - Taux de recouvrement des 4 quadrats par modalité pour le 12/11 et leur poids en matière en sèche (g/0,25m <sup>2</sup> ) .....	56
Tableau 10 - Nombre d'arthropodes et de taxons par quadrat de 0,25 m <sup>2</sup> recensés au cours des 2 relevés en fonction des 2 modalités enherbées .....	57



## Table des matières

SOMMAIRE .....	VII
Sigles et abréviations .....	IX
Introduction.....	2
1 Le CIRAD.....	6
1.1 Organisation.....	6
1.2 Missions .....	7
1.3 L'UR HortSys .....	8
1.4 Cadre et contexte scientifiques de l'étude à La Réunion .....	8
2 L'île de La Réunion.....	12
2.1 Contexte géographique.....	12
2.2 Contexte pédoclimatique .....	13
2.3 Contexte économique .....	14
3 La culture de la mangue .....	15
3.1 Importance mondiale .....	16
3.2 Culture du manguier à La Réunion.....	17
3.2.1 Biologie .....	17
3.2.2 Physiologie .....	17
3.2.3 Principales variétés cultivées .....	19
3.2.4 Pratiques culturales du manguier .....	19
3.2.5 La production de mangues .....	20
4 Les principaux bioagresseurs du manguier à La Réunion .....	21
4.1 Insectes.....	22
4.1.1 Cécidomyies .....	22
4.1.2 Punaises .....	25
4.1.3 Mouches des fruits.....	25
4.2 Maladies cryptogamiques .....	28
4.2.1 Oïdium .....	28
4.2.2 Anthracnose.....	28
4.3 Maladies bactériennes .....	28
5 La problématique de l'étude .....	30
1 Contexte général des suivis et dispositifs expérimentaux.....	34
1.1 Le matériel végétal.....	34
1.2 Les couvertures du sol.....	34
1.2.1 L'enherbement ras ER.....	34
1.2.2 L'enherbement haut EH.....	34
1.2.3 Le paillage synthétique PS .....	35
1.3 Les sites d'expérimentations.....	36
1.3.1 Site 1 : CPEA.....	36
1.3.2 Site 2 : Piton Defaud.....	38
1.4 Outils d'analyses statistiques.....	39
2 Suivi 1 : dynamique de la phénologie des manguiers .....	40
2.1 L'étiquetage des UC .....	40
2.2 Les paramètres édaphiques .....	41
2.2.1 Les Bait lamina tests.....	41
2.2.2 Les capteurs de température.....	42
2.3 Caractérisation de la flore et de l'entomofaune sur les modalités d'enherbement (ER et EH) .....	43
3 Suivi 2 : dynamique des populations de cécidomyies .....	44
4 Suivi 3 : infestation précoce des jeunes fruits .....	45
1 Climat global des suivis .....	50
2 Suivi 1 : dynamique de la phénologie des manguiers .....	51
2.1 Phénologie .....	51
2.1.1 Dynamique de floraison .....	51
2.1.2 Taux de floraison .....	51
2.1.3 Taux de fructification.....	52

2.2	Environnement .....	53
2.2.1	Analyse de l'activité biologique du sol .....	54
2.2.2	Analyse des températures du sol .....	55
2.2.3	Analyse de la caractérisation de la flore et de l'entomofaune sur les modalités d'enherbement (ER et EH) .....	56
3	Suivi 2 : dynamique des populations de cécidomyies .....	59
4	Suivi 3 : infestation précoce des jeunes fruits .....	62
1	Discussions et limites de l'étude .....	66
1.1	L'effet des couvertures du sol sur la phénologie et l'environnement du manguier.....	66
1.2	L'effet des couvertures du sol sur la population de cécidomyies .....	66
1.3	L'effet des couvertures du sol sur les populations de mouches des fruits .....	67
1.4	Limites des différentes modalités de couvertures du sol .....	67
2	Perspectives d'amélioration et propositions .....	68
2.1	Amélioration du protocole expérimental .....	68
2.2	Propositions générales relatives à la lutte contre les bioagresseurs du manguier.....	71
2.2.1	Déployer l'étude auprès des producteurs de mangues pour améliorer l'acquisition de connaissances sur le sujet.....	71
2.2.2	Développer les collaborations et les projets autour de la gestion des bioagresseurs du manguier .....	71
2.2.3	Communiquer et conseiller sur les suivis pour l'appropriation d'innovations agroécologiques par les producteurs .....	72
	Conclusion.....	74
	Références bibliographiques.....	76
	Table des figures .....	80
	Table des tableaux .....	82
	Table des matières .....	84
	Table des annexes .....	94

