



Mémoire de fin d'études

EVALUATION DE L'EFFET DE PRATIQUES CULTURALES
(PAILLAGE / ENHERBEMENT DU SOL / RECOLTE
PROPHYLACTIQUE PRECOCE) EN VERGERS DE
MANGUIER (*Mangifera indica L.*) SUR LA REGULATION DE
BIOAGRESSEURS DE LA FLORAISON ET DE LA
FRUCTIFICATION :

LES CAS DE LA CÉCIDOMYIE DES FLEURS (*Procontarinia
mangiferae*) ET DES MOUCHES DES FRUITS (*Diptera :
Tephritidae*)

Lucie BRUSTEL

Résumé

La mangue est un fruit très consommé dans les pays tropicaux et de plus en plus présent sur les marchés européens. A l'île de La Réunion la production de mangue est confrontée à de fortes pressions parasitaires, dont les bioagresseurs de la floraison (cécidomyie des fleurs : *Procontarinia mangiferae*) et de la fructification (quatre espèces de mouches des fruits : Diptères Tephritidés). La mangue, dont l'importation est interdite pour des raisons sanitaires, est la culture fruitière pérenne la plus rentable de l'île. Récemment la conduite des vergers de manguiers s'appuyant sur des pratiques agroécologiques a été mise en exergue comme étant un levier possible de gestion de ces ravageurs sans avoir recours à l'application de pesticides.

L'étude 2017 visait à comprendre si le type de couverture du sol des vergers (paillage synthétique et enherbements haut et ras) était un levier pertinent pour la régulation de la cécidomyie des fleurs, sans être un frein à la mise en place d'une récolte prophylactique (sur mangues avortées tombées avant la récolte) visant à gérer les mouches des fruits. Des expérimentations ont été réalisées dans deux vergers de la variété sensible Cogshall à l'Ouest de l'île de La Réunion (zone de forte incidence de cécidomyie des fleurs et mouches des fruits). Les résultats ont confirmé que la pratique novatrice du paillage synthétique pouvait être un levier intéressant pour la gestion de la cécidomyie tout comme l'enherbement haut spontané sans impacter négativement l'environnement du verger. Les résultats portant sur la récolte prophylactique des fruits avortés plaident aussi pour l'intérêt du paillage synthétique.

Ces résultats encourageants justifient l'importance d'une reconduite d'essais afin d'avoir plus de recul sur ces résultats. Une enquête a également été faite auprès d'acteurs de la filière mangue, pour échanger sur le contexte et les résultats de l'étude 2017 afin d'anticiper de futures expérimentations chez des producteurs.

Mots-clés : paillage synthétique, gestion de bioagresseurs, Cogshall, communauté végétale

Abstract

Mango is a highly consumed fruit in tropical countries, which becomes more and more present on European markets. In Reunion Island, mango production faces strong parasitic pressures, particularly from pests of the blooming and fruiting stages (respectively mango blossom gall midge: *Procontarinia mangiferae* and four species of Tephritid fruit flies). Mango, whose import is banned for sanitary reasons, is the island most profitable perennial fruit crop. Recently, the management of mango orchards based on agroecological practices was highlighted as a potential lever for non-chemical management of these pests.

The 2017 study aimed at better understanding whether the type of orchard ground cover (either synthetic mulching, or high or short resident weed cover) was a relevant lever for the regulation of the blossom gall midge, without hindering the implementation of a preventive harvest (of aborted mangoes fallen before harvest), to better manage fruit flies. Experiments were realized in two orchards of the Cogshall susceptible cultivar on the Western side of the Reunion Island (area of strong incidence of blossom gall midge and fruit flies). Results confirmed that the innovative practice of synthetic mulching could be a relevant lever for the management of the blossom gall midge just like the high resident weed cover, without adversely impacting the orchard environment. Results concerning the preventive harvest of aborted fruits also advocate for the benefits of synthetic mulching.

These encouraging results justify the importance of repeating the trial so as to get a broader perspective on these results. A survey was also conducted among actors of the mango sector, in order to exchange on the context and the results of the 2017 study to anticipate future experiments with producers.

Keywords: Synthetic mulching, pest management, Cogshall, plant community

Remerciements

Ce mémoire a été réalisé dans le cadre :

- du projet Ecoverger, action pilotée par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, avec l'appui financier de l'Agence Française pour la Biodiversité dans le cadre de l'APR "Résistance et pesticides", grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto.
- du programme de recherche agronomique du Cirad à la Réunion, DPP COSAQ, (activités 2015-2018) financé par l'Union européenne (fond structurel FEDER) et le Conseil Régional de La Réunion.

J'adresse mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont aidée dans la réalisation de mon stage de fin d'études et dans l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens à remercier tout particulièrement mes deux maitres de stage Alain Ratnadass et Christian Soria de m'avoir donné la chance de réaliser mon stage de fin d'études au sein de l'unité de recherche HortSys. Je vous suis reconnaissante pour la qualité de votre encadrement, votre accompagnement et la confiance que vous m'avez accordée. Travailler et partager avec vous ce projet était un plaisir et très formateur sur bien des aspects.

Je remercie ma tutrice, Marie Hélène Robin, pour la disponibilité qu'elle m'a accordée et les conseils prodigués qui ont grandement contribué à l'amélioration de ce travail.

Je remercie chaleureusement l'équipe de Bassin Plat pour leur accueil, aide et bienveillance à mon égard, je pense tout particulièrement à Rose-My, Muriel, Doralice, Frédéric, Elodie, Philippe et Marie.

Ma reconnaissance va aussi vers l'équipe de Ligne Paradis, notamment Frédéric et Arthur pour m'avoir permis de faire une formation sur les statistiques et leur aide précieuse sur la gestion des données.

Merci infiniment à Aliénor pour tout le temps consacré dans les vergers ainsi qu'au bureau et pour les cours particuliers sur le logiciel R Studio.

Mes remerciements vont aussi à tous ceux qui ont contribué à rendre cette aventure réunionnaise inoubliable, mes colocataires si dynamiques et ouverts, mais aussi toutes les personnes rencontrées durant cette mission.

Enfin, un grand merci à mes amis et ma famille pour leur soutien, leur disponibilité et leur confiance sans faille !

Sommaire

Introduction générale

PARTIE 1 : CONTEXTE ET ENJEUX DE L'ÉTUDE

1. Le CIRAD
2. La filière mangue dans le monde et à l'île de La Réunion
3. Volet agronomique
4. Les problèmes agronomiques affectant la production de mangue : état des lieux sur les bioagresseurs du manguier
5. État de l'art sur la cécidomyie des fleurs et sa gestion agroécologique
6. Problématique

PARTIE 2 : MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Démarche générale de la mission
2. Essai 1 : évaluation de l'effet des différentes couvertures de sol sur la gestion des cécidomyies
3. Essai 2 : évaluation de l'effet des couvertures de sol sur la phénologie des arbres et l'environnement du verger
4. Essai 3 : évaluation de l'infestation par les mouches des fruits des mangues tombées au sol en fonction des couvertures de sol
5. Entretiens auprès d'acteurs la filière
6. Analyse des données

PARTIE 3 : RÉSULTATS

1. Relevés météorologiques au CPEA St Paul
2. L'effet des couvertures de sol sur la gestion de la cécidomyie des fleurs (essai 1)
3. L'effet des couvertures de sol sur la phénologie des arbres et l'environnement du verger (essai 2)
4. L'impact des couvertures de sol sur l'infestation des mangues par les mouches des fruits (essai 3)
5. Retour d'enquête exploratoire auprès de la filière mangue réunionnaise
6. Synthèse de l'ensemble des résultats de l'étude

PARTIE 4 : DISCUSSION ET LIMITES

1. Des résultats mitigés en raison d'une floraison atypique
2. Une forte disparité entre les blocs
3. L'effet des couvertures de sol sur les populations de cécidomyies
4. L'effet des couvertures de sol sur la phénologie des arbres et l'environnement du verger
5. L'effet des couvertures de sol sur l'infestation des mangues par les mouches des fruits
6. Acquis et limites de l'étude 2017

PARTIE 5 : PROPOSITIONS

1. Propositions relatives à l'amélioration du dispositif expérimental en verger
2. Propositions générales pour la poursuite de ces travaux en recherche pour le développement agricole

Conclusion générale

Glossaire

Agriculture biologique : Une forme de production agricole particulière, fondée sur des cahiers des charges qui refusent d'utiliser des produits chimiques de synthèse et respectent des principes éthiques. « La production biologique est un système global de gestion agricole et de production alimentaire qui allie les meilleures pratiques environnementales, un haut degré de biodiversité, la préservation des ressources naturelles, l'application de normes élevées en matière de bien-être animal et une méthode de production respectant la préférence de certains consommateurs à l'égard des produits obtenus grâce à des substances et des procédés naturels » (INRA, 2017).

Agriculture intégrée : Combine les pratiques agricoles pour minimiser le recours aux pesticides. Elle utilise de manière préférentielle des techniques alternatives, comme la lutte biologique ou des rotations longues. Elle lutte de manière intégrée, traitant uniquement si les seuils de nuisibilité de la maladie ou du ravageur sont atteints. Les intrants chimiques ne sont pas exclus, mais ne sont utilisés qu'en dernier recours (INRA, 2017).

Agriculture raisonnée : En conformité avec la législation et les normes de « bonnes pratiques agricoles », fixées par l'Europe, la production raisonnée répond aussi aux exigences d'un cahier des charges qui autorise l'ensemble des techniques agricoles classiques (engrais et produits phytosanitaires de synthèse...), mais en les « raisonnant » c'est-à-dire que les agriculteurs ne traitent que s'il le faut, au bon moment et avec une dose et un matériel adaptés (INRA, 2017).

Agroécosystème : C'est un écosystème cultivé, correspondant généralement à l'unité spatiale qu'est l'exploitation agricole et dont les fonctions écosystémiques sont valorisées par l'Homme sous forme de biens agricoles et de services. Il est ainsi co-produit par la nature et l'Homme.

Alternance du manguier : Ce phénomène caractérise la tendance à ne produire des fleurs et des fruits qu'une année sur deux (alternance de la floraison et de la fructification). Par opposition à l'année « on », on appelle l'année « off » l'année caractérisée par une faible production de fleurs et de fruits (DAMBREVILLE A., 2012).

Biopesticides : Organismes vivants ou produits issus de ces organismes ayant la particularité de supprimer ou limiter les ennemis des cultures (DERAVEL J., KRIER F., JACQUES P., 2014).

Bottom-up : Par opposition aux processus « top-down » (voir ce mot), processus de régulation ascendants, i.e. venant du niveau trophique inférieur (la ou les plantes, producteurs primaires) vers le niveau trophique supérieur (le phytopathogène ou le phytophage). (RATNADASS A., comm. pers., 2017).

Cluster : En génétique, un cluster de gènes correspond à un groupe d'au moins deux gènes appartenant à un même ensemble et codant pour une protéine identique ou similaire, exemple : des récepteurs membranaires sensibles au même produit.

Environnement : L'environnement est la portion de territoire qui influence le bioagresseur, il englobe l'agroécosystème et la portion de territoire pouvant influencer le bioagresseur (ROBIN M.H., comm. pers., 2018).

Lutte biologique par conservation : C'est une stratégie de lutte biologique par modification des agroécosystèmes, du paysage et des pratiques culturales pour favoriser la présence et l'activité des auxiliaires naturels indigènes (SUTY L., 2010).

Parasitoïde : agent de la lutte biologique (auxiliaire naturel) qui se développe aux dépens d'un hôte unique qui mourra à la fin du développement larvaire du parasitoïde (SUTY L., 2010), à la différence du parasite qui n'entraîne pas forcément la mort de l'hôte, et du prédateur qui a besoin de consommer plusieurs proies pour achever son développement larvaire et ensuite en tant qu'adulte (RATNADASS A., comm. pers., 2018).

Piégeage de masse : Méthode qui repose sur l'utilisation de pièges contenant ou non un attractif chimique afin de collecter des ravageurs pour limiter fortement leur population et leur descendance. Différents types de pièges existent : pièges à phéromones (composés intervenant dans la communication entre les individus d'une même espèce produits par des insectes ou re-synthétisés par l'homme), pièges à paraphéromones (substances de synthèse chimiquement différentes, ayant toutefois un effet identique aux phéromones sexuelles), pièges à appâts alimentaires, pièges chromatiques, pièges lumineux (SUTY L., 2010).

Piégeage sexuel par phéromones : Méthode d'avertissement ou de lutte contre les ravageurs des cultures dans le cas où il y a utilisation de piégeage de masse en prélude à une lutte autocide (technique de l'insecte stérile), par opposition à la confusion sexuelle, où la phéromone est pulvérisée dans le milieu. Les phéromones attirent le plus souvent uniquement les ravageurs mâles (SUTY L., 2010 ; RATNADASS A., comm pers., 2018).

Production fruitière intégrée (PFI) : C'est un système agricole de production d'aliments et autres produits de haute qualité, système qui utilise des ressources et des mécanismes de régulation naturels pour remplacer des apports dommageables à l'environnement et qui assure à long terme une agriculture viable" (EL TITI A., *et al.*, 1993).

Protection agroécologique des cultures (PAEC) : La PAEC s'appuie sur trois piliers : la prophylaxie, la lutte biologique par conservation et la gestion des habitats (DEGUINE J.-P., *et al.*, 2016).

Réseau DEPHY Ferme : Action majeure du plan Ecophyto, le dispositif DEPHY a pour finalité d'éprouver, valoriser et déployer les techniques et systèmes agricoles réduisant l'usage des produits phytosanitaires tout en promouvant des techniques économiquement, environnementalement et socialement performantes. Le dispositif repose sur un réseau national couvrant l'ensemble des filières de production et mobilisant les partenaires de la recherche, du développement et du transfert (MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ENVIRONNEMENT, 2018).

Sympatrique : Désigne le fait qu'une espèce évolue vers une séparation en deux nouvelles espèces sans qu'il y ait eu de rupture géographique. Ces nouvelles espèces vivent donc dans le même environnement mais ne se reproduisent pas ensemble.

Top-down : (approche de la lutte biologique par conservation : voir ce mot), processus de régulation descendant, i.e. venant du niveau trophique supérieur (prédateurs & parasitoïdes ; micro-organismes entomopathogènes comme les protozoaires (*Nosema spp*) et les nématodes (*Steinernema spp*) vers le niveau trophique inférieur, i.e. le phytopathogène ou le phytophage (RATNADASS A., comm. pers., 2017).

Traitement de contact : (façon d'agir du traitement sur les organismes indésirables) Agit sur les parties de la plante avec lesquelles il entre en contact (herbicide). Agit lorsque l'insecte entre en contact avec le produit (insecticide) (DDELCC QUEBEC, 2017).

Traitement curatif : (façon d'agir du traitement sur les organismes indésirables) Réprime une maladie ou une infestation qui est déjà développée (DDELCC QUEBEC, 2017).

Traitement préventif : (façon d'agir du traitement sur les organismes indésirables) Protège la plante en empêchant que la maladie ou l'infestation se développe (DDELCC QUEBEC, 2017).

Traitement systémique : (façon d'agir du traitement sur les organismes indésirables) Agit après absorption par la plante et circulation à l'intérieur de celle-ci du principe actif (DDELCC QUEBEC, 2017).

Sigles et abréviations

AB : Agriculture biologique

Aïda : Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles (UR du Cirad)

AMM : Autorisation de mise en marché

APR : Appel à propositions de recherche

Armeflhor : Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie fruitière, légumière et horticole

Arrop-FL : Association réunionnaise des organisations de producteurs de fruits et légumes

Bios : Systèmes biologiques (département de recherche du Cirad)

BRF : Bois raméal fragmenté

BSV : Bulletin de santé du végétal

CA : Chambre d'Agriculture

Casdar : Compte d'affectation spéciale au développement agricole et rural

CFPPA : Centres de Formation Professionnelle et de Promotion Agricoles

Cirad : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

CNUCED : Conférence des Nations unies sur le Commerce et le Développement

Cosaq : Co-conception de systèmes agro-alimentaires de qualité (DPP du Cirad à La Réunion)

CPEA : Centre de Production et d'Expérimentation Agricole

CPL : (classement toxicologique) Classification, Labelling, Packaging ; i.e. « classification, étiquetage, emballage ».

CTA : Centre technique de coopération agricole et rurale

SC : Suspension concentrée

DAAF : Direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt de La Réunion

DL50 : Dose létale médiane

DOM : Département d'outre-mer

DPP : Dispositif de programmation de la recherche en partenariat

Ecofrut : Nouveaux systèmes de culture ECOlogiques et durables pour des productions FRUitières de qualité en milieu Tropical (Projet Feader)

Ecophyto : plan qui vise à la réduction progressive de l'utilisations des produits phytosanitaires (2008 Grenelle de l'environnement)

Ecoverger : Conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers

Epic : Établissement Public à caractère Industriel et Commercial

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

ES : Environnements et sociétés (département de recherche du Cirad)

FAO : Food and Agriculture Organization (Nations unies)

FDGDON : Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles.

Feader : Fonds européen pour le développement rural

GAB : Groupement d'agriculteurs biologiques

Gamour : Gestion agroécologique des mouches des légumes à La Réunion (Projet CASDAR)

GIEE : Groupement d'intérêt économique et environnemental

GLMs : Generalized linear models
GMS : Grandes et moyennes surfaces
HortSys : Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles (UR du Cirad)
IFT : Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires
LSV : Laboratoire Spécification et Vérification
MEDDE : Le ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie
Onema : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
OP : Organisation de producteurs
Paec : Protection agroécologique des cultures
PerSyst : Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (département de recherche du Cirad)
PFI : Production fruitière intégrée
PVBMT : Peuplements végétaux et bioagresseurs en milieu tropical
RCI : Les régulateurs des hormones de croissance d'insectes
RITA : Réseaux d'innovation et de transfert agricole
RQDO : Ruche qui dit oui
RNM : Réseau des nouvelles des marchés, France Agrimer
SAU : Surface Agricole Utile
SC : Suspension concentrée
UMR : Unité mixte de recherche
Unesco : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UC : Unité de croissance
UR ou UPR : Unité (propre) de recherche
US : Unité de service

Introduction générale

La mangue est le septième fruit le plus produit dans le monde dont un tiers est produit dans sa zone d'origine (Indo-Birmane). C'est un fruit apprécié pour ses qualités gustatives et qui constitue une ressource alimentaire intéressante dont les qualités énergétiques, aromatiques et nutritionnelles sont reconnues. Fruit très consommé en zones tropicales, la mangue est de plus en plus présente sur les marchés mondiaux. A La Réunion, elle représente la quatrième production fruitière avec près de 3 500 tonnes produites annuellement pour environ 400 ha de vergers de manguiers (Agreste, 2014).

Les producteurs de mangues dans le monde et à La Réunion sont confrontés à de nombreuses pressions sanitaires et recourent à la lutte chimique pour contrer la pression parasitaire (DEGUINE J-P. *et al.*, 2016). Cette lutte chimique peut s'avérer parfois inefficace et paradoxale surtout à La Réunion où plus de 40% du territoire est inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco (Unesco, 2017). A l'échelle nationale, les politiques agricoles françaises se sont engagées à réduire l'utilisation de produits phytosanitaires de 50% d'ici à 2025 (plan Ecophyto 2). Ecophytodom est la déclinaison de ce plan dans les départements d'Outre-Mer et se concrétise par des expériences de conception et de mise au point de systèmes de culture économes en produits phytosanitaires (e.g. : projets Dephy Expe comme le projet Rescam2 à La Réunion en cultures maraîchères ; réseaux Dephy Ferme sur la canne à sucre ou la mangue). Parmi les ravageurs du manguiers, la cécidomyie des fleurs est l'un des bioagresseurs les plus dommageables sans qu'il y ait de moyen de lutte chimique curative homologué.

Les travaux de l'unité HortSys à La Réunion s'inscrivent dans le cadre du Dispositif de programmation en partenariat (DPP) Cosaq, dont le Projet Cosaq1 (« Bases biologiques et techniques pour la conception de systèmes agroalimentaires de qualité »). L'unité HortSys a pour objectif à La Réunion, au titre du projet Ecophyto « Ecoverger », de construire un modèle d'élaboration du rendement et de la qualité des mangues qui permette de concevoir des modes de conduite des vergers limitant les dommages des ravageurs tout en maintenant une production suffisante en quantité et en qualité. La durabilité des systèmes de culture impose la conception, la mise en œuvre et le transfert de systèmes de culture reposant sur des processus écologiques et des interactions optimisées à l'échelle de l'agroécosystème (ATIAMA M., 2016). Une voie de progrès est la protection agroécologique des vergers de manguiers réunionnais. Cette orientation s'appuie sur les principes de la protection agroécologique des cultures (Paec).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude 2017 visant à l'évaluation de l'effet de pratiques culturales (paillage synthétique / enherbement du sol) sur la régulation d'un ravageur de la floraison du manguiers et plus précisément de confirmer l'efficacité du paillage synthétique au sol pour rompre le cycle de la cécidomyie des fleurs, en comparaison à deux modalités de gestion de l'enherbement (essai 1). Il sera étudié simultanément l'effet des couvertures de sol sur la phénologie de l'arbre et l'environnement du verger (essai 2). Juste avant la récolte, l'infestation des mangues par les mouches des fruits, un autre groupe de ravageurs problématiques sur manguiers, sera évaluée (essai 3). Les deux leviers de contrôle sont la gestion de la couverture du sol et la gestion de la récolte (récolte prophylactique).

Ce mémoire est composé de cinq parties. La première permet d'appréhender le contexte et les enjeux de l'étude. Avant d'exposer la problématique, une synthèse bibliographique détaillée sur la cécidomyie des fleurs et les modalités de couverture du sol pouvant gérer ce ravageur sera développée. La deuxième partie présente la méthodologie et les outils utilisés lors des essais (le dispositif expérimental, observations et mesures, méthodes d'analyse des données). La troisième partie porte sur les résultats obtenus pendant le stage et leur analyse. La quatrième partie est une discussion de ces résultats et la cinquième partie aborde des propositions pouvant être appliquées à l'issue de cette étude et les perspectives qui en découlent.

PARTIE 1 : Contexte et enjeux de l'étude

1 Le Cirad

1.1 Le Cirad à l'échelle mondiale (mission, stratégie et fonctionnement)

Le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad) est un organisme français de type Epic (Établissement Public à Caractère Industriel et Commercial) placé sous la tutelle du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, et du Ministère des Affaires étrangères et du Développement international. Un Epic répond à un besoin auquel une entreprise privée ne pourrait répondre en étant en concurrence, en raison de la sensibilité du secteur dont le bon fonctionnement est essentiel. Le secteur en question pour le Cirad est la recherche agronomique pour le développement durable des régions chaudes (tropicales, méditerranéennes ...) avec différentes thématiques étudiées portant sur la sécurité alimentaire, le changement climatique, la gestion des ressources naturelles, la réduction des inégalités et la lutte contre la pauvreté (Cirad, 2017).

Le Cirad compte un total de 1 650 salariés répartis dans 34 unités de recherche sur trois départements de recherche en plus de la direction générale. Les unités de recherche peuvent être propres au Cirad (UPR) ou communes à un ou plusieurs établissements de recherche et d'enseignement (UMR). L'unité de recherche est souvent implantée sur plusieurs sites géographiques, en France ou à l'étranger, et mobilise des agents relevant de plusieurs disciplines.

Chaque unité est rattachée à l'un des trois départements scientifiques du Cirad :

- ❖ Systèmes biologiques (Bios) ;
- ❖ Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (Persyst) ;
- ❖ Environnements et sociétés (ES).

Les départements scientifiques coordonnent les 34 unités de recherche : 10 UPR, 23 UMR et une unité de service (US).

Il existe 13 directions régionales du Cirad localisées en France métropolitaine (Montpellier, Paris), dans les DOM (Antilles-Guyane, Réunion-Mayotte) ou à l'étranger (Méditerranée-Moyen Orient, cinq en Afrique, deux en Asie, deux en Amérique Latine), permettant de mener des activités de coopération avec plus de 100 pays et en partenariat avec 150 institutions (Figure 1).



Figure 1 : Les directions régionales du Cirad dans le monde (Cirad, 2017)

Le Cirad est le premier opérateur de recherche agronomique dans l'outre-mer français (Cirad, 2017).

Sa programmation s'inscrit dans le cadre de six axes stratégiques :

- ❖ Agriculture écologiquement intensive ;
- ❖ Valorisation de la biomasse ;
- ❖ Alimentation durable ;
- ❖ Santé des animaux et des plantes ;
- ❖ Action publique pour le développement ;
- ❖ Société, nature et territoires.

L'organigramme global du Cirad est disponible en Annexe 1.

Le stage de fin d'études a été réalisé au sein de l'UPR « Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles » (HortSys), rattachée au département scientifique Persyst. L'objectif de l'UPR est de concevoir les principes d'une agroécologie des systèmes horticoles tropicaux afin d'élaborer des systèmes de culture durables. Elle travaille en partenariat avec les acteurs locaux et des équipes sont présentes en France métropolitaine (Montpellier), dans les DOMs (Martinique, Mayotte et Réunion), au Kenya, à Madagascar, au Sénégal, en Tanzanie et en Côte d'Ivoire depuis le 1^{er} mars 2018. Les recherches portent principalement sur le fonctionnement agroécologique des systèmes horticoles et sur l'accompagnement de leur intensification écologique. Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'équipe Airb (Agroécologie, Interactions et Régulations Biologiques), dont l'objectif est d'acquérir des connaissances sur les processus agroécologiques mobilisables.

1.2 Le Cirad Réunion-Mayotte

L'organisme d'accueil du stage est le Cirad Réunion-Mayotte, mais ne sera abordé que le Cirad implanté à La Réunion car c'est le lieu d'expérimentation du stage de fin d'études effectué pour la rédaction de ce mémoire.

1.2.1 Ressources et infrastructures

L'île de La Réunion accueille le deuxième dispositif du Cirad en France, après Montpellier. Plus de 280 personnes travaillent dans les locaux du Cirad à La Réunion, dont 170 agents permanents (plus de 60 chercheurs et 110 techniciens et personnels administratifs). L'organisme est présent sur l'île principalement sur deux sites : à Saint Denis (station de La Bretagne) et à Saint Pierre (stations de Ligne Paradis et de Bassin Plat). Le Cirad Réunion possède 35 ha de terrains d'expérimentation répartis sur quatre stations dans l'île (Cirad, 2017). L'équipe d'HortSys qui m'a accueillie est localisée sur la station de Bassin Plat, à Saint Pierre, au Sud de La Réunion. Sur la station expérimentale de Bassin Plat, il y avait pendant la durée du stage en moyenne une dizaine de techniciens, 3 personnels administratifs, 8 chercheurs, 6 thésards et 6 stagiaires représentant 3 UR (dont certains relèvent des URs PVBMT & Aïda et de la DR). J'ai également travaillé avec deux statisticiens de l'UMR PVBMT au 3P/Ligne Paradis.

1.2.2 Mission et fonctionnement

Dans le contexte actuel où les enjeux mondiaux sont de plus en plus nombreux et préoccupants (nourrir la population mondiale, préserver les ressources non renouvelables, gérer la biodiversité...), la mission principale du Cirad Réunion est de contribuer, par la recherche en partenariat, au développement des filières agricoles et agroalimentaires, tout en préservant l'environnement et la biodiversité.

Les recherches du Cirad sont actuellement programmées et financées pour six ans, de 2015 à 2020, dans le cadre d'un accord-cadre entre l'Etat (Direction de l'Agriculture et de la Forêt), la Région Réunion, le Département de La Réunion et le Cirad.

Les activités du Cirad à La Réunion sont organisées en quatre dispositifs de programmation de la recherche en partenariat (DPPs), coordonnés par une direction régionale. Cette étude s'inscrit dans le dispositif CO-construction de Systèmes Agroalimentaires de Qualité (Cosaq). Et plus précisément sur le premier objectif : le projet Cosaq 1 qui s'intéresse aux bases biologiques et techniques pour la co-conception de systèmes agroalimentaires de qualité. Cosaq regroupe cinq unités de recherche (dont HortSys).

1.2.2.1 La recherche agronomique sur le manguiier au Cirad

La recherche agronomique (au sens large) appliquée au manguiier a démarré dans les années 1980 (NORMAND F., comm. pers., 2017).

Depuis la fin du XXème siècle il existe une forte demande à tous les niveaux de la filière mangue pour une meilleure prise en compte de la qualité globale du produit. L'attente des producteurs, des opérateurs et des consommateurs est importante pour être prise en considération par la recherche, afin d'élaborer des solutions techniques pour produire sainement et proposer un fruit de qualité.

Ces considérations, associées à la bonne connaissance de la plante et de la filière ont conduit à retenir la mangue comme une des productions majeures étudiées au sein du programme arboriculture fruitière depuis 1998 (NORMAND F., comm. pers., 2017).

Dans un premier temps, le site de La Réunion a été retenu pour développer de nouvelles thématiques relevant du **domaine de l'écophysiologie**, centrées sur le fonctionnement de la plante et l'élaboration de la qualité sur l'arbre :

- ❖ Synchronisation de la floraison et de la fructification ;
- ❖ Croissance et développement du fruit ;
- ❖ Modélisation de l'élaboration de la qualité (approche architecturale d'une part avec la taille et modélisation des flux de carbone et d'eau dans la plante d'autre part).

Des travaux complémentaires ont été réalisés relativement à l'élaboration de la qualité en termes de caractérisation biochimique, potentiel aromatique des mangues, maintien de la qualité lors de la conservation. Ceci afin d'assurer le continuum et la cohérence des travaux sur la qualité du fruit depuis le système de production jusqu'à l'assiette du consommateur.

Dans le domaine de **l'amélioration des plantes**, aucun travail de création variétale n'est en cours au Cirad, il s'agit principalement d'un travail de référencement des principales variétés et porte-greffes (NORMAND F., MICHELS T., comm. pers. 2017).

Beaucoup d'études antérieures et en cours portent sur la gestion et les modes d'irrigation (irrigation pour induire la floraison, irrigation de l'enherbement.) (NORMAND F., MICHELS T., comm. pers. 2017).

Dans le domaine de la **protection des cultures**, des travaux ont été menés sur l'antracnose du manguier (*Xanthomonas sp. pv. mangiferaeindicae*) grâce à des recherches en amont sur l'épidémiologie de la maladie. Ceci dans l'objectif d'établir une stratégie de lutte prophylactique. D'autres travaux fondamentaux ont été conduits sur les principaux ravageurs des fruits (mouches des fruits) et des inflorescences (cécidomyie *P. mangiferae* et punaise *Orthops palus*).

Ces recherches sur la protection des vergers de manguier ont été réalisées dans le cadre de différents projets.

1.2.2.2 Focus sur les projets d'agro-écologie appliqués à la culture du manguier à La Réunion

Parmi les différents travaux de l'UR HortSys, il y a notamment sa participation à différents projets (Approche intégrée de la filière mangue à La Réunion, Ecoverger, Ecofrut) pour alimenter la recherche sur la production fruitière intégrée (PFI), appliquée au cas du manguier qui est considéré comme l'arbre de référence en recherche agronomique à La Réunion. L'ensemble des projets dans lesquels le stage s'inscrit sont représentés (Figure 2) et détaillés par la suite.

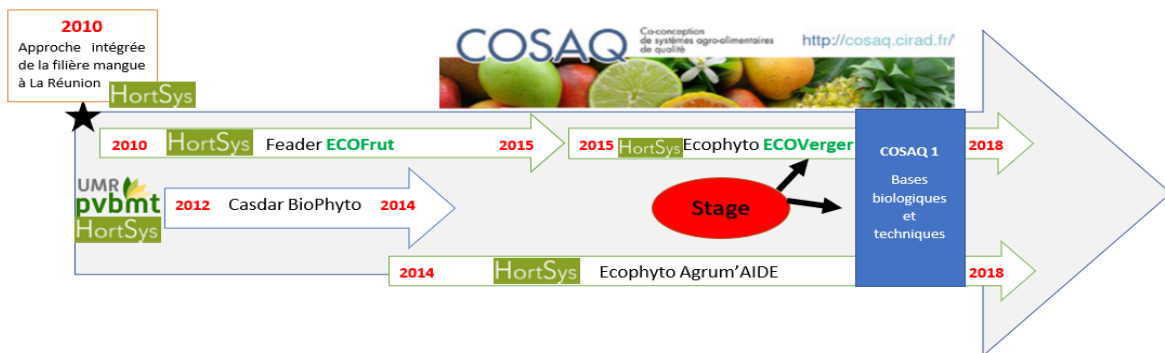


Figure 2 : Schéma représentatif des projets dans lesquels s'inscrit le stage

Ces projets sont conduits en partenariat avec les producteurs et d'autres organismes de domaines et de compétences différents (recherche, expérimentation, formation, développement agricoles).

- **Le projet « Approche intégrée de la filière mangue à La Réunion »**, réalisé en 2010, a significativement contribué à une avancée des connaissances scientifiques, techniques et organisationnelles, à différentes échelles, du fruit à l'ensemble de la filière, fournissant ainsi des éléments qui ont permis de construire une première adaptation du concept de la PFI au cas de la mangue (NORMAND F. *et al*, 2011). Une retombée forte de ce projet est le montage de nouveaux projets en réponse aux problèmes identifiés. On peut notamment citer deux projets qui s'y sont succédé dans le temps : les projets Ecofrut et Ecoverger.
 - **Ecofrut** (2010-2015), (Nouveaux systèmes de culture ECOlogiques et durables pour des productions FRUitières de qualité en milieu Tropical) 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. Il a été financé par le Fonds européen pour le développement rural (Feader).
 - **Ecoverger** (2015-2018) dont l'objectif 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. Il est financé par l'Onema dans le cadre de l'APR 2014 « Résistance et pesticides » piloté par le Medde

Deux autres projets, l'un mené par l'UMR PVBMT sur manguier (Biophyto) et l'autre mené par l'UR HortSys sur l'enherbement des vergers d'agrumes (Agrum'Aide) ont également été des supports d'aide à la réalisation des travaux réalisés pendant le stage. Les acquis du projet Agrum'Aide pourront être appliqués au manguier sur les questionnements de gestion des couvertures végétales, et d'autre part l'approche de Biophyto en vergers de manguiers est complémentaire à celle de l'UR HortSys. Ainsi l'approche d'HortSys est davantage orientée vers les barrières physiques et les processus bottom-up (cf. glossaire) contrairement à celle de PVBMT dans le cadre du projet Biophyto, faisant surtout appel à des processus top-down (cf. glossaire).

- Le projet Agrum'Aide (2013-2017) étudie la gestion de l'enherbement spontané (des vergers d'agrumes réunionnais) pour soutenir la lutte biologique, ce qui est potentiellement transférable à la production de mangue. Il est financé dans le cadre du plan national Ecophyto.

- Le projet Biophyto (2012-2014) de l'UMR PVBMT porte sur le développement de la protection agroécologique des cultures (Paec) dans les vergers de manguiers réunionnais (DEGUINE J-P. *et al.*, 2016). Ce projet s'inscrit dans la continuité du projet Gamour (2009-2011) qui étudiait la Gestion Agroécologique des MOUches des légumes à La Réunion (Gamour). Ces deux projets ont été réalisés en partenariat avec plusieurs organismes et producteurs dont l'UR HortSys (impliquée seulement dans Biophyto et marginalement : uniquement sur des aspects d'irrigation).

Le stage découle de ces différents travaux et s'inscrit dans le cadre du DPP Cosaq, dont l'un des objectifs en termes de qualité est de « Produire mieux » ce qui passe par une réduction des impacts environnementaux des systèmes techniques, notamment par la mise en œuvre 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.

De plus il fait suite à une thèse (AMOUROUX P., 2013) menée dans le cadre du projet Ecofrut sur la bioécologie et les modes de dispersion de la cécidomyie des fleurs du manguier à La Réunion et dans le cadre du projet Ecoverger (modules cécidomyie et mouches de fruits du modèle intégré manguier).

Afin de mieux appréhender cette étude, le chapitre suivant porte sur la filière de la mangue dans le monde puis centrée sur l'île de La Réunion, lieu de l'expérimentation conduite au cours du stage.

2 La filière mangue dans le Monde et à l'île de La Réunion

2.1 Le manguier, un arbre fruitier d'importance mondiale en zone tropicale

D'origine très ancienne, le manguier, est désigné en Sanskrit par le mot « amra » qui signifie « appartenir au peuple ». Cette étymologie montre que le manguier est considéré comme un arbre indissociable de la vie des populations (VINCENOT D., 2004). L'arbre du peuple, est devenu l'une des principales espèces fruitières tropicales cultivées à travers le monde (VINCENOT D., 2004). C'est un arbre de première importance dans les pays tropicaux : il dispense ombrage et fraîcheur, fixe les sols et les protège de l'érosion, résiste aux tempêtes, aux inondations et à la sécheresse. Enfin, ses fruits ont une très bonne valeur nutritionnelle (Annexe 2) (VINCENOT D., 2004).

2.1.1 La production mondiale en quelques chiffres

Le manguier est cultivé dans la quasi-totalité des pays compris entre les 30^{èmes} parallèles nord et sud. Récemment, sa culture s'est développée dans des régions périphériques comme le Bassin méditerranéen où elle prospère en Israël, Egypte, Maroc et Espagne. (Figure 3) (LITZ E., 2009 ; INFOCOMM, 2016).

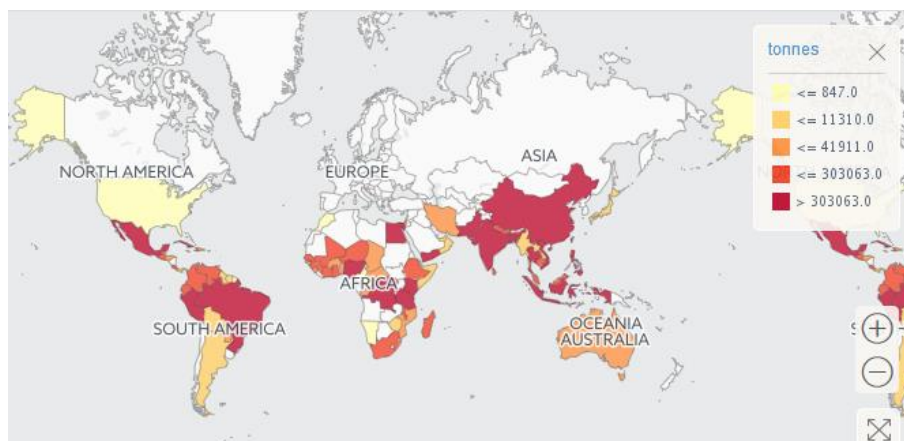


Figure 3 : Pays principaux producteurs mondiaux (en tonnes) de mangues, mangoustans et goyaves, par pays, en 2014 (FAOSTATS, 2014).