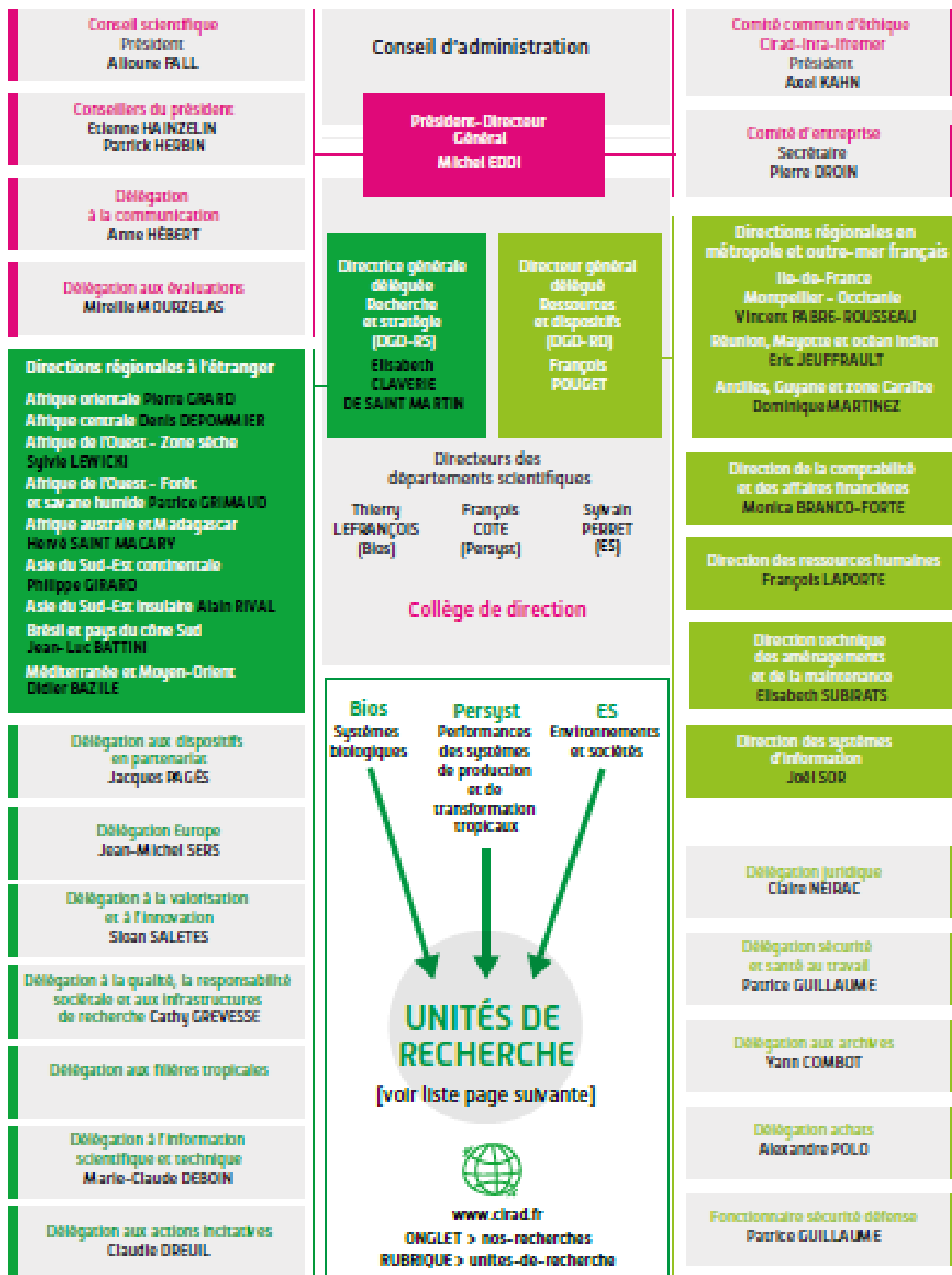
## **ANNEXES**





# Annexe 1 - Organigramme du CIRAD

## L'ORGANISATION EN SEPTEMBRE 2018



## Annexe 2 - Stades de développement végétatifs adaptés par F. Normand à partir des travaux de Aubert & Lossois (1972) (Photos : F. Normand)