Selon la Food and Agriculture Organization (FAO) la production de fruits tropicaux était estimée à plus de 82,2 millions de tonnes en 2009 (FAO, 2011). En 2014 la mangue est au 7^{ème} rang mondial des cultures fruitières les plus cultivées avec une production annuelle de 45,23 millions de tonnes derrière la banane (114,3 Mt), la pastèque (111 Mt), la pomme (84,63 Mt), le pamplemousse (83,97 Mt), le raisin (74,5 Mt) et l'orange (70,86 Mt). C'est un fruit très consommé en zone tropicale et de plus en plus présent sur les marchés mondiaux. La production mondiale de mangues, goyaves et mangoustans a été multipliée par 3,5 entre 1961 et 2011 (FAOSTAT ne différencie pas ces productions dans ses statistiques).

Si elle est largement répartie dans la zone intertropicale, la production se concentre néanmoins dans quelques pays. Les dix premiers pays producteurs produisent près de 77 % des volumes mondiaux (Figure 3, Tableau I). La zone principale de production est l'Asie (72% de la production mondiale), avec en tête des pays producteurs l'Inde, la Chine et la Thaïlande. Viennent ensuite l'Afrique avec 17 % et l'Amérique latine avec 10 % (FAOSTAT, 2012). La production réunionnaise représente quant à elle moins de 0,01% de la production mondiale.

Tableau I : Les 10 premiers pays producteurs de mangues (production en tonnes) dans le monde en 2014 (FAOSTAT, 2014)

Rang	Pays	Production (t)	Rang	Pays	Production (t)
1	Inde	1 51 88 000	6	Mexique	18 27 314
2	Chine	43 50 000	7	Brésil	12 49 521
3	Thaïlande	26 00 000	8	Bangladesh	8 89 176
4	Indonésie	21 31 139	9	Nigeria	8 50 000
5	Pakistan	18 88 449	10	Philippines	8 00 551

Plus de données sur la production mondiale de la mangue et les surfaces en production sont disponibles en Annexe 3.

2.1.2 Les flux internationaux de mangues

2.1.2.1 Les cours du marché de la mangue

Les cours nationaux et internationaux du marché de la mangue sont référencés à partir d'un calcul de prix dépendant de plusieurs facteurs, à savoir : la provenance, la variété, le mode de production (bio vs conventionnel), la saisonnalité, la qualité, le calibre des fruits et le mode de transport (INFOCOMM, 2016).

Ce prix n'est pas fixé car il dépend également de la production, du coût de revient du produit sur la zone de vente et du pouvoir d'achat des pays consommateurs. Par exemple, en 2014, la tonne de mangues en Allemagne s'élève à 2465 US\$ (valeur la plus élevée) contre 390 US\$ en Malaisie (valeur la plus basse). Au niveau mondial, la valeur unitaire à l'importation a augmenté de 61,27% entre 2003 et 2014 (865 à 1395 US\$). Globalement, le prix de la mangue connaît une augmentation plus soutenue dans les pays développés ou émergents que dans les pays en voie de développement, en adéquation avec l'évolution du pouvoir d'achat (INFOCOMM, 2016).

En valeur en 2010, la mangue est la 20^{ème} production mondiale, toutes filières agricoles confondues et la 12^{ème} de la filière alimentation d'origine végétale (FAO 2011).

L'approvisionnement en mangue sur les marchés européens est majoritairement assuré par le fret maritime (OBSERVATOIRE DES MARCHÉS DU CIRAD, 2016).

Concernant le marché français, il a été stable sur la campagne 2016-2017 avec des prix qui se maintiennent entre 6,34 € et 7,8 € (HT/kg). Le Brésil et l'Espagne dominent son approvisionnement (RNM, 2017).

2.1.2.2 Les principaux exportateurs, importateurs et consommateurs de mangues

Près de 90% de la production mondiale de fruits tropicaux sont consommés par les pays producteurs eux-mêmes (FAO 2011).

La mangue fraîche s'est longtemps limitée à un commerce local, voire régional, compte tenu de sa périssabilité. Ce n'est qu'après la seconde guerre mondiale qu'elle a été commercialisée plus largement dans le monde grâce au développement du transport aérien. Puis dans les années 1980-1990 le transport maritime réfrigéré va rapidement décupler les flux de mangues vers l'Amérique du Nord et l'Europe qui sont ses centres de consommation majeurs à fort pouvoir d'achat (INFOCOMM, 2016).

❖ L'offre : les pays exportateurs de mangues

Les exportations ne concernent que 3,4 % des volumes produits en raison d'une forte autoconsommation des pays producteurs.

Les pays producteurs ne représentent pas forcément les principaux pays exportateurs. Cependant, le rythme des échanges est particulièrement soutenu avec une progression de plus de 138 % entre 2000 et 2012. Les dix premiers pays exportateurs (Tableau II) représentent près de 80% des flux mondiaux de la mangue. Les fluctuations climatiques sont le principal facteur pouvant affecter l'offre (INFOCOMM, 2016).

Tableau II : Dix premiers pays exportateurs de mangues, en tonnes, en 2012
(TRADE MAP, 2017)

Rang	Pays	Exportations (t)	Rang	Pays	Exportation (t)
1	Mexique	297 295	6	Pérou	99 790
2	Inde	214 640	7	Équateur	60 139
3	Thaïlande	196 441	8	Yémen	43 467
4	Brésil	127 132	9	Philippines	24 076
5	Pakistan	101 164	10	Égypte	19 564

❖ La demande : les pays importateurs et consommateurs de mangues

Globalement, la demande est largement couverte par l'offre.

La consommation de mangues se répartit de manière assez homogène dans le monde. Chaque zone d'importation est attachée à certaines origines pour des raisons essentiellement logistiques.

Il existe des pays purement consommateurs, dont la production propre est inexistante ou minime : l'Amérique du Nord (États-Unis et Canada), l'Union Européenne et les pays du Golfe Persique. Les pays asiatiques sont eux producteurs et fortement consommateurs.

L'importante démographie en Chine et en Inde laisse supposer un potentiel loin d'être saturé. Les dix premiers pays importateurs sont référencés dans le tableau ci-dessous (Tableau III) (INFOCOMM, 2016).

Tableau III : Les dix premiers pays importateurs de mangues, en tonnes, en 2013 (Cirad, 2015)

Rang	Pays	Importations (t)	Rang	Pays	Importations (t)
1	États-Unis	385 861	6	Arabie Saoudite	57 858
2	Chine	190 182	7	Malaisie	55 000
3	Pays-Bas	101 826	8	Espagne	35 498
4	Émirats Arabes Unis	99 728	9	Singapour	21 234
5	Canada	57 991	10	Allemagne	15 369

2.1.3 Les produits transformés et commercialisés à base de mangues dans le monde

La mangue est principalement transformée en jus et nectars, conserves de joues, segments ou morceaux avec adjonction de sirop pour la conservation. Leur composition nutritionnelle est disponible en Annexe 2.

Les purées ou pulpes congelées sont des marchés en croissance et sont utilisées dans la fabrication de produits lactés (e.g. yaourts), de crèmes glacées et dans la biscuiterie (e.g. barres chocolatées, muesli). Les mangues séchées ou confites connaissent un regain d'intérêt dans la composition d'assortiments apéritifs ou en en-cas. On trouve aussi des confitures, pâtes de fruits, chutneys et sauces.

Le bois de manguier est peu utilisé pour la charpenterie et l'ébénisterie, mais plus fréquemment en bois de chauffe dans les pays producteurs, les déchets (épiderme et noyau) permettent la fabrication de biogaz par fermentation et l'huile extraite de l'amande du noyau est utilisée en cosmétique (INFOCOMM, 2016). Ces utilisations de coproduits sont mineures.

2.2 Fonctionnement du marché de la mangue à La Réunion (histoire, production et commercialisation)

La France produit 6 000 tonnes de mangues annuellement, dont 3 000 tonnes à destination du frais, hors transformation. 60% de la production française sont assurés par l'île de La Réunion, 17% par la Guadeloupe et 6% par la Guyane (Agreste, 2014). Exceptée la canne à sucre, les productions fruitières et maraîchères représentent les principales productions agricoles de La Réunion (DEGUINE J-P. *et al.*, 2016).

A La Réunion, la production de mangues est d'importance économique et culturelle, il s'agit de la cinquième production fruitière de l'île, avec une production oscillante entre 1800 à 3 300 tonnes en fonction des années (estimation CHAMBRE D'AGRICULTURE, 2013 ; VINCENOT D. *et al.*, 2015).

2.2.1 L'histoire de la mangue à La Réunion

Les premiers manguiers ont été introduits à La Réunion dans les années 1770 en provenance de Goa en Inde (VINCENOT D. et NORMAND F., 2009).

A partir des années 1970, une forte intensification des pratiques est observée. Les plantations de manguiers ont connu une extension sans précédent sur l'île. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ce phénomène (VINCENOT D., 2004) :

- Offre fortement inférieure à la demande jusqu'en 1995 ;
- Prix de vente rémunérateur surtout en dehors des périodes de pleine production ;
- Extension des périmètres irrigués ;
- Aides financières à la plantation pour la variété « Cogshall » de 1987 à 1992, elle a été introduite sous le nom erroné d'Early Gold qui est une autre variété ;
- Interdiction d'importer des mangues pour des raisons d'ordre phytosanitaire et qui protège ainsi de fait le marché local de toute concurrence étrangère vis-à-vis des principaux exportateurs de mangues.

Aujourd'hui un réunionnais consomme en moyenne 3 à 4 kg de mangues par an, ce qui reste faible comparé à la consommation en mangues de population locale d'autres pays producteurs (NORMAND F., comm. pers. 2017).

La superficie en vergers passe de moins de 50 ha dans les années 1970 à près de 300 ha dans les années 2000 et 386 ha en 2010. Deux objectifs sont visés, i) satisfaire les besoins du marché local et ii) développer le marché de l'exportation haut de gamme.

2.2.2 La place du manguier dans l'arboriculture fruitière réunionnaise

Le territoire agricole couvre seulement 20 % de l'île en raison d'une anthropisation grandissante (Agreste, 2014). La surface agricole dédiée aux productions fruitières s'étend sur plus de 2 700 ha, soit 6 % de la Surface Agricole Utile (SAU), auxquels s'ajoutent 2 000 ha d'arbres fruitiers recensés hors exploitations agricoles.

Il s'agit de vergers familiaux particuliers (notamment les vergers créoles, très riches en espèces), d'arbres fruitiers présents dans les espaces naturels et dans les espaces urbains (parcs, voiries). La valeur de la production de fruits est de l'ordre de 60 millions d'euros (soit 15 % de la production locale totale) (Agreste, 2014).

Les systèmes de production agricoles réunionnais s'appuient sur la canne à sucre (Figure 4). Les fruits occupent traditionnellement une place importante au sein de l'agriculture réunionnaise. La production fruitière permet l'exploitation de plus de 40 espèces différentes de fruits. Ceci peut s'expliquer par la grande richesse pédoclimatique de l'île.

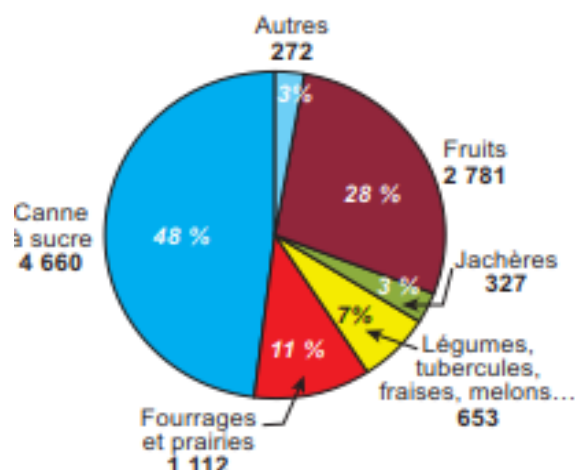


Figure 4 : Répartition des surfaces de cultures (ha et %) (d'après AGRESTE, 2014 sur la base du recensement agricole 2010)

En termes d'exportations de fruits locaux, l'ananas Victoria est le produit leader devant le letchi, la mangue et les fruits de la passion (CHAMBRE D'AGRICULTURE RÉUNION, 2017). La répartition de ces trois cultures fruitières phares (Figure 5) s'établit en fonction du climat de l'île ; les vergers de letchis et d'ananas sont surtout présents dans l'Est de l'île (région humide). La mangue est une culture de l'Ouest (région sèche et chaude).

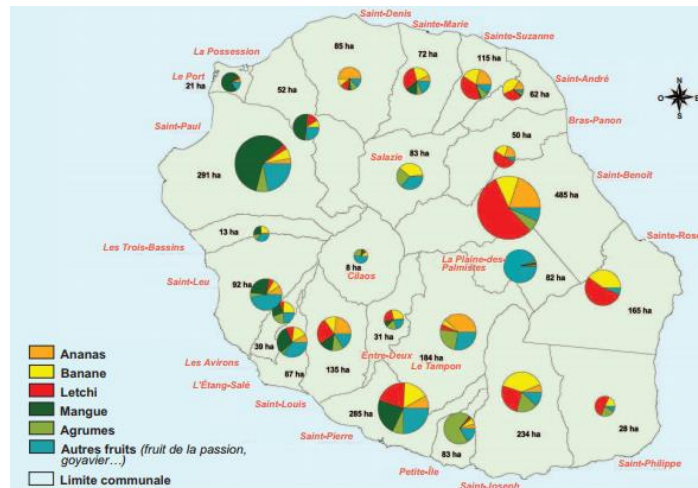


Figure 5 : Les surfaces fruitières indiquées en hectares par commune à La Réunion (d'après AGRESTE, 2014 sur la base du recensement agricole 2010)

La valeur commerciale de la production fruitière annuelle réunionnaise est de l'ordre de 60 millions d'euros (soit 15 % de la production totale des cultures végétales) (Agreste, 2014). La mangue est la troisième culture fruitière en termes de surface cultivée à La Réunion (environ 400 ha) derrière le letchi et la banane (Agreste, 2014) et représente la culture fruitière pérenne la plus rentable pour les agriculteurs (Agriculteurs, comm. pers, 2017 ; DEGUINE J-P. *et al.*, 2016).

La production fruitière en Agriculture Biologique (AB) attire de nombreux candidats à la conversion. Mais celle-ci se heurte à la forte pression parasitaire liée au milieu tropical. La valeur ajoutée dégagée en AB est ainsi très variable selon les cultures et la sensibilité de celles-ci aux bioagresseurs. Cinquante-six exploitations produisant des fruits sont certifiées en agriculture biologique, 20 sont engagées dans une démarche de conversion, soit une surface totale de fruits certifiée ou en conversion de 133 ha (Agreste, 2014). Il y a une vingtaine d'exploitations qui cultivent la mangue en AB soit une surface de 878 ares pour une production de 11,47 t (DAAF, 2017).

2.2.3 Les circuits de commercialisation de la mangue à La Réunion

La production pour la vente locale s'articule autour d'acteurs et de marchés très variés (Figure 6). La mangue est principalement commercialisée sur le marché local en frais. En aval des producteurs, plusieurs acteurs se succèdent (marché de gros, organisation de producteurs (OP), centrales d'achat) avant que le produit n'atteigne le consommateur. L'achat prédominant est effectué auprès des marchés forains, dans les « bazars » et en bord de champs qui sont des marqueurs historiques du « vivre créole ». Les Grandes et Moyennes surfaces (GMS) se positionnent peu à peu sur la commercialisation de ce produit.

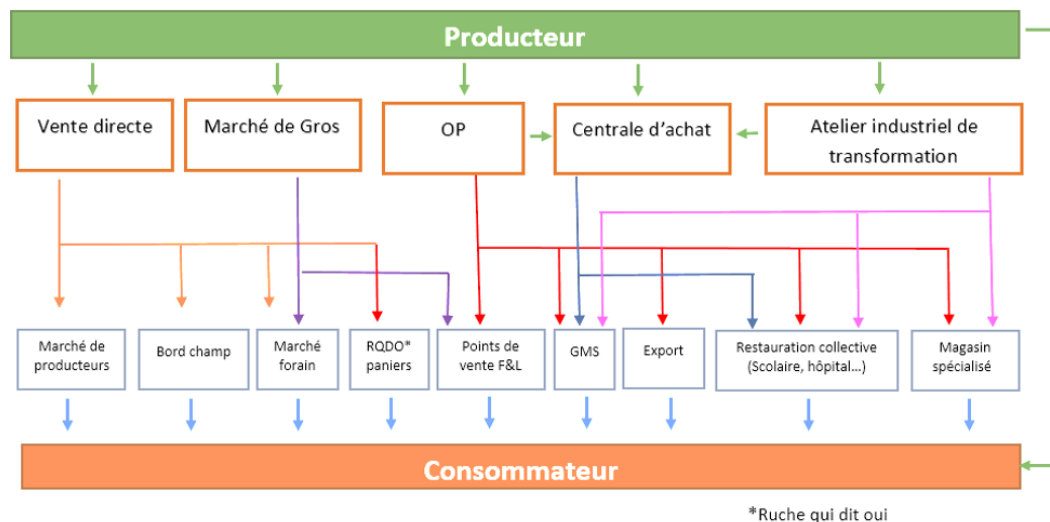


Figure 6 : L'articulation du marché de la mangue sur l'île de La Réunion (VINCENOT D. et al, 2015).

La mangue est également transformée en confiture, achards (assaisonnements composés de légumes, fruits, épices, marinés ou confits), en jus, en compote, en pulpe etc... directement sur les exploitations ou dans les usines de transformation agroalimentaires. Cependant, la mangue est peu utilisée en transformation car elle demande trop de main d'œuvre pour extraire la chair, notamment à cause du noyau et de la peau. Sur ce marché industriel, ce sont chaque année environ 80 t de mangues qui sont transformées (4 % de la production totale de La Réunion). A l'échelle des exploitations, certains producteurs réfléchissent à des regroupements afin de mutualiser l'équipement dont le coût est important.

Quant à l'exportation, moins de 10% (environ 110 t) de la production réunionnaise est expédiée, essentiellement sur le marché de la France métropolitaine. Sur le marché de l'export, la concurrence est forte avec l'Inde, la Chine, l'Afrique et les pays d'Amérique du Sud. Les fruits sont cependant expédiés en « frais » par avion ce qui garantit une fraîcheur et une qualité supérieure par rapport aux produits transportés par bateau. C'est la variété Cogshall qui s'exporte mieux car elle correspond aux standards internationaux de couleur et de forme. A l'inverse, la mangue José, présente une forme moins commune pour une mangue et est moins connue du grand public. Elle est également plus fragile et s'exporte donc moins facilement.

3 Volet agronomique

3.1 Le manguier : origine, variétés, caractéristiques botaniques, agronomiques et physiologiques

3.1.1 Des premiers manguiers cultivés aux vergers d'aujourd'hui (origine, sélection et diffusion)

Le manguier, *Mangifera indica L.*, appartient à la famille des Anacardiaceae. Cette famille comprend environ 600 espèces réparties en 70 genres (WATSON L. et DALLWITZ M-J., 1992). Beaucoup d'arbres de cette famille ont une grande importance économique dans la production de bois (*Anacardium*, *Schinus*...), de fruits comestibles (manguier, anacardier, pistachier), de tanin (*Rhus*, *Cotinus*), de térébenthine (*Pistacia terebintus*). Le manguier s'est parfaitement naturalisé dans la plupart des régions tropicales où il a été introduit. Il est considéré comme une ressource alimentaire de tout premier ordre (VINCENOT D., 2004).

Le manguiier serait originaire de Malaisie ou, plus vraisemblablement, de la région indo-birmane. Sa culture s'est rapidement étendue dans les pays voisins et de façon intensive dans le sud-est asiatique dès le IV^{-ème} ou V^{-ème} siècle avant J-C. La zone de distribution du genre *Mangifera* est donc la région Indo-Birmane (INFOCOMM, 2016). Puis, sa culture s'est progressivement répandue à travers le monde dans les pays tropicaux et subtropicaux (LITZ E., 2009). Seules les mangues greffées donnent lieu à une culture et à une commercialisation importante. Les mangues non greffées ou « mango » font l'objet d'un commerce marginal en raison d'une qualité gustative moindre. Le nom d'espèce « *indica* » fait plutôt référence à un des lieux de sélection et d'amélioration de cette espèce. Le manguiier a été domestiqué depuis au moins quatre millénaires en Inde où il compte actuellement plus de 1 000 variétés (DE CANDOLLE A., 1884 ; MUKERJEE S-K., 1953). Depuis le 20^{-ème} siècle, la Floride peut être considérée comme une seconde zone de diversification de l'espèce où de nombreux nouveaux cultivars, dits floridiens, ont été sélectionnés puis introduits dans des pays producteurs tels que le Brésil, Israël ou l'Australie (LITZ E., 2009).

3.1.2 Caractéristiques botaniques du manguiier

Le genre *Mangifera* appartient à la classe des Dicotylédones, sous-classe des Archiclamidées, ordre des Sapindales, sous ordre des Anacardiinées et de la famille des Anacardiaceés. Cette famille regroupe de nombreuses espèces comme l'anacardier produisant les noix de cajou, le pommier de Cythère bien connu aux Antilles ou encore le pistachier. Le manguiier est un arbre à grand développement pouvant atteindre 30 à 50 m de hauteur, à port plus ou moins étalé selon les variétés. Le tronc cylindrique peut faire 1 mètre de diamètre. Sa longévité est importante : plus de 100 ans.

Le bois est assez cassant. Les feuilles, oblongues et lancéolées, de couleur vert sombre vernissé, atteignent 15 à 40 centimètres. Elles tombent et se renouvellent tout au long du cycle végétatif, laissant une couronne abondante et permanente. Les fleurs jaunâtres ou rougeâtres prennent naissance par centaines sur des panicules d'une trentaine de centimètres de long (Figure 7).



Figure 7 : Présentation d'un manguiier en âge de produire (D) avec, des inflorescences (A1 & A2), des fruits (C), une croissance végétative présentant de jeunes unités de croissance (UCs) végétative (B2) et des feuilles plus anciennes (B1) (©Photographies de Calabre, CIRAD, 2008)

3.1.3 Les variétés cultivées à l'île de La Réunion

Il y a à La Réunion une cinquantaine de variétés présentes. Ce chiffre tend à diminuer car certaines variétés n'ont pas leur place dans les vergers commerciaux en raison de leur sensibilité à certaines maladies et de leur modeste productivité (VINCENOT D., 2004).

Aujourd'hui, il y a environ une douzaine de variétés de mangues cultivées par des professionnels, toutes plantées sur porte-greffes essentiellement « Maison rouge », avec une large dominance des variétés José et Cogshall (mangue américaine ou mangue « qui dévisse » car le noyau se décolle facilement de la chair). La mangue José est un cultivar local très apprécié par la population réunionnaise (Figure 8). Il occupe 50% des superficies plantées. Le cultivar Cogshall occupe quant à lui plus de 30% de la superficie plantée. Cette mangue d'origine floridienne correspond aux standards des marchés internationaux et elle constitue la majorité des exportations qui restent cependant faibles (environ 110 t/an) (Figure 8). Ainsi, les cultivars José et Cogshall occupent actuellement plus de 80% des vergers (AMOUROUX P. *et al.*, 2013 ; VINCENOT D. *et al.*, 2015).

C'est une production en développement constant, notamment avec une tendance à la diversification de la gamme variétale afin d'étendre les périodes de commercialisation (DEGUINE J-P. *et al.*, 2016). Actuellement le Cirad évalue des variétés à La Réunion (Kent, Nam Doc Mai, Tommy Atkins, Irwin, Heidi, Sensation, Kensington Pride) dont diverses variétés d'origine floridienne qui se sont ajoutées aux variétés d'origine indienne (José) naturellement hybridées et sélectionnées par des passionnés et des agriculteurs réunionnais (Figure 8) (JESUS D. *et al.*, 2017).



Figure 8 : Mangues du cultivar Cogshall (A) et du cultivar José (B) (© NORMAND F., Cirad)

Le cultivar Cogshall représente l'arbre de référence pour la recherche agronomique à La Réunion. C'est la variété étudiée dans nos expérimentations.

3.1.4 Impacts environnementaux, sociaux et agronomiques de la culture

3.1.4.1 Impacts environnementaux

Contrairement aux productions de masse comme la banane ou l'ananas qui peuvent s'étendre sur des milliers d'hectares (e.g. les bananeraies en Amérique latine), la production de mangue concerne souvent des surfaces modestes. Enfin, c'est une culture qui demande des apports en irrigations et en intrants (fertilisants et phytosanitaires) moins importants que des cultures annuelles comme la canne à sucre. L'itinéraire cultural de la mangue est détaillé dans la partie «3.2.4 Itinéraire technique».

3.1.4.2 Impacts sociaux

La mangue est un fruit à saisonnalité marquée ce qui demande un roulement de personnel important et qui ne garantit pas un emploi permanent pour tous (requis pour la récolte, le conditionnement, le transport). Pour autant, le secteur dans son ensemble génère de l'activité grâce aux emplois indirects de la filière (commercialisation, transformation, conditionnement...), même s'il reste saisonnier.

3.1.4.3 Intérêt agronomique de la culture de mangue à La Réunion

L'intérêt agronomique d'une variété de mangue est défini par des critères précis qui répondent à la demande des producteurs, des distributeurs et des consommateurs d'une région ou d'un pays. Une variété intéressante d'un point de vue agronomique n'est pas forcément l'une des meilleures sur le plan gustatif. L'intérêt agronomique d'une variété peut se définir d'après les critères suivants (VINCENOT D., 2004) :

- Elle doit être acceptée facilement sur les marchés ;
- Elle doit pouvoir garder un bon aspect de fraîcheur après divers transports et manipulations ;
- Elle est capable de se conserver plusieurs semaines avant de donner des signes de dégradation ;
- Elle se récolte si possible avant les mois les plus exposés aux cyclones ;
- Elle présente une bonne tolérance aux attaques parasitaires ;
- Sa productivité doit permettre à l'arboriculteur de vivre de ses revenus.

3.2 Conduite d'un verger de mangues sur l'île de La Réunion

3.2.1 Cycle phénologique du manguier

Le cycle phénologique du manguier peut être décomposé en cinq phases : la floraison, la croissance du fruit, la maturation et la récolte du fruit, la croissance végétative et le repos végétatif. La culture du manguier est bien adaptée à un climat tropical chaud à mousson, avec une saison sèche prononcée (LITZ E., 2009) car c'est une espèce fruitière qui demande une alternance entre une saison chaude et humide favorable à sa croissance végétative, et une saison sèche et fraîche favorable à la floraison, puis à la croissance des fruits lorsque les températures et la pluviométrie remontent. La baisse des températures et des précipitations qui marquent l'hiver austral, généralement à partir de la fin du mois d'avril à La Réunion, génèrent un stress qui induit un arrêt de la croissance végétative, nécessaire à l'induction de la floraison à partir de juillet-août (CHACKO E.K., 1986 ; NUÑEZ-ELISEA R. et DAVENPORT T.L 1994 ; WHILEY A.W., 1992 ; RAMIREZ F. et DAVENPORT T.L., 2010).

A La Réunion, le cycle phénologique du manguier est influencé à la fois par des facteurs climatiques (température, pluviométrie) et par des facteurs endogènes (i.e. propres à la plante). Ainsi, la charge en fruits de l'arbre l'année précédente (i.e. pouvoir alternant du manguier), la position ou l'âge des unités de croissance peuvent modifier le déroulement du cycle phénologique du manguier et affecter la floraison. Par conséquent, le cycle phénologique n'est pas seulement lié aux conditions climatiques mais peut être manipulé dans une certaine mesure par des pratiques culturales adaptées (VINCENOT D. et NORMAND F., 2009). Ainsi, pour le cultivar Cogshall (Figure 9), la floraison a lieu durant l'hiver austral, de juillet à septembre, et la récolte s'étale de début décembre à fin janvier. La croissance végétative commence dès la fin de la floraison, et elle s'intensifie après la récolte, au cours de la saison chaude et humide. Elle se termine en avril-mai. Elle est suivie d'une période de repos végétatif au début de l'hiver austral, repos qui précède la floraison (VINCENOT D. et NORMAND F., 2009 ; AMOUROUX P., 2013).

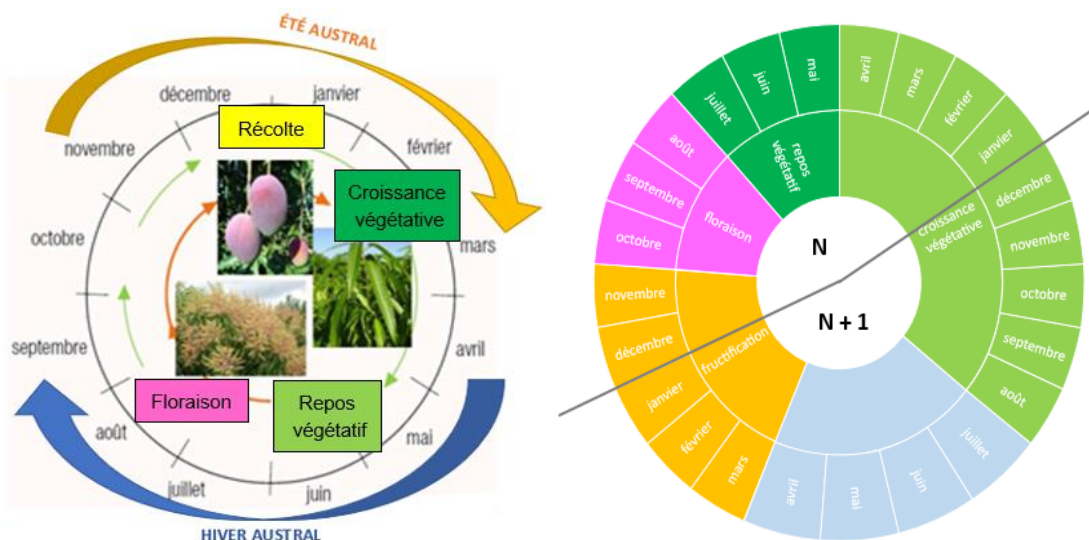


Figure 9 : Cycle phénologique du manguiers pour le cultivar Cogshall sur une année (figure de gauche) et sur 2 ans (figure de droite) (VINCENOT D., 2009). Sur la figure de gauche, les flèches de couleur orange indiquent successivement la floraison, la croissance du fruit et la récolte. Les flèches de couleur verte indiquent des périodes de croissance végétative (AMOUROUX P., 2013).

3.2.1.1 La croissance végétative du manguiers

La croissance du manguiers est rythmique alternant des phases de croissance (flushs ou pics) au niveau des bourgeons apicaux et latéraux avec des périodes de repos végétatifs apparents (DAVENPORT T-L et NUÑEZ-ELISA R., 2009). Le développement de la nouvelle unité de croissance (nommée unité fille) est divisé en huit stades phénologiques notés de B1 à H (Annexe 4) (DAMBREVILLE A., 2012).

3.2.1.2 Le repos végétatif du manguiers

Afin d'induire la floraison, il est nécessaire au manguiers d'avoir un repos végétatif d'environ deux mois. Plus longtemps et intensément durera le repos végétatif et meilleures seront les chances d'obtenir une production groupée et abondante (INFOCOMM, 2016).

3.2.1.3 La floraison du manguiers : de la fleur au fruit

La floraison a souvent lieu après une longue période de repos dans les zones tropicales et durant les mois frais de l'hiver en zone subtropicale. Les températures basses dans les régions subtropicales stimulent la floraison du manguiers tandis que l'âge de la dernière unité de croissance est un facteur important dans les climats chauds (DAVENPORT T-L, 2000, 2003 ; VAN DER MEULEN J., *et al.*, 1971).

Les fleurs (3-4 mm) sont regroupées sur des grappes coniques de taille variable dénommées panicules ou inflorescences qui apparaissent à l'extrémité des branches. Les inflorescences sont des structures ramifiées avec une forme le plus souvent pyramidale. Leur taille, leur forme et leur couleur dépendent de la variété. Le nombre de fleurs par inflorescence varie de plusieurs centaines (200) à plusieurs milliers (10 000) selon les variétés (GOGUEY T., 1995 ; GALÁN SAÚCO V., 1999).

Le manguiers est androdioïque, c'est-à-dire que : deux types de fleurs coexistent dans l'inflorescence : les fleurs mâles dont le pistil est avorté et qui portent une seule étamine fonctionnelle, et les fleurs hermaphrodites, dont le pistil et les étamines sont fonctionnels. La répartition du nombre de fleurs mâles ou hermaphrodites par panicule est variable selon les variétés.

Le développement de l'inflorescence est découpé en huit stades phénologiques notés de B1 à G (Figure 10 & Annexe 5) (DAMBREVILLE A., 2012).

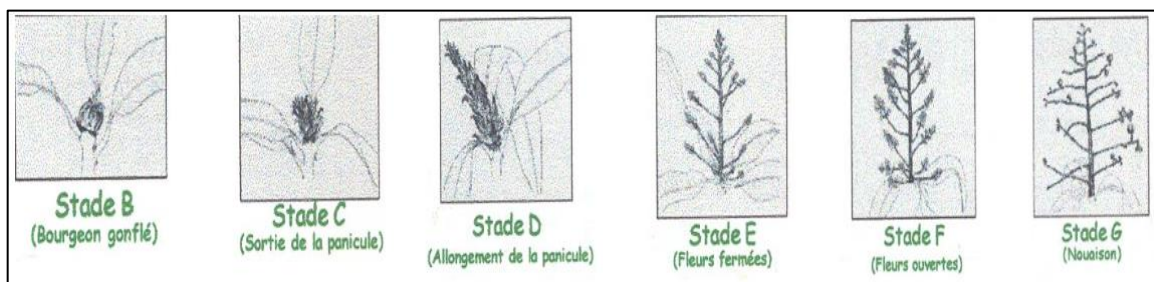


Figure 10 : Stades phénologiques reproducteurs du manguiier (VINCENOT D., 1995).

Les fleurs ont une pollinisation essentiellement entomophile assurée par différentes espèces de mouches appartenant notamment à la famille des Calliphoridae (SINGH G., 1988). D'autres insectes tels que thrips, papillons, abeilles contribuent dans une moindre mesure à la fécondation des fleurs de manguiier (LITZ E., 2009). La part de la pollinisation entomophile par rapport à celles probables par le vent (anémophile) ou par gravité n'est pas connue (RAMIREZ F. et DAVENPORT T.L. 2016 ; LITZ E., 2009).

Après fécondation, quelques-unes se développent en drupes charnues qui donneront des mangues. Il faut compter ensuite 3 à 4 mois entre la nouaison et la récolte des mangues.

Ainsi, un nombre infime de fleurs hermaphrodites donnera suite à un fruit viable.

3.2.1.4 La fructification du manguiier

Une mangue met environ 120 jours à mûrir à partir de la nouaison. Ce temps peut varier selon l'altitude, la variété et la nature du sol. C'est un fruit climactérique (i.e. sa maturation nécessite une crise éthylénique qui peut s'opérer hors champ en post récolte de manière contrôlée ou non, d'où la possibilité de récolter précocement au stade « vert mature »). Ce stade de prématurité s'appelle stade de maturité de récolte ou de maturité physiologique. La plupart des pays exportateurs récoltent leurs mangues à maturité physiologique : les fruits se conservent plus longtemps et l'évolution de leur maturation peut être contrôlée en les entreposant dans des chambres frigorifiques diffusant de l'éthylène à des doses précises (l'éthylène est un gaz naturel, dégagé par les fruits au cours de leur maturation) (VINCENOT D., 2004).

La période de récolte des fruits s'étale d'octobre pour les plus précoces, à février pour les plus tardives. La précocité de la récolte a un double enjeu pour les producteurs. Le premier est d'éviter la perte des récoltes par les cyclones qui sévissent le plus souvent de décembre à avril. Le deuxième est d'éviter la concurrence en main d'œuvre avec les autres fruits de fin d'année comme le litchi (JACQUOT M., 2016 ; DEGUINE J-P. *et al.*, 2016).

❖ Morphologie du fruit

La mangue est une drupe (fruit à noyau) dont la forme est très variable selon la variété, mais toujours asymétrique (ovoïde, elliptique, réniforme...). En mûrissant, le fruit peut rester vert mais beaucoup de variétés prennent des teintes variées et dégradées : jaune clair à orange vif, rose pâle à pourpre, violet à rouge carmin... Les mangues pèsent entre 150 et 1500 g pour les plus lourdes. Sur les marchés, les fruits de 250 à 400 g sont les plus appréciés (VINCENOT D., 2004).

❖ Caractéristiques nutritionnelles

La mangue est un des fruits les plus riches en provitamines A. Elle est également très bien pourvue en vitamine C (autant que dans les agrumes) et B9 (acide folique) recommandée dans les cas d'anémie. Les autres atouts nutritionnels sont moins les apports énergétiques que la présence de nombreux minéraux en particulier le fer (Annexe 2) (Anses, 2017).

3.2.2 Exigences écologiques et habitat du manguiier

Le manguiier est un arbre assez résistant. Sa température de développement optimale est entre 23° et 27°C et il supporte les fortes chaleurs (supérieures à 45°C si son environnement est ombragé) mais pas les températures basses (5 °C). Il n'est pas sensible à des variations de pluviométrie importantes (le manguiier a un comportement isohydrique¹). Le manguiier est peu exigeant en termes de sol, pourvu qu'il soit assez profond (minimum 2 m). Il a la capacité et l'avantage de résister aux cyclones (grâce aux propriétés mécaniques des porte-greffes sélectionnés notamment avec son système racinaire pivotant) ce qui est un atout sur l'île où la saison cyclonique est marquée et peut être importante certaines années.

Le manguiier a besoin d'un climat chaud et sec pour son développement. La période de floraison est sensible au climat car les fleurs sont très sensibles au froid et à l'humidité (températures inférieures à 15°C). L'apport d'eau est également important au cours du grossissement des fruits : à cette période, un manguiier adulte dont la surface foliaire s'étend sur 20 m² au niveau du sol consomme environ 100 l d'eau par jour (VINCENOT D., 2004).