Stade A : repos végétatif, bourgeons végétatifs non gonflés



**Stade B1**  
Bourgeon gonflé sans  
ouverture des écailles



**Stade B2**  
Début d'ouverture du bourgeon :  
Feuilles serrées



**Stade C**  
Ouverture du bourgeon :  
Feuilles écartées,  
Axe de l'UC non visible



**Stade D**  
Déploiement des feuilles :  
Axe de l'UC visible, début  
d'élongation de l'unité de  
croissance, pétioles  
orientés à environ 45°,  
limbes pliés par rapport à la  
nervure centrale



**Stade E**  
Elongation de l'unité de  
croissance :  
Pétioles orientés à  
environ 90°, TOUS les  
limbes à demi ouverts par  
rapport à la nervure  
centrale et commençant à  
retomber



**Stade F**  
Fin de l'élongation de  
l'unité de croissance :  
Pétioles orientés à  
environ 135°, limbes  
ouverts par rapport à la  
nervure centrale et  
retombant



**Stade G**  
Elongation de l'UC  
terminée :  
Durcissement des  
feuilles, décoloration et  
remontée des feuilles,  
pétioles orientés à environ  
90°



**Stade H**  
Unité de croissance adulte :  
Pétioles orientés à environ  
45-60°, TOUS les limbes  
verts foncés, limbes bien durs  
et nervures bien marquées

## Annexe 3 - Stades de développement reproducteurs adaptés par F. Normand à partir des travaux de Aubert & Lossois (1972) (Photos : F. Normand)

Stade A : repos végétatif, bourgeons végétatifs non gonflés



**Stade B1**  
Bourgeon gonflé :  
Forme d'ogive, vert clair,  
écailles protectrices non  
ouvertes



**Stade B2**  
Début d'ouverture du  
bourgeon :  
Les écailles s'écartent au  
sommet du bourgeon,  
apparition de l'inflorescence  
(bractées)



**Stade C**  
Ouverture du bourgeon :  
Les écailles sont  
complètement écartées et  
chutent, bractées de  
l'inflorescence bien  
visibles



**Stade D1**  
Début de l'élongation de  
l'inflorescence :  
Bractées toutes  
présentes et axes  
secondaires parallèles à  
l'axe principal de  
l'inflorescence



**Stade D2**  
Début de l'élongation de  
l'inflorescence :  
Les axes secondaires  
s'écartent de l'axe  
principal à partir de la  
base de l'inflorescence,  
chute des bractées



**Stade E**  
Elongation de  
l'inflorescence :  
Axes secondaires bien  
visibles et tous écartés de  
l'axe principal, pas de  
fleur ouverte



**Stade F**  
Floraison :  
Présence de fleurs  
ouvertes et de boutons  
floraux sur  
l'inflorescence :  
De la 1<sup>ère</sup> fleur qui s'ouvre  
à la dernière fleur encore  
ouverte



**Stade G**  
Fin de floraison :  
Plus de fleurs ouvertes,  
nombreuses fleurs sèches  
et présence de petits fruits  
verts



## Annexe 5 - Fiche de suivi de la population de la cécidomyie sous Excel

Site : CPEA St Paul

Date :

ER	#Arbre	Piège	No. Inflo /Piège	No. Larves	Observations	TS	#Arbre	Piège	No. Inflo /Piège	No. Larves	Observations	EH	#Arbre	Piège	No. Inflo /Piège	No. Larves	Observations	
9		A				8		A				12		A				
		B						B										
11		A				10		A				22		A				
		B						B										
13		A				11		A				23		A				
		B						B										
16		A				15		A				24		A				
		B						B										
20		A				22		A				34		A				
		B						B										
23		A				23		A				35		A				
		B						B										
24		A				24		A				38		A				
		B						B										
25		A				30		A				41		A				
		B						B										
34		A				33		A				45		A				
		B						B										
39		A				36		A				47		A				
		B						B										



## **Table des annexes**

<b>Annexe 1 - Organigramme du CIRAD .....</b>	<b>88</b>
<b>Annexe 2 - Stades de développement végétatifs adaptés par F. Normand à partir des travaux de Aubert &amp; Lossois (1972) (Photos : F. Normand) .....</b>	<b>89</b>
<b>Annexe 3 - Stades de développement reproducteurs adaptés par F. Normand à partir des travaux de Aubert &amp; Lossois (1972) (Photos : F. Normand) .....</b>	<b>90</b>
<b>Annexe 4 - Fiche de suivi de la phénologie des manguiers sous Excel .....</b>	<b>91</b>
<b>Annexe 5 - Fiche de suivi de la population de la cécidomyie sous Excel.....</b>	<b>92</b>
<b>Annexe 6 - Fiche de suivi de la récolte prophylactique sous Excel .....</b>	<b>93</b>