Ainsi, afin d'assurer une bonne productivité, les manguiiers doivent être implantés dans une zone où règne un climat tropical semi-aride (chaud et sec), présentant une saison humide et une saison sèche distinctes. Pendant la floraison, les températures minimales doivent être supérieures à 15°C sinon elle risque d'être inhibée (JACQUOT M., 2016). Dans ces conditions, la floraison (juillet à octobre) a lieu durant une partie de l'hiver austral. Elle est hétérogène, aussi bien à l'échelle de l'île que dans les vergers.

3.2.3 Bassin de production de la mangue sur l'île de La Réunion

À La Réunion, la culture du manguiier est restreinte entre 0 et 400 m d'altitude sur des zones où règne un climat tropical chaud et sec. Ces contraintes d'habitat rendent la production de mangue très cloisonnée à l'Ouest de l'île (côte sous-le-vent) protégée des intempéries par rapport à l'Est de l'île où le climat est très humide (côte au-vent).

Il y a trois bassins de production : le Nord-Ouest, l'Ouest et le Sud. La zone Nord-Ouest est historiquement la première zone de production. Les communes de La Possession et Saint-Paul (zones de Grand Fond et Cap la Houssaye) totalisent aujourd'hui près de 50% du nombre des exploitations productrices et près de 70% des surfaces de vergers de manguiiers. Les exploitations productrices de mangues dans cette zone ont une taille moyenne de verger (6,1 ha) supérieure à celles des deux autres zones, respectivement, 2,1 et 3,1 ha pour les zones Ouest et Sud (Figure 11) (VINCENOT D. et NORMAND F., 2009 ; AMOUROUX P., 2013).

Ainsi le positionnement du bassin de production est totalement corrélé au climat (Figure 11 et 12).

¹ En physiologie, relatif à l'isohydrie, équilibre hydrique, de teneur en eau dans l'organisme. Les plantes dites "isohydriques", ferment rapidement leurs stomates lors d'un déficit hydrique. Ceci conduit à une économie de l'eau du sol disponible, mais entraîne une baisse précoce de la photosynthèse. Ce comportement est bien adapté à des déficits hydriques forts (ENCYCLOPAEDIA UNIVERSALIS, 2018 ; LECOEUR J., 2007).



Zone	% nombre d'exploitation productrice de mangues	% de surfaces de vergers en mangue	Surface moyennes par exploitation
Nord-Ouest	48	67	6,1
Ouest	25	13	2,1
Sud	27	20	3,1

Figure 11 : Carte représentant les trois zones de productions de mangues à La Réunion (en haut) et spécificité de chaque zone en termes de surfaces de vergers de manguiers et de nombre d'exploitations agricoles productrices de mangues (en bas) (VINCENOT D. et NORMAND F., 2009, AMOUROUX P., 2013)

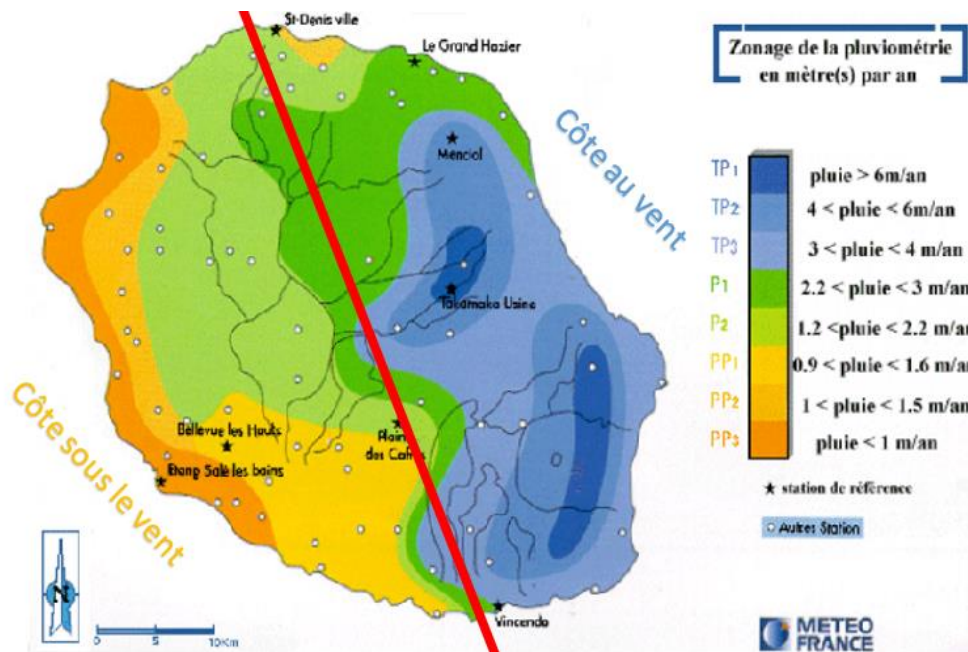


Figure 12: Carte météorologique indiquant la pluviométrie (METEO France, 2017).

3.2.4 Itinéraire technique

Les interventions culturales (Tableau IV et V) dans les vergers de manguiers se résument à la gestion des organismes nuisibles (insectes, bactéries, etc.) et adventices (plantes) à la taille, au broyage (VINCENOT D. et NORMAND F., 2009) à l'irrigation si besoin (INFOCOMM, 2016) et enfin à la récolte. L'apport de fertilisants est très marginal.

3.2.4.1 Les pratiques culturales hors phytosanitaires

Les pratiques culturales sont réfléchies en fonction de l'itinéraire technique du manguiier (floraison, fructification, croissance végétative et repos végétatif) (Tableau IV). Les pratiques culturales réalisées dans les vergers de manguiers sont :

- **Le travail du sol**, réalisé seulement lors de la plantation des arbres ;
- **La taille**, généralement les arbres sont taillés tous les deux ans pour assurer une bonne aération du feuillage et des vergers (SINATAMBY M., com. pers. 2017 ; JACQUOT M., 2016). L'intensité de taille agricole est souvent assez sévère pour stimuler les arbres (croissance/floraison) ;
- **La fertilisation** : n'est effectuée généralement que sur les sept premières années. Il est indiqué dans le guide PFI qu'hormis pour le calcium, le zinc et le cuivre, les sols réunionnais étaient bien pourvus en éléments minéraux (pour certains, ils sont plutôt en excédent) (VINCENOT D. et NORMAND F., 2009). C'est principalement une fertilisation azotée, effectuée sur les premières années pour développer la croissance végétative des jeunes manguiers ;
- **Le broyage** : une fois la taille effectuée, les rameaux enlevés sont disposés au centre de l'inter-rang pour faciliter leur broyage et leur évacuation hors de la parcelle ;
- **L'irrigation** (en goutte à goutte) débute lors de la floraison jusqu'à ce que les fruits arrivent à maturité ;
- **La récolte**, toujours manuelle. Plusieurs passages sont nécessaires du fait de la grande variation du stade de maturité des fruits d'un même verger (Agriculteurs et SINATAMBY M., comm. pers., 2017).

Tableau IV : Pratiques culturales sur manguiier

Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	
<i>Floraison</i>				<i>Fructification</i>			<i>Croissance végétative</i>		<i>Repos végétatif</i>			
Irrigation												
					Récolte deux fois par semaine							
Taille + Broyage									Taille + Broyage			

3.2.4.2 Les pratiques phytosanitaires

Les pratiques culturales les plus répandues consistent en des traitements chimiques, souvent en localisé (sur le rang), contre les organismes nuisibles (lambda-cyhalothrine contre la punaise, soufre contre l'oïdium, spinosyne contre les mouches des fruits) (Tableau V) et l'application d'herbicides (désherbage chimique au glyphosate) dans les exploitations qui maintiennent un sol nu dans les vergers.

Sinon, de façon générale, i) l'application des traitements fongicides (au soufre) est effectuée de façon préventive et systématique, ii) le traitement par taches contre les mouches des fruits est effectué en localisé sur une partie du feuillage de certains arbres du vergers (pas forcément ceux qui portent le plus de fruits) ; il est souvent effectué de façon plus ou moins systématique sur des ½ bouteilles plastique et iii) pour l'application de l'insecticide contre la punaise, c'est un traitement curatif (Karaté Zéon) sur seuil en localisé, selon les résultats de battages.

L'évolution de la réduction de l'IFT moyen (Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires) est encourageante sur manguier car il a été réduit de 43% entre 2012 et 2015. En 2010 l'IFT total était de 23,6 (IFT Herbicides : 1,7 ; IFT Fongicides : 10,2 ; IFT Insecticides : 11,7). Pour les membres du réseau Dephy Ferme/Mangue (14 exploitations pour 42,5 ha) (cf. glossaire) l'IFT est passé de 20 en 2012, à 10 en 2016, soit une réduction de 50% (Dephy-Mangue, 2017). Donc la réduction de l'utilisation des pesticides à La Réunion est possible.

Tableau V : Calendrier des pratiques phytosanitaires (1 : observation du bioagresseur, 2 : traitement, 3 : produit utilisé)

	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
	Floraison				fructification			croissance végétative		Repos végétatif		
	surveillances hebdomadaires de l'ensemble de la parcelle											
1	Oïdium	Cécidomyies des fleurs	Punaises	Mouches des fruits				Cécidomyies des feuilles	Cochenilles			
2	fongicide	Non traité	insecticide	Récolte sanitaire(1) piégeage de masse(2)				Non traité				
3	Thiovit jet	Pas de produit homologué	Karaté Zéon	SYNEIS APPAT®				Pas de produit homologué	savon noir/huile de neem			
												

(1) Récolte prophylactique des fruits tombés (ramassage et élimination)

(2) Piégeage de masse : e.g. les pièges CERATIPACK et DECIS TRAP s'utilisent à une densité de 50 à 80 pièges par hectare. Piègent uniquement les femelles

Pièges à para-phéromones qui piègent uniquement les mâles de *Bactrocera spp*

Dans les vergers de manguiers conduits en AB, l'absence de traitement herbicide favorise le développement d'une couverture végétale sur l'ensemble de la parcelle et permet de limiter certaines populations de ravageurs comme la cécidomyie des fleurs (Agriculteurs, comm. pers., 2017). Néanmoins, maîtriser l'enherbement dans les vergers de manguiers est souvent indispensable pour limiter la prolifération d'autres ravageurs. Les traitements insecticides homologués en AB (insecticide de la famille des spinosynes contre les mouches des fruits et fongicide à base de soufre contre l'oïdium) sont effectués lorsque les seuils de nuisibilité sont atteints (observation d'un certain nombre d'individus dans les pièges à détection ou lors de battages).

4 Les problèmes agronomiques affectant la production de mangue : état des lieux sur les bioagresseurs du manguier

L'itinéraire technique mis en place dans les vergers de manguiers repose sur trois principes : i) assurer le repos végétatif et la croissance végétative de l'arbre entre deux années de récolte, ii) maîtriser la floraison et la gestion de ses ravageurs pour sécuriser la récolte iii) gérer les ravageurs sur les fruits pour ne pas perdre la récolte. Ainsi la gestion des bioagresseurs est un des facteurs essentiels à maîtriser pour assurer une bonne conduite du verger. La gestion des ravageurs doit se faire en cohérence avec les plans de réduction des pesticides (Ecophyto).

4.1 Les bioagresseurs du manguier

La culture et la production de mangues sont menacées par plusieurs bioagresseurs à La Réunion (ATIAMA M., 2016 ; AMOUROUX P., 2013 ; JACQUOT M., 2016 ; NORMAND F., et al., 2011, VINCENOT D. et al., 2015) :

- 14 espèces d'arthropodes (Tableau VI),
- 1 bactérie (*Xanthomonas citri* pv. *Mangiferaeindicae*), occasionnant la maladie des taches noires ou bactériose
- 2 champignons : i) *Oidium mangiferae* occasionnant l'oïdium et ii) *Colletotrichum gloeosporioides* (*Fungi Ascomycota*) occasionnant l'antracnose du manguier.

Parmi ce large panel de bioagresseurs (pas seulement entomologiques), la culture du manguier est limitée par principalement trois insectes ou groupes d'insectes qui posent de sérieux problèmes (Tableau VI) :

- ❖ Dommages sur les inflorescences :
 - La punaise *Orthops palus* Taylor (Hétéroptères : Miridés) ;
 - La cécidomyie des fleurs *Procontarinia mangiferae* Felt (Diptères : Cécidomyidés) ;
- ❖ Dommages sur les fruits :
 - Les mouches des fruits *Ceratitis capitata* (Wiedemann) et *Ceratitis rosa* (Karsch) ou *C. quilici* (Quilici), *Bactrocera zonata* (Saunders) et *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptères : Téphritidés).

Tableau VI : Présentation des ravageurs de la culture du manguier

Partie attaquée	Ravageur	Nom scientifique	Importance
Bois	Longicorne	<i>Batocera rufomaculata</i>	Mineure
Parties végétatives	Cécidomyie des feuilles	<i>Procontarinia matteiana</i>	Mineure
Parties végétatives	Cochenille	<i>Icerya seychellarum</i>	Mineure
Parties végétatives	Cochenille	<i>Coccus mangiferae</i>	Mineure
Parties végétatives	Cochenille	<i>Aulacaspis tubercularis</i>	Mineure
Parties végétatives	Cochenille	<i>Pseudoanidia trilobitiformis</i>	Mineure
Parties végétatives	Cochenille	<i>Ceroplastes sp.</i>	Mineure
Inflorescences	Cécidomyie des fleurs	<i>Procontarinia mangiferae</i>	Majeure
Inflorescences	Punaise	<i>Orthops palus</i>	Majeure
Inflorescences	Thrips	<i>Scirtothrips aurantii</i>	Mineure
Inflorescences	Thrips	<i>Selenothrips rubrocinctus</i>	Mineure
Fruits	Mouche des fruits	<i>Bactrocera zonata</i>	Majeure
Fruits	Mouche des fruits	<i>Ceratitis quilici</i> ou <i>C. rosa</i>	Majeure
Fruits	Mouche des fruits	<i>Ceratitis capitata</i>	Majeure

4.2 Les bioagresseurs de la floraison

Le manguier est confronté à de fortes pressions parasitaires, surtout des ravageurs lors de la floraison, qui peuvent provoquer d'importants dommages, en particulier lors de la floraison sur l'île de La Réunion. La floraison est la période clé de construction de la production, les inflorescences et les jeunes fruits sont confrontés à de nombreux insectes nuisibles. La Cécidomyie des fleurs de manguiers (abordée dans une partie plus détaillée ci-après), la Punaise du manguier et des espèces de thrips dont *Thrips spp.* et *Scirtothrips aurantii* (Thysanoptera : Thripidae) peuvent causer la perte totale de la production par leurs dégâts sur les inflorescences. L'oïdium (*O. mangiferae*) est également une cause importante de dégâts sur inflorescences. La Cochenille des Seychelles *Icerya seychellarum* (Hemiptera : Margarodidae) est présente toute l'année. Elle provoque un affaiblissement des arbres et impacte l'ensemble des stades phénologiques du manguier. Cela peut aussi entraîner le développement de maladie cryptogamique comme la fumagine qui se développe sur le miellat des cochenilles pouvant causer des dégâts indirects spectaculaires. L'attribution à tel ou tel bioagresseur des dégâts sur les panicules peut s'avérer délicate dans certains cas. Ainsi, les dégâts des punaises (*O. palus*) sur les inflorescences peuvent parfois être confondus avec ou masqué par ceux de l'oïdium, du fait de leur fréquente concomitance, même si, une attaque d'oïdium laisse apparaître un feutrage blanc caractéristique sur les organes contaminés (VINCENOT D. *et al.*, 2015).

4.2.1 La punaise *Orthops palus*

4.2.1.1 Morphologie et description de l'insecte

L'espèce qui est présentée comme un des ravageurs principaux de la culture du manguier est une punaise (*Heteroptera, Miridae*) : *Orthops palus* (ATIAMA M., 2016).

C'est une punaise de petite taille (~3,5 mm) de couleur jaune pâle à vert pomme (Figure 13). Les larves et les adultes piquent et sucent la sève des inflorescences et des jeunes pousses végétatives, ce qui entraîne leur dessèchement (Figure 13).

Il est difficile d'observer les adultes, notamment pour les comptages de populations car ils sont ailés et s'envolent rapidement lors des battages. En revanche, les larves peu mobiles sont facilement identifiables (VINCENOT D. *et al.*, 2015).



Figure 13 : Punaise du manguier (*O. palus*) adulte (© FRANK A., Cirad) et ses dégâts occasionnés sur une jeune inflorescence (© VINCENOT D., Chambre d'agriculture)

Il a été recensé près d'une quinzaine d'espèces de *Miridae* dans les vergers de manguiers à La Réunion. Parmi ces espèces, seule *O. palus* provoque des dégâts sur les inflorescences de manguier et pose donc problème sur cet arbre fruitier (VINCENOT D. *et al.*, 2015), expliquant le peu de travaux publiés et le manque de connaissances à son sujet. Une thèse a été récemment conduite (ATIAMA M., 2016) portant sur des études bioécologiques détaillées de ce ravageur.

4.2.1.2 Cycle de vie d'*O. palus*

Orthops palus a un cycle de vie complet d'environ un mois avec des plantes hôtes toute l'année ; il peut y avoir douze générations par an. Le cycle se divise en six stades pré-imaginaux (stade embryonnaire et six stades larvaires) précédant le stade adulte. Durant tous ces stades, l'insecte se nourrit des inflorescences. Cette punaise est capable de se reproduire sur le manguier en pondant ses œufs dans les panicules florales. Mais les principaux dégâts observés sont occasionnés lors de sa nutrition. Les punaises sont présentes sur les inflorescences dès les premières floraisons, mais leur abondance augmente dès la pleine floraison jusqu'à la nouaison (août et septembre) (VINCENOT D., *et al.*, 2015). Il n'existe pas à ce jour de mesures prophylactiques contre la punaise, au grand dam des agriculteurs qui sont contraints de recourir à des produits chimiques si le seuil de risque dommageable est atteint pour la culture (Agriculteurs, comm. pers., 2017).

4.2.2 Les thrips, ravageurs des inflorescences et des fruits noués

4.2.2.1 Description et morphologie de l'insecte

Les thrips sont de petits insectes piqueurs ne dépassant pas 1 mm de long (Figure 14). Ils sont d'une grande mobilité et peuvent être transportés par le vent sur des dizaines de kilomètres. Sur manguier, les périodes de pullulations occasionnelles s'étendent d'août à novembre (coïncidant avec la floraison et la nouaison). Les thrips recherchent abri et nourriture sur les inflorescences et sur les jeunes pousses très riches en sève. Leur incidence sur la fécondation des fleurs n'est certainement pas négligeable et leur rôle est plutôt bénéfique dans la plupart des cas.

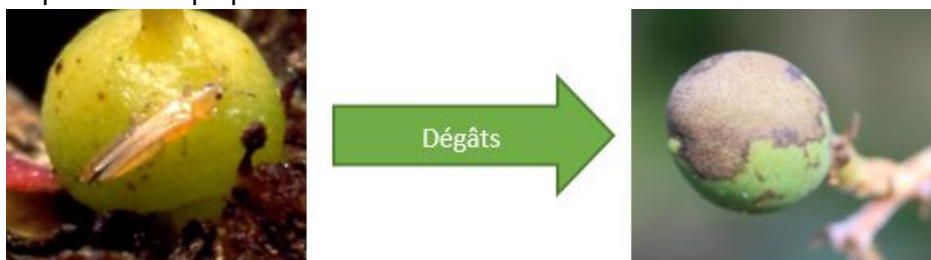


Figure 14 : Thrips *Scirtothrips aurantii* (© VINCENOT D., CA) et ses dégâts sur fruit noué (© VANHUFFEL L., CA)

L'évolution de la population de thrips est surtout favorisée par les conditions sèches de l'ensemble des secteurs de production de la mangue ainsi le seuil de risque dépend fortement des conditions météorologiques. Quelques rares pullulations dans les secteurs chauds et secs peuvent endommager sérieusement la floraison. Les fruits inférieurs à 40 mm de diamètre se recouvrent rapidement d'une croûte liégeuse, leur croissance est bloquée et ils finissent par chuter (Figure 14). Dans des conditions chaudes et sèches, une pullulation supérieure à 30 thrips par battage des inflorescences ou 2 thrips observés par fruit peut entraîner des dégâts sur la floraison ou la chute des fruits.

Les variétés sensibles sont les mangues thaïlandaises « Nam Doc Mai » et floridiennes « Cogshall ».

4.2.2 Mesures prophylactiques

Le maintien d'un couvert végétal sous la frondaison des manguiers et un arrosage par micro-aspiration limitent le développement du thrips. La présence d'une bande fleurie au sein du verger pourrait permettre le maintien de la présence de prédateurs comme une autre espèce de thrips (*Frankliniella occidentalis*) et la punaise *Orius laevigatus* (BSV, 2015) et potentiellement certains acariens Phytoséiides prédateurs.

4.2.3 La principale maladie de la floraison du manguiers : l'oïdium

L'oïdium (*O. mangiferae*), est un champignon qui se développe pendant l'hiver austral sur les inflorescences et le feuillage. Contrairement aux autres champignons, l'oïdium ne nécessite pas une forte hygrométrie pour se développer. C'est un fort gradient thermique jour/nuit qui déclenche son apparition (VINCENOT D. et al., 2015) et le développement d'un feutrage blanc (mycélium) sur les inflorescences. Les fleurs sont « grillées » et il n'y a pas de nouaison (Figure 15). La sensibilité à l'oïdium varie d'une variété à l'autre. La variété Cogshall y est particulièrement sensible. En absence d'un traitement fongicide (à base de soufre) des pertes conséquentes de récoltes sont à craindre (VINCENOT D. et al., 2015).



Figure 15 : Inflorescence avec présence d'oïdium (© VINCENOT D., CA)

4.3 Les bioagresseurs des fruits

Parmi les bioagresseurs affectant les mangues on trouve surtout des insectes et plus particulièrement des diptères communément appelés « mouches des fruits ». De par leur importance, ce sont les mieux connues (ATIAMA M., 2016).

4.3.1 Morphologie et description des mouches des fruits

À La Réunion, trois espèces de mouches (Diptères : Téphritidés) infestent les mangues en les piquant (Figure 16).

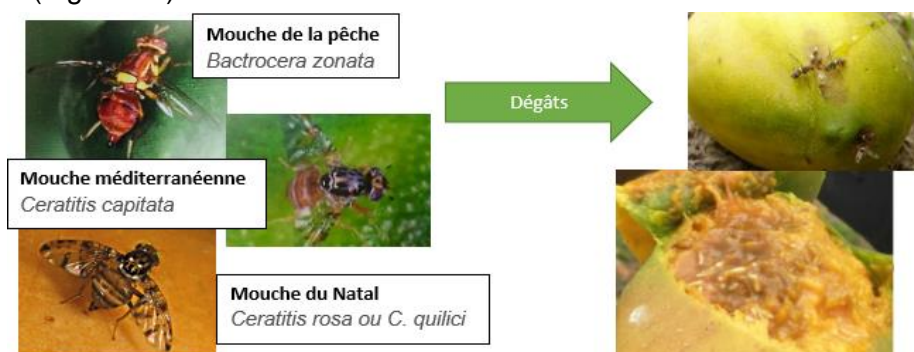


Figure 16 : Les mouches des fruits présentes à La Réunion (© FRANK A., Cirad ; © VINCENOT D., CA et leurs dégâts sur fruits avortés et mûrs © J.F. Vayssières et © I. Grechi, Cirad)

Ces trois espèces sont présentes sur toute l'île, leur localisation est différente en fonction de l'altitude ; jusqu'à 600 m pour *B. zonata* et *C. capitata* et pouvant aller jusqu'à 1500 m pour la mouche du Natal (*C. rosa* ou *C. quilici*) (VINCENOT D., *et al.*, 2015).

4.3.2 Cycle de vie des mouches des fruits

Le processus d'infestation est l'œuvre des femelles qui pondent en piquant à travers la peau du fruit grâce à leur ovipositeur. Les adultes (des trois espèces *C. capitata*, *C. rosa/quilici* et *B. zonata*) pondent dans les mangues avortées une fois celles-ci tombées au sol. En revanche, pour *Bactrocera dorsalis* (cf. partie suivante 4.3.3) la littérature stipule que les adultes pourraient pondre directement sur les fruits dans l'arbre et que ceux-ci tomberaient de ce fait (KONTA I. S. *et al.*, 2015, étude réalisée au Sénégal). Dans les deux cas, les larves émergentes se nourrissent de la chair du fruit pendant 4 à 7 jours au terme desquels elles s'éjectent pour s'empurger dans le sol et passer au stade adulte. (Figure 17). Des lors que les pupes atteignent le sol, elles sont exposées aux prédateurs généralistes (fourmis, carabes, araignées, staphylins...) qui se nourrissent des larves ou des pupes. Il faut une semaine environ aux nouveaux adultes pour émerger des pupes. La durée de cycle est conditionnée par les températures ; elle est courte en saison chaude (moins d'un mois). Les attaques sont plus importantes en saison chaude et humide de janvier à mars (DEGUINE J-P. *et al.*, 2016 ; VINCENOT D., *et al.*, 2015).

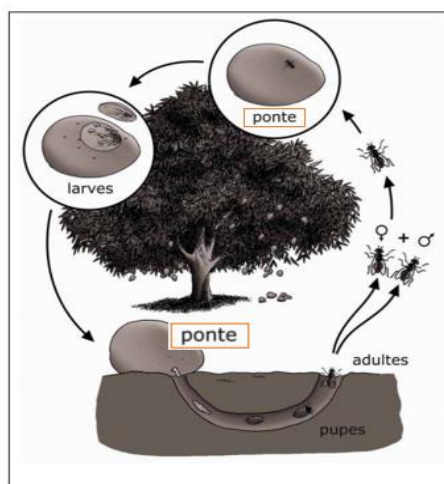


Figure 17 : Cycle de développement des espèces de Tephritidae carpophages (CTA, 2007)

4.3.3 Cas particulier et récent d'une nouvelle mouche ravageuse : *B. dorsalis*

La Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles (FDGDON) a détecté, pour la première fois à La Réunion, une nouvelle mouche des fruits *Bactrocera dorsalis* dans le cadre de la surveillance biologique du territoire.

Cette détermination a été confirmée localement par le Cirad et par le laboratoire national de référence (Anses, LSV, unité d'entomologie de Montpellier) le vendredi 5 mai 2017.

Cette mouche est considérée comme un nouveau ravageur car elle s'attaque aux productions de fruits et légumes, les rendant non commercialisables (DAAF, 2017). La mouche orientale (ou asiatique) des fruits (*B. dorsalis*) est l'une des cinq espèces les plus nuisibles au monde. De nombreuses invasions par les mouches des fruits de la famille des Tephritidae sont observées dans le monde. Les résultats de thèse (MZE HASSANI I., 2017) ont montré une forte abondance de *B. dorsalis* dans les régions humides de basse altitude aux Comores. Depuis sa détection à La Réunion, un dispositif de surveillance renforcée a été mis en place. Au vu des premiers résultats, *B. dorsalis* est aujourd'hui considérée comme installée sur l'île. Il s'agit désormais de renforcer les bonnes pratiques en vergers afin de limiter son impact (CADET S., 2017).

4.3.4 Mesures prophylactiques et autres techniques agroécologiques pour la gestion des mouches des fruits à La Réunion

Les méthodes de lutte actuellement utilisées sont i) la récolte sanitaire éventuellement couplée avec l'augmentorium (la récolte prophylactique précoce des fruits avortés n'est pas pratiquée, c'est son potentiel comme levier de gestion que nous étudions dans l'étude 2017) ; ii) le piégeage de masse et iii) le traitement par taches au Synéïs Appât®, qui peut être considéré comme agroécologique puisqu'on ne traite qu'une partie du feuillage de certains arbres avec un mélange de 99,8% d'attractif alimentaire et 0,2% d'un insecticide biologique autorisé en AB. Certaines de ces pratiques sont explicitées ci-après.

❖ La récolte sanitaire ou la récolte prophylactique

Chez le manguier, il existe un peu avant la récolte un éclaircissement naturel de l'arbre, qui touche les jeunes fruits verts. Cet éclaircissement naturel est bénéfique pour la production (amélioration du calibre des fruits). Les fruits verts avortés tombent au sol et ils sont rarement évacués des parcelles par les producteurs. Ce pourrait être des sources d'infestation ou de réinfestation par les 3 principales espèces « historiques » de mouches des fruits à La Réunion ainsi que pour la quatrième espèce (*Bactrocera dorsalis*) détectée à La Réunion pour la première fois en mai 2017, et sur laquelle cette source d'infestation a été mise en évidence en Afrique (VAYSSIERES J.F. *et al.*, 2008 ; DIATTA P. *et al.*, 2013). Pour gérer les mouches des fruits dans les vergers, il est recommandé de ramasser régulièrement les fruits au sol pour rompre le cycle des ravageurs. Si ce ramassage a lieu pendant la période de récolte il s'agit d'une récolte sanitaire. Si le ramassage s'effectue sur des fruits avortés tombés au sol quelques jours ou semaines avant la période de récolte alors il s'agit d'une récolte prophylactique. Elle est effectuée uniquement sur des fruits « verts » avortés.

La prophylaxie semble être la tactique la plus efficace de protection contre les mouches des fruits. Cette méthode entrave leur cycle de reproduction. Il convient donc de ramasser et détruire dans l'immédiat les mangues proches de la maturité tombées au sol (récolte sanitaire), surtout si elles sont piquées par les mouches des fruits (*Bactrocera* et *Ceratitis*). Il faut alors se poser la question du devenir des fruits infestés. Leur destruction est jugée efficace si les mangues sont distribuées aux animaux de fermes (cochons, poules, canards), ou enterrées à plus de 30 cm de profondeur ou enfermées dans des fûts hermétiques, disposées dans des sacs plastiques fermés hermétiquement (laissés 15 jours au soleil) ou placées dans un augmentorium qui permet une complémentarité entre la lutte physique et la lutte biologique.

❖ L'augmentorium

L'augmentorium est une structure ressemblant à une tente fermée dans laquelle les fruits infestés ramassés au champ sont déposés. L'augmentorium empêche ainsi la réinfestation de l'agroécosystème par une nouvelle génération d'adultes de mouches qui émergent dans l'augmentorium (lutte physique), de par la présence d'un filet à la maille adaptée, placé sur le toit de l'augmentorium, qui permet en revanche de relâcher dans la nature les parasitoïdes (*Fopius arisanus*) des mouches (lutte biologique) (Figure 18) (DEGUINE J-P. *et al.*, 2011). Les fruits se décomposent dans l'augmentorium ce qui peut servir ensuite à alimenter du compost. Néanmoins, il est impératif que la destruction des mouches soit complète. Pour ce faire, les fruits piqués sont mis dans des sacs plastiques noirs laissés au soleil afin d'éradiquer par solarisation les mouches à l'intérieur (l'augmentation de température dans le sac permet de tuer les organismes biologiques). Cette technique ne permet donc pas la viabilité des parasitoïdes si l'issue est le compostage des fruits.



Figure 18 : Types d'augmentoriiums de deuxième génération. A) P2GA ; B) P2GB

❖ Le piégeage de masse

Pour gérer les populations de mouches des fruits, le piégeage de masse des femelles peut représenter également une alternative intéressante chez *Bactrocera* et *Ceratitis*. La technique du piégeage de masse combine en son sein l'attractif pour femelles et un insecticide.

- Les deux combinaisons piège-attractif les plus efficaces pour *Ceratitis* sont : le Maxitrap-Ferag CC D TM et le Tephritrap-Biolure-unipak, munis d'une plaquette de dichlorvos.
- Des plaquettes insecticides à base de deltaméthrine peuvent remplacer celles de dichlorvos, une matière active maintenant interdite en Europe. Elles donnent de très bons résultats, presque équivalents à ceux du dichlorvos (PEÑARRUBIA-MARIA E. *et al.*, 2014). Il s'agit du Ceratipack. Celui-ci comprend un attractif proche du Biolure (acétate d'ammonium, chlorhydrate de triméthylamine, 1,5 diamino-pentane), dans un piège dont le couvercle est imprégné de deltaméthrine.
- Un autre système de piégeage voisin, le Decistrap de la société Bayer, qui a également été homologué pour cet usage. Les piégeages de masse à l'aide du piège Ceratipack et Decistrap ont été abordés dans la partie « 3.2.4.2 Les pratiques phytosanitaires ».
- Le piégeage de masse de *Bactrocera* se fait avec une para-phéromone (le méthyl-eugénol) dans des pièges de type Mac-Phail ou plus simplement des bouteilles plastiques d'eau minérale aménagées (RATNADASS A., comm. pers., 2018).

5 État de l'art sur la cécidomyie des fleurs et sa gestion agroécologique

Après avoir présenté le contexte général sur les principaux ravageurs du manguier connus à La Réunion impactant la floraison et la fructification, nous allons nous pencher tout particulièrement sur un bioagresseur de la floraison : la cécidomyie des fleurs qui est le ravageur modèle de l'expérimentation présentée dans ce mémoire.

Ce dernier volet porte sur une synthèse bibliographique détaillée du ravageur et de ses modes de gestion dans les vergers.

5.1 Historique, morphologie et description de la cécidomyie des fleurs

Les cécidomyies représentent une famille de Diptères très associée aux plantes (GAGNÉ R-J, 2010). La famille des Cecidomyiidae est la plus importante famille de l'ordre des Diptères, avec plus de 6100 espèces. Elle appartient au sous-ordre des Nematocères et existe depuis au moins le Jurassique. Cette famille a connu une diversification importante au Crétacé, concomitante à l'apparition des plantes à fleurs (Angiospermes). Les cécidomyies sont présentes dans le monde entier. Leur nom cécidomyie se rapporte à la faculté de nombreuses espèces d'induire des galles sur les végétaux attaqués. 70% des espèces de cette famille induisent des galles (AMOUROUX P., 2013 ; AMOUROUX P. *et*

al., 2013). Les Cecidomyiidae sont divisées en cinq sous-familles (GAGNÉ R-J, 2010). Les Cecidomyiinae constituent la sous-famille la plus récente, la plus importante et la plus diversifiée, avec plus de 4700 espèces décrites. Les caractéristiques biologiques et comportementales, telles que la fécondité, le régime alimentaire des larves ou le nombre de générations, permettent à certaines espèces d'être des ravageurs des cultures tandis que d'autres espèces, pourtant proches, ne le sont pas (SCHOONHOVEN L-M., et al., 2005). Plusieurs cécidomyies sont ainsi des ravageurs des grandes cultures, des cultures maraîchères, ornementales ou forestières. Ainsi, ces bioagresseurs monophages ou oligophages en raison de leur intime association à la plante hôte, et souvent invasifs du fait de leur capacité à entrer en diapause, sont responsables de dégâts économiques majeurs dans plusieurs zones de production du monde.

Procontarinia mangiferae est un petit moucheron (~2mm) qu'il est difficile d'observer dans le verger (Figure 19) (VINCENOT D. et al., 2015). A La Réunion, la cécidomyie des fleurs est un insecte spécialiste inféodé au manguier qui peut entraîner la destruction entière d'une floraison, en particulier au début de l'hiver. L'impact économique des dégâts occasionnés sur ces floraisons précoces est majeur puisque ces dernières permettent la production de fruits au prix de vente le plus élevé (SAVIAN L. et GRAINDORGE R., 2015).



Figure 19 : Cécidomyies des fleurs au stade adulte (© FRANK A., Cirad)

5.2 Cycle de vie de la cécidomyie des fleurs

La synchronisation des cycles entre les cécidomyies et leur plante-hôte est primordiale à cause de leur courte durée de vie (IKAI N. et HIJII N., 2006 ; YUKAWA J., 2000). La durée du cycle complet varie entre 14 et 25 jours (PEZHMAN H., ASKARI M., 2004). Le nombre de générations par an est difficile à établir suivant qu'il y a une phase de diapause ou pas. On peut toutefois estimer le nombre de générations à plus de 17 par an (AMOUREUX P., 2013).

Les femelles adultes pondent sur les organes floraux (inflorescences en débourrement ou boutons floraux). Le nombre d'œufs dans l'abdomen d'une femelle mature varie de 80 à 250. Le temps moyen d'incubation de l'œuf est de 35 h (AMOUREUX P., 2013). Les larves migrent depuis le lieu de ponte jusqu'à leur lieu d'alimentation à l'intérieur des tissus tendres du manguier. Ainsi, les larves forment des galeries dans les panicules, provoquant des déformations et des nécroses caractéristiques. Selon le stade et le niveau d'infestation, les attaques conduisent à la destruction partielle ou totale de l'inflorescence par dessèchement (Figure 20). A la fin du troisième stade larvaire (7 à 12 jours), la larve cesse de s'alimenter et perce un trou à travers la paroi de la galle pour s'éjecter au sol (Figure 20). Une fois au sol, les larves s'enfouissent pour entrer en diapause ou s'empuper (SAVIAN L. et GRAINDORGE R., 2015 ; GRAINDORGE R., 2015). Une partie de celles-ci émerge en 7 à 10 jours et donne une nouvelle génération d'adultes, alors que l'autre partie reste dans le sol, lieu de conservation de l'insecte en diapause. La diapause se déroule durant le troisième et dernier stade larvaire et quelques fois lors de la phase pupale (DANKS H-V., 2007). Cette diapause facultative peut être induite toute l'année, avec cependant un taux d'induction de diapause supérieur en été. La diapause se déroule dans le sol et dure entre six semaines à plus d'un an. Les températures fraîches déclenchent les émergences des individus en diapause et permettent de synchroniser l'émergence des adultes avec la période de floraison du manguier en sortie d'hiver (août-septembre) (AMOUREUX P., 2013, VINCENOT D. et al., 2015).

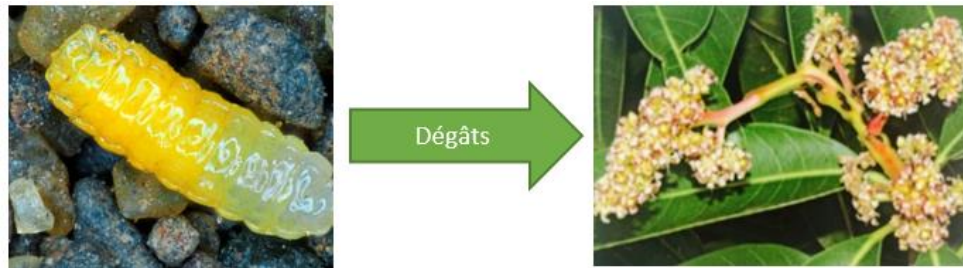


Figure 20 : Larve de Cécidomyie au sol, taille 1,5 mm, qui a occasionné des dégâts sur inflorescence avant de s'en extirper (© FRANK A., Cirad)

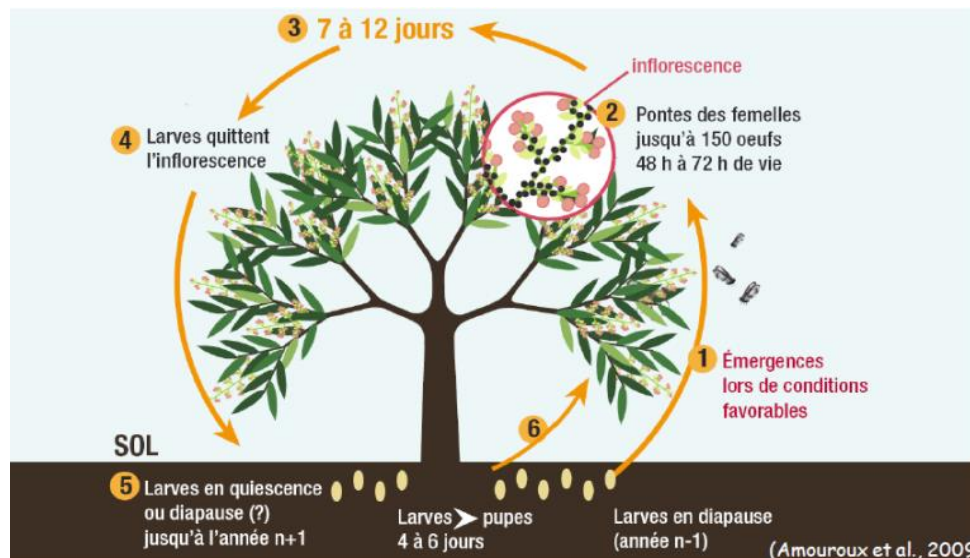


Figure 21 : Cycle de la cécidomyie (AMOUROUX P. et al., 2009)

Des résultats de thèse (AMOUROUX P., 2013) ont montré que l'espèce *P. mangiferae* se reproduisait à la fois sur les inflorescences et sur les jeunes feuilles et qu'elle était présente toute l'année et sur toute l'île, quelles que soient les conditions culturales ou climatiques. Ces populations sont apparues structurées en deux clusters sympatriques, dont l'un était plus fréquent dans la zone de culture du manguiers.

De plus, ces études ont montré une corrélation entre le nombre de larves de cécidomyies piégées et la dynamique de floraison.

Concernant la colonisation d'un verger, le vol d'arrivée des femelles dans le verger et le vol actif au sein du verger sont influencés respectivement par l'abondance et par l'attractivité de la ressource. Un verger exempt de cécidomyies des fleurs du manguiers peut être colonisé en une seule saison de floraison par un très grand nombre de femelles non-natives de ce verger (AMOUROUX P., 2013).

Plus la floraison est avancée, plus le nombre de larves piégées est important (stades phénologiques E-F principalement) (SAVIAN L. et GRAINDORGE R., 2015 ; GRAINDORGE R., 2015). Il y a donc une corrélation entre la disponibilité de la ressource et le cycle de reproduction de ce ravageur (Figure 21).

5.3 La prophylaxie et autres techniques agroécologiques : cas de la gestion de la cécidomyie des fleurs à La Réunion

Auparavant, les populations de cécidomyies pouvaient être gérées par pulvérisation sur les plantes ou application au sol d'insecticides (WU Q-J., et al., 2006), par exemple le ZOLONE® (Organophosphoré, Matière active Phosalone) ou le CHIMAC ENDO®

(Organochloré, Matière active Endosulfan), mais leur efficacité était souvent limitée (BARBOSA F-R., *et al.*, 2002), et en dépit de leur persistance dans l'environnement considérée comme faible et d'un lessivage considéré comme modéré, ils étaient très nocifs pour les organismes vivants et donc la santé humaine (MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE, 1998).

Leur utilisation est interdite en Europe et dans d'autres zones du monde depuis 2008 sur toutes les cultures (E-PHY, 2018). Il n'existait plus de produits homologués ou de biopesticides contre la cécidomyie des fleurs du manguier (VINCENOT D. *et al.*, 2015).

En plus, les larves de cécidomyies sont protégées dans les inflorescences. Les adultes ont une durée de vie de deux jours et ne sont pas présents toute la journée. Un traitement phytosanitaire a donc peu de chance d'atteindre sa cible sauf avec un systémique qui devrait être utilisé de façon prophylactique, donc à l'encontre des principes de la Paec.

Des pratiques culturales peuvent également jouer un rôle dans le contrôle des populations de cécidomyies comme le paillage au sol ou l'enherbement. En effet, ces pratiques culturales peuvent avoir des effets plus ou moins négatifs sur les ravageurs des cultures qui effectuent une partie de leur cycle dans le sol (AMOUREUX P., 2013) mais également être bénéfiques sur les populations de prédateurs (MATHEWS C-R., *et al.*, 2002).

5.3.1 Les différentes couvertures de sol

Les couvertures de sol peuvent prendre de multiples formes. Elles sont de deux types soit il s'agit d'un couvert végétal soit d'un couvert synthétique (e.g. un paillage synthétique souvent appelé « bâchage » ou « bâchage agricole » ou « toile de paillage » ou « tapis de sol »). Dans notre étude nous l'avons nommé « paillage synthétique ».

5.3.1.1 Les couvertures végétales

Parmi les couvertures végétales les plus connues on retrouve l'enherbement, le mulch végétal, le paillage organique, ou encore le bois raméal fragmenté (BRF).

Les couvertures végétales sont des techniques agronomiques de gestion de l'érosion, de l'enherbement, mais aussi des habitats des organismes auxiliaires. On nomme communauté végétale l'ensemble des plantes qui recouvrent le sol d'une parcelle (verger dans notre cas) autour des plantes cultivées (arbres) (VINCENOT D. *et al.*, 2015). Le terme d'enherbement fait spécifiquement référence au communauté végétale spontanée (RATNADASS A., comm. pers., 2017) i.e. sans introduction d'espèces végétales spécifiques. Il y a d'une part les couvertures végétales (terme générique) et ensuite plus particulièrement les communautés végétales (enherbements lorsqu'elles sont spontanées) (SORIA C., comm. pers., 2018).

Il existe différentes alternatives d'enherbements selon :

- **L'origine de l'enherbement** : la composition floristique de l'enherbement peut être réfléchi et donc il s'agit d'un couvert végétal implanté (monovariétal ou en mélange pluri-variétal) sinon c'est un enherbement spontané (sans introduction d'espèces floristiques) ou encore il peut s'agir d'un matériau organique inerte comme le paillage végétal ou le BRF.
- **La hauteur de l'enherbement** : elle s'anticipe en fonction du rôle du couvert. Il existe des enherbements hauts (environ 1 m de haut) et des enherbements ras (moins de 20 cm de hauteur).
- **La durée d'implantation de l'enherbement** : En fonction du délai où le couvert est présent sur la parcelle on parle de couvert permanent ou de couvert ponctuel. Souvent la gestion du temps de présence dans la parcelle dépend de l'utilité du couvert. Un couvert permanent est intéressant pour occulter les adventices tout au long de l'année alors qu'un couvert ponctuel peut être réfléchi pour rompre le cycle d'un bioagresseur sur une courte période.

5.3.1.2 Les couvertures synthétiques

Concernant le couvert synthétique, il est souvent composé de matériaux plastiques comme les bâches plastiques utilisées en maraîchage. Le bâchage au sol utilisé dans les vergers de manguiers est un tapis de sol tressé (Figure 22) c'est-à-dire une toile tissée synthétique (100% polypropylène) qui laisse passer l'air et est perméable. Tout comme les couvertures végétales, le bâchage empêche la levée des adventices, ralentit le phénomène d'érosion. De plus le bâchage (tapis de sol tressé) n'a pas d'effet de solarisation sur le sol contrairement au bâchage plastique utilisé en horticulture ou maraîchage. La toile de paillage peut être utilisée plusieurs années et est à terme *a priori* plus facilement recyclable que les bâches plastiques utilisées en maraîchage. Sa couleur est verte, noire ou marron en fonction des fournisseurs. Le grammage (g/m²) varie également en fonction du tissage.

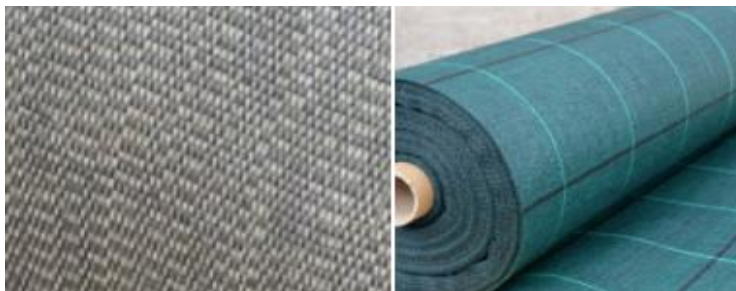


Figure 22 : Visualisation du tissage et du tapis de sol utilisé en verger de manguiers

5.3.2 Retour d'études sur les couvertures végétales permanentes

Les couverts végétaux permettent de rendre plusieurs services écosystémiques comme limiter l'érosion des sols, et les risques de pollution des eaux (par transfert de produits phytosanitaires dans le sol), augmenter la biodiversité animale en créant des habitats et des ressources alimentaires pour les auxiliaires et les parasitoïdes de ravageurs. Enfin, un enherbement dense et épais peut potentiellement constituer une barrière physique pour les ravageurs dont une partie du cycle de vie se déroule dans le sol (cécidomyies, mouches des fruits et thrips) (DEGUINE J-P., *et al.*, 2016) ce qui est le cas de notre insecte modèle.

Les résultats obtenus en vergers de manguiers dans le projet Biophyto par l'introduction de plantes de couverture (exemple : *Cynodon dactylon*) ont montré que la biodiversité végétale et animale (surtout l'entomofaune) a tendance à augmenter. Les couverts végétaux semblent engendrer une augmentation de la biodiversité fonctionnelle animale. Donc l'installation d'une couverture végétale permanente se traduit par une augmentation de la richesse spécifique et de l'abondance des prédateurs terrestres (VINCENOT D., *et al.*, 2015). Néanmoins, compte tenu de la capacité de dispersion de la cécidomyie, pour une protection agroécologique plus efficace, cette technique doit avoir un effet bénéfique sur le verger ou l'ensemble des vergers d'un même bassin de production (VINCENOT D. *et al.*, 2015). Une gestion du couvert est également à bien maîtriser dans le temps car un couvert bas pendant la période de récolte facilite le ramassage des fruits piqués et les travaux de récolte alors qu'un couvert haut pendant la floraison semble limiter les populations de cécidomyies (VINCENOT D. *et al.*, 2015).

5.3.3 Retour d'études sur les couvertures de sol et l'efficacité du paillage synthétique

- ❖ Thèse sur la bio-écologie et la modélisation de la dynamique des populations de cécidomyies des fleurs.

En 2011 et 2012, des expérimentations ont été conduites sur un verger de 0,5 ha entièrement paillé pour étudier la bio-écologie et la dynamique des populations de l'insecte afin de mieux connaître son cycle de vie à La Réunion en vue de développer une gestion intégrée sur l'île (projet Ecofrut et travaux de l'UR HortSys). Il a été établi que les larves s'enfouissent dans le sol pour entrer en diapause ou s'empurger. Cette phase critique du cycle permet d'envisager une méthode de lutte qui consiste en la mise en place d'un

paillage synthétique (Figure 22) pour intercepter les larves pendant leur chute (de l'inflorescence au sol) et donc empêcher leur enfouissement. Si les larves sont à l'air libre sur la toile de paillage alors cela augmente leur temps de vulnérabilité en favorisant leur mortalité notamment par prédation (AMOUROUX P., 2013). Ainsi il fallait étudier cette technique en comparaison avec les pratiques des agriculteurs réunionnais.

❖ Essais « couverture du sol vs cécidomyies des fleurs » chez des producteurs

Suite à ce constat, afin de proposer des méthodes de protection possibles, deux études, menées par l'Armefflor (Association Réunionnaise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière, Légumière et HORTicole) ont été conduites chez des agriculteurs en 2015. L'objectif était d'étudier l'efficacité du paillage synthétique proposé par Amouroux P. (2013) comme méthode de lutte intégrée contre la cécidomyie des fleurs face aux pratiques utilisées actuellement par les producteurs réunionnais. Les parcelles paillées ont été comparées à des parcelles témoins (témoin = la pratique du producteur). Ces essais ont été conduits dans la cadre du projet Ecofrut.

Ils ont été réalisés chez deux producteurs de Saint-Paul, respectivement à Cap La Houssaye (agriculteur 1) et Grand Fond (agriculteur 2), avec comme « pratique du producteur » respectivement chez l'agriculteur 1 « un enherbement haut spontané » et chez l'agriculteur 2 « un sol nu par désherbage à l'herbicide ».

A Cap La Houssaye, on n'observait pas de différences significatives entre l'enherbement haut spontané et le paillage synthétique en termes de floraison et de fructification, et les populations et attaques de cécidomyies étaient significativement plus importantes avec paillage synthétique qu'avec enherbement haut. Au contraire, à Grand Fond, la floraison et la fructification étaient significativement plus importantes pour la parcelle paillée face à la parcelle en sol nu et les attaques et populations de cécidomyies significativement moins importantes, sur la partie paillée par rapport à la partie désherbée (GRAINDORGE R., 2015, SAVIAN L. et GRAINDORGE R., 2015, RATNADASS et al., 2017).

Ainsi le paillage synthétique aurait potentiellement un effet sur l'attaque des panicules et donc sur les quantités de larves piégées. Il représenterait une barrière physique et permettrait de limiter l'émergence des adultes et l'attaque des panicules. Par ailleurs, cette stratégie correspond aux attentes actuelles de la société en participant au développement d'une agriculture respectueuse de l'environnement. Ces résultats sont intéressants mais restent à confirmer sur plusieurs aspects qui seront abordés plus en détails dans la problématique.

5.3.4 Bilan des moyens de gestion des bioagresseurs du manguier à La Réunion

Pour résumer, le Cirad, en partenariat avec d'autres organismes et acteurs de la filière mangue (e.g. l'Armefflor), travaille sur différents leviers agronomiques permettant de réguler ces ravageurs. Le schéma ci-après (Figure 23) met en lumière ce qui a été abordé durant le stage tout en l'intégrant dans un contexte plus général des travaux de recherche menés par l'UR HortSys dans le cadre de ses projets de recherche (Ecofrut, Ecoverger, Cosaq 1). Le stage est centré principalement sur l'étude d'un levier de contrôle qu'est la gestion de la couverture du sol (enherbements vs paillage synthétique) ciblés sur la cécidomyie des fleurs et secondairement sur un levier de gestion de la récolte pour contrôler un autre groupe de ravageurs du manguier : les mouches des fruits.

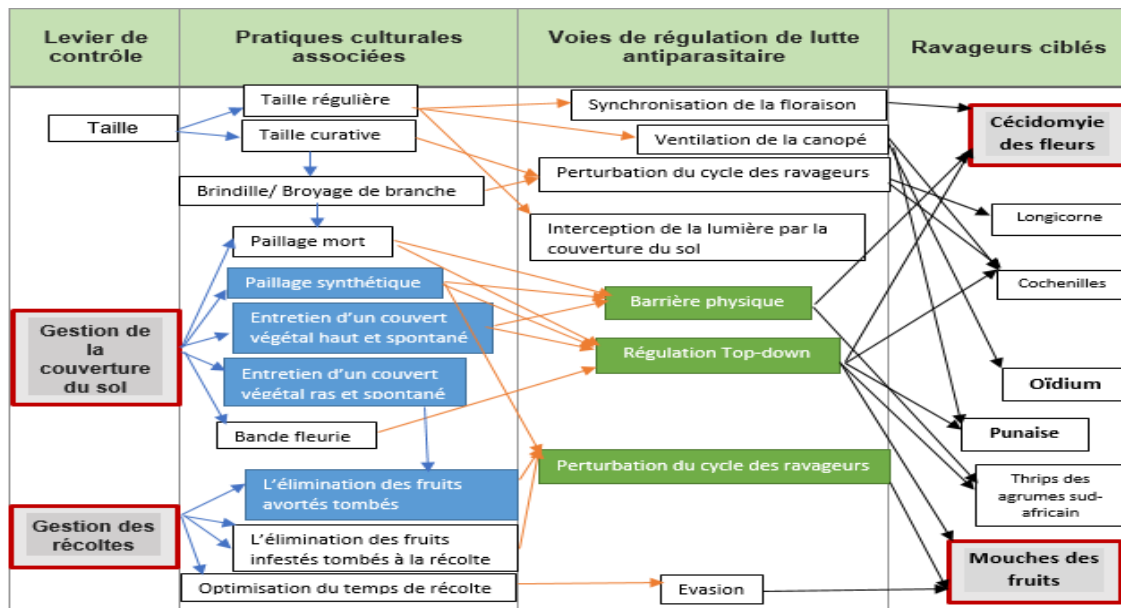


Figure 23 : Leviers potentiels de gestion et pratiques culturales associées pour la régulation de l'infestation et des dégâts des principaux ravageurs de la mangue à l'île de La Réunion (travaux de recherche UR HortSys). Les cadres dont le contour est en rouge sont les leviers étudiés lors du stage (d'après RATNADASS A. *et al.*, 2017).

6 Problématique

A La Réunion, la mangue représente un enjeu économique important. Fruit emblématique, c'est la 3^{ème} production fruitière de l'île (en surface), la 5^{ème} en tonnage et elle représente la culture fruitière pérenne la plus rentable pour les agriculteurs. Cette production est protégée de la concurrence sur l'île car les importations sont interdites pour limiter les risques d'invasions biotiques. Pourtant les producteurs de mangues sont confrontés à de fortes contraintes sanitaires au sein de leurs vergers notamment concernant les bioagresseurs de la floraison et plus particulièrement la cécidomyie des fleurs qui est l'un des principaux bioagresseurs. Il n'y a pas de solution curative face à ce ravageur impactant tous les systèmes agricoles (conventionnels et biologiques).

Depuis quelques années la conduite des vergers de manguiers s'appuyant sur des pratiques agroécologiques est soulignée comme étant un levier possible de gestion de la cécidomyie des fleurs.

❖ L'effet des couvertures de sol sur les populations de cécidomyies des fleurs

Pour limiter l'impact de la cécidomyie des fleurs sur la floraison du manguiers deux études ont été réalisées mais n'ont pas permis de conclure réellement sur l'efficacité du paillage synthétique comme méthode de lutte intégrée. Dans la continuité de ces recherches, l'objectif de notre expérimentation principale « couvertures de sol vs cécidomyie des fleurs » est de conclure sur l'efficacité réelle du paillage synthétique. D'après les retours d'études, l'hypothèse avancée est que le paillage synthétique et l'enherbement haut spontané permettent de mieux gérer la cécidomyie des fleurs par rapport à un enherbement ras spontané (pouvant être apparenté au sol nu suite à l'application d'herbicides, qui est encore mise en œuvre chez certains producteurs de mangues réunionnais, mais pas sur notre site d'étude).

Afin de répondre à notre hypothèse, il est nécessaire de conduire un essai regroupant les deux modalités de couverture du sol utilisées jusqu'à présent par les producteurs réunionnais (enherbement haut spontané ou enherbement ras) et la couverture de sol novatrice : le paillage synthétique. La plus-value de cet essai par rapport à ce qui a déjà

été réalisé est d'implanter simultanément les trois modalités de couverture du sol au sein d'un même verger. Ceci afin de pouvoir comparer les effets de chacune d'entre elles sur les populations de cécidomyies lors de la floraison du manguier dans un environnement identique et ainsi conclure sur l'effet des différentes couvertures de sol. Les trois modalités de couverture de sol à l'étude sont :

- Le paillage synthétique ;
- L'enherbement haut spontané ;
- L'enherbement ras spontané.

❖ **Etudes des répercussions des couvertures de sol sur la phénologie de l'arbre et l'environnement du verger**

La mise en place d'une pratique agroécologique (ici la couverture du sol) doit permettre de limiter l'utilisation de produits phytosanitaires tout en assurant le maintien d'un équilibre dans l'agroécosystème. Ainsi d'autres observations complémentaires ont été intégrées, portant sur :

- L'effet des couvertures de sol sur la phénologie du manguier (floraison et fructification) ;
- L'effet des couvertures de sol sur le milieu édaphique (microclimat et activité biologique des sols) ;
- La caractérisation de l'enherbement et de l'entomofaune pour les deux modalités enherbées.

❖ **L'effet des couvertures de sol sur la récolte prophylactique**

La gestion des bioagresseurs sur manguier ne se limite pas aux cécidomyies des fleurs. Si la floraison est une étape clé de la production, la gestion des mouches des fruits a également toute son importance pour assurer une récolte décente aux producteurs. Parallèlement à la gestion des cécidomyies des fleurs il est nécessaire d'étudier l'impact (conflit – synergie ?) des différentes couvertures de sol sur la récolte prophylactique comme second levier agronomique de gestion des mouches des fruits (en plus de l'optimisation de la date de récolte), notamment dans le contexte de l'invasion récente de l'île par la mouche orientale des fruits *Bactrocera dorsalis*.

Ainsi, le travail mené durant le stage a tenté de répondre à trois interrogations :

1. *Quels sont les effets des couvertures de sol sur les populations et dégâts de cécidomyies ?*
2. *Quels sont les effets des différentes couvertures de sol sur la phénologie de l'arbre et l'environnement (sol, flore et entomofaune) du verger ?*
3. *Comment les trois couvertures de sol peuvent-elles être conciliées avec la récolte prophylactique précoce (par rapport à la gestion des mouches des fruits) ?*

❖ **Enquête exploratoire auprès des acteurs de la filière mangue réunionnaise**

D'autre part, on peut légitimement se poser la question de ce que pensent les producteurs/acteurs de la filière afin d'avoir une idée de leur vision technico-économique sur cette production fruitière concernant trois aspects :

- Quel est la dynamique actuelle de la filière mangue réunionnaise ?
- Quel est le contexte de floraison de 2017 et pourquoi est-elle atypique ?
- Quel est la vision des acteurs sur les pratiques novatrices telle que le paillage synthétique et la récolte prophylactique ou plus communément connu comme l'enherbement ?

Dans ce sens, leur rencontre s'est imposée au-delà des expérimentations pour envisager des poursuites concrètes à ce travail.

PARTIE 2 : Matériels et méthodes

1 Démarche générale de la mission

Pour répondre à ces trois questions, les objectifs des expérimentations sont :

- ❖ **Principalement : l'évaluation de l'effet de trois différentes couvertures de sol** (les trois modalités étudiées) **pour la régulation de la cécidomyie des fleurs du manguier** (*Procontarinia mangiferae*) [Essai 1] et secondairement d'apporter des résultats complémentaires sur :
 - ❖ **L'effet des couvertures de sol sur l'environnement du verger** [Essai 2]
 - La phénologie de la floraison du manguier (dynamique de floraison, intensité de floraison et taux de floraison)
 - Le rendement du manguier (nombre de fruits pour chaque parcelle par site) ;
 - La température du sol ;
 - L'activité biologique du sol ;
 - L'enherbement et l'entomofaune sur les modalités enherbées (biomasse et diversité) [Annexe 6].
 - ❖ **L'effet antagoniste ou synergétique des trois couvertures de sol sur la récolte prophylactique précoce comme levier de régulation des mouches des fruits** via la suppression de la source de ré-infestation que constituent les mangues avortées tombées au sol [Essai 3].

Ces trois expérimentations (« cécidomyies », « environnement » et « récolte prophylactique ») ont été réalisées sur trois couvertures de sol différentes en vergers de manguiers lors de la période de floraison et fructification du manguier (Figure 24) dans l'Ouest de l'île de La Réunion, zone importante de production et de forte incidence des deux ravageurs étudiés.

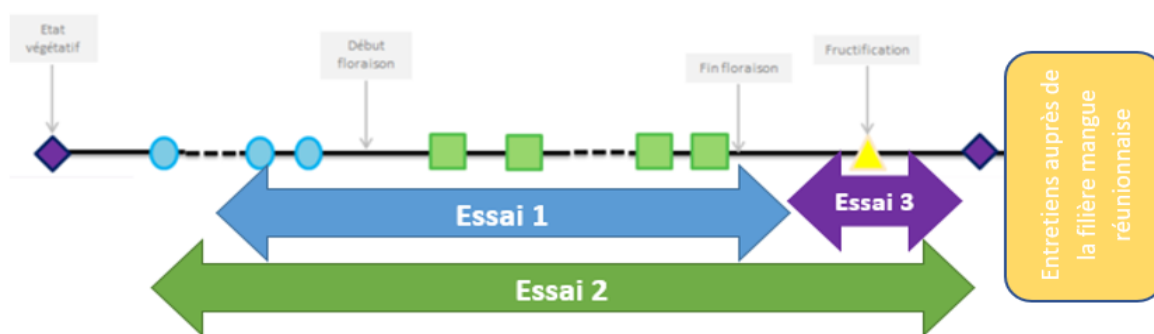


Figure 24 : Chronologie de l'étude (des 3 essais). Les essais 1 et 2 sont effectués parallèlement au cycle de vie du manguier (de la floraison à la nouaison) alors que l'essai 3 a été conduit lors de la récolte prophylactique (fin nouaison début fructification). Les entretiens ont été réalisés après ces trois phases expérimentales.

La démarche générale est exposée ci-après (Tableau VII).

Tableau VII : Démarche appliquée pour répondre aux objectifs de l'étude

	OBJECTIFS	DEMARCHE	MOYENS MIS EN ŒUVRE (Outils)
APPROPRIATION DU PROTOCOLE	1) Obtenir des connaissances techniques sur le contexte de l'étude afin de mieux comprendre ses enjeux (le manguier dans le monde et à La Réunion, les bioagresseurs, la cécidomyie des fleurs, les couvertures de sol).	Phase exploratoire : Familiarisation avec les composantes du sujet d'étude	Bibliographie Rencontre d'experts
	2) Prendre connaissance et adapter les protocoles afin de répondre aux problématiques cécidomyie, phénologie/environnement et récolte prophylactique.	Appropriation du protocole expérimental préétabli par les chercheurs de l'UR HortSys (Annexe 8) et élaboration d'un planning de suivi	Bibliographie
PREPARATION EXPERIMENTALE	Préparer le matériel nécessaire au suivi expérimental avant le début de la floraison (période d'étude) sur : 1) Les populations de cécidomyies ; 2) La phénologie de l'arbre et l'environnement du verger ; 3) La récolte prophylactique précoce ; Dans l'objectif de choisir le matériel le plus adéquat.	Instrumentation générale des parcelles suivies	1) Mise en place des modalités 2) Tirage aléatoire des arbres suivis dans chaque modalité 3) Confection et mise en place des pièges à cécidomyies 4) Etiquetage des inflorescences suivies 5) Instrumentation des parcelles (Bait-Lamina® et TinyTags®)
DEROULEMENT DES EXPERIMENTATIONS (Observation et Analyse)	1) Essai 1 (essai principal) : « Couvertures de sol vs cécidomyies des fleurs » Evaluer l'effet de chacune des modalités sur les populations de cécidomyies via l'estimation des populations de larves de cécidomyies recueillies dans les pièges. Afin de connaître quelle couverture du sol permet la meilleure gestion du ravageur.	Estimation des populations de cécidomyies	Comptage des larves recueillies dans les pièges et corrélation avec les dégâts observés sur les inflorescences
	Connaître les stades phénologiques (du manguier) sensibles à la cécidomyie.	Evaluation des dégâts sur les inflorescences	Suivis des inflorescences au-dessus des pièges (stades + dégâts)
	2) Essai 2 (essai secondaire) : « Couvertures de sol vs phénologie de l'arbre et environnement du verger » Caractériser la floraison et les rendements sur chaque modalité pour connaître les effets du paillage synthétique sur la floraison (en relation avec la température du sol) et donc sur les rendements, en comparaison avec les modalités enherbées. Et de façon plus générale connaître l'effet de chaque modalité sur la phénologie du manguier.	Mesures complémentaires sur l'estimation de la floraison et des rendements	Suivi phénologique des UCs étiquetées (stades phénologiques C) et comptage des fruits par arbre et par modalité

	OBJECTIFS	DEMARCHE	MOYENS MIS EN ŒUVRE (Outils)
DEROULEMENT DES EXPERIMENTATIONS (Observation et Analyse)	Acquérir des données sur l'environnement édaphique des parcelles (température et activité biologique) pour avoir une idée de l'impact des modalités sur le sol.	Mesures complémentaires sur le milieu édaphique des parcelles	Instrumentation des parcelles avec des Bait-Lamina® et des TinyTag®
	Caractériser l'enherbement et l'entomofaune sur les modalités correspondantes pour mesurer objectivement les différences entre les couvertures de sol « enherbement haut » et « enherbement ras ». (Annexe 6)	Mesures complémentaires sur l'enherbement (biomasse et nombre de taxon(s))	Dénombrement et assignation à des classes, ordres, sous ordres ou familles d'arthropodes (nombre de taxons) et mesure de la biomasse végétale récoltée, taux de recouvrement sur des quadrats de 0,25 m ² posés aléatoirement sur 4 zones pour le 1 ^{er} relevé et 3 pour le 2 nd relevé, pour chaque couverture du sol
	3) Essai 3 (essai complémentaire) : « Couvertures de sol vs récolte prophylactique » Savoir si les modalités ont un effet positif ou négatif sur un autre groupe de ravageurs du manguier par l'évaluation de l'infestation par les mouches des fruits des mangues précocement tombées au sol pour conclure quelle couverture du sol est la plus attractive pour les mouches des fruits.	Mesures complémentaires sur les mouches des fruits	Identification et comptage après émergences des mouches de fruits sur les fruits piqués ramassés lors de la récolte prophylactique précoce
ENQUETES TERRAIN	Enquête (entretiens) auprès des acteurs de la filière mangue réunionnaise. Rencontre d'experts (chercheurs, techniciens) ou d'acteurs (agriculteurs, animateur de la chambre d'agriculture, directeur et technicien de coopérative) de la filière mangue. L'objectif est de mieux comprendre le contexte et les enjeux de cette filière sur les aspects techniques liés aux particularités de l'année 2017 afin de proposer des perspectives pour la continuité de l'étude en 2018. Le déroulement de chaque entretien suit trois thématiques : <ul style="list-style-type: none"> • Phase exploratoire sur la filière ; • Echange technique propre au contexte de production de 2017 ; • Communication sur l'étude 2017 (intérêts des couvertures), les premiers résultats et perspectives pour l'étude 2018. 	Entretiens semi-directifs auprès d'une quinzaine de personnes	Identification des personnes à enquêter, élaboration d'un guide d'entretien semi-directif, réalisation d'entretiens, enregistrement et retranscription des échanges. Synthèse des résultats
ANALYSE DES RESULTATS	Analyse de l'ensemble des résultats afin de conclure et répondre à la problématique de l'étude	Traitement des données et analyse statistique à l'aide des logiciels Excel, R Studio et XLSTAT	Représentation des résultats avec le logiciel R Studio et XLSTAT (Excel) Tests statistiques (GLMs, et Anova)

2 Essai 1 : évaluation de l'effet des différentes couvertures de sol sur la gestion des cécidomyies

2.1 Dispositif expérimental

2.1.1 Localisation de l'étude

L'essai est réalisé sur un même site, avec une répétition sur deux vergers de manguiers totalement isolés l'un de l'autre (bloc 1 et bloc 2). L'essai a été conduit sur la côte Ouest de La Réunion, Côte-sous-le-vent, offrant un climat chaud et sec, propice à la culture de manguiers (VINCENOT D., et NORMAND F., 2009).

La région d'étude intègre la commune de Saint-Paul, qui est une des principales zones de production dans le Nord-Ouest de l'île (Figure 25).

Globalement, les vents dominants sont issus d'un flux d'alizé d'Est-Sud-Est et sont plus forts sur les espaces littoraux de la Côte-au-vent, qu'au cœur de l'île et sur la Côte-sous-le-vent (JUMAUX G., *et al.*, 2011) dont fait partie la commune de Saint-Paul.

Depuis la station expérimentale du Cirad de Bassin Plat le temps optimum de trajet est de 42 min mais peut atteindre deux heures de trajet en fonction de la saturation du trafic routier (Figure 25).

L'essai a été conduit dans deux vergers plantés en 2000 (bloc 1) et 1990 (bloc 2) avec le cultivar Cogshall sur le site du CPEA de Saint-Paul (CPEA: 20° 58' S lat., 55° 18' E long., 130 m a.s.l.).

Le dispositif expérimental est divisé en deux blocs complets randomisés avec trois traitements (Figure 26).

- Bloc 1 : Parcelle de Cogshall en face de l'entrée du Lycée, plantée en 2000, utilisée en son temps (2010-2011) par Paul Amouroux
- Bloc 2 : Parcelle près de l'antenne SFR, plantée en 1990 avec sur-greffage de Cogshall sur Maison rouge).

Les deux blocs sont indépendants dans l'espace en étant séparés de 850 m. Les deux parcelles sont équipées de système d'irrigation par goutte-à-goutte. Les traitements phytosanitaires se limitent à l'application systématique de soufre pour lutter contre l'oïdium durant la période à risque (floraison).

La disposition des trois traitements sur les deux blocs est figurée ci-après (Figure 26), il y a une cinquantaine d'arbres par modalité :

1. traitement paillage synthétique (bâchage) : en rouge ;
2. traitement enherbement haut : en vert ;
3. traitement enherbement ras : en jaune.



Figure 25 : Itinéraire entre la station Cirad et la parcelle d'essai au CPEA (Google Maps)



Figure 26: Disposition des traitements (modalités de couverture du sol) dans leur environnement respectif.

2.1.2 Les trois couvertures de sol étudiées

La répartition des traitements s'est faite de façon à avoir sur un même verger trois modalités de couverture de sol différentes, par rapport à l'essai antérieur conduit par l'Armefflor où il n'y avait que la modalité « paillage synthétique au sol » face à la pratique du producteur (témoin). Ceci permet de pouvoir comparer les modalités entre elles en termes de comptage des populations de cécidomyies, sur deux vergers différents.

La description des modalités mises en place :

- 1. traitement paillage synthétique

Le paillage synthétique est une pratique consistant à recouvrir complètement la surface au sol du verger de manguiers en installant un tapis de sol tressé synthétique.

Sur la parcelle « paillée », les rangs sont recouverts de tapis de sol tressés (noirs sur le bloc 1, verts sur le bloc 2) sur toute la longueur. Vu la largeur du tapis, la totalité de la parcelle est couverte avec recouvrement sur le rang. Le tapis a été positionné en juin, (relativement aux dates de floraison des parcelles de l'année antérieure), avant le débourrement des bourgeons floraux et elle a été maintenue pendant toute la durée de la floraison. Elle est retirée juste avant la récolte (début décembre 2017).

- 2. traitement enherbement haut

L'enherbement haut est un couvert végétal maintenu grâce à l'arrêt des pratiques de débroussaillage. Sur les deux modalités c'est un couvert spontané qui a été fauché pour la dernière fois en avril 2017.

- 3. traitement enherbement ras

L'enherbement ras est une couverture végétale spontanée peu développée voire sur certaines zones du verger un sol nu. En revanche la hauteur du couvert est limitée par un débroussaillage mécanique. Aucun herbicide n'a été utilisé sur les parcelles d'expérimentation.

Une caractérisation de l'enherbement et de l'entomofaune (biomasse et taxons) sur les couvertures de sol enherbées a été réalisée pour caractériser de façon objective les différences entre ces deux couverts enherbés (Annexe 6).

L'application (sur chaque bloc) des traitements 2 s'effectue par le maintien d'un enherbement très haut et pour le traitement 3, une fauche à la débroussailleuse a été réalisée. L'ensemble des trois modalités est visible sur la figure ci-dessous (Figure 27) :

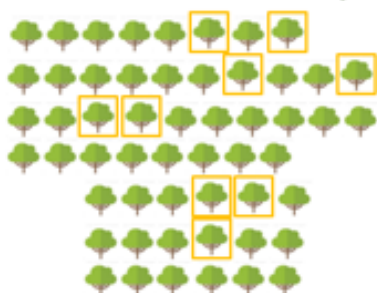


Figure 27 : Photographie des 3 traitements/modalités (a = enherbement haut, b = paillage synthétique, c = enherbement ras).

2.1.3 La mise en place des pièges

Les populations de cécidomyies ont été estimées au moyen de pièges d'interception passifs, mis en place sur chaque modalité de chacun des deux blocs. Les pièges ont été disposés sous les panicules florales de 10 arbres tirés au hasard (tirage aléatoire sans remise) à raison de deux pièges sous chaque « moitié d'arbre ». Au total 120 pièges ont été disposés et suivis pendant la durée de l'expérimentation. La figure ci-dessous schématise l'instrumentation des piégeages sur la modalité « enherbement haut » du bloc 1 (Figure 28). La même instrumentation a été réalisée sur chaque modalité et sur chaque bloc.

Bloc 1 – Enherbement haut (54 arbres)



Légende :



Tirage aléatoire de **10** arbres pour évaluer la dynamique d'infestation des cécidomyies
2pièges par arbres, soit 20 pièges par modalité et 60 par bloc

Figure 28 : Représentation parcellaire du dispositif expérimental pour estimer les populations de cécidomyies en prenant pour exemple le bloc 1 « enherbement haut ».

Les pièges d'interception ont été confectionnés à l'aide de bidons de 5L d'eau minérale « Australine® » coupés et partiellement remplis d'eau. C'est un piégeage passif car il n'y a pas eu d'utilisation d'attractif (e.g. alimentaire, visuel, olfactif). Le but étant de récupérer les larves de cécidomyies émergeant des panicules situées au-dessus du piège. Avec ce dispositif, en s'éjectant de la hampe florale, les larves de cécidomyies sont interceptées dans leur chute au sol par les pièges d'interception passifs (se trouvant sur leur trajectoire de chute).

Ces pièges sont stabilisés avec des pierres et déplacés chaque semaine si nécessaire afin d'être toujours sous le maximum de « ressource » florale (Figure 29).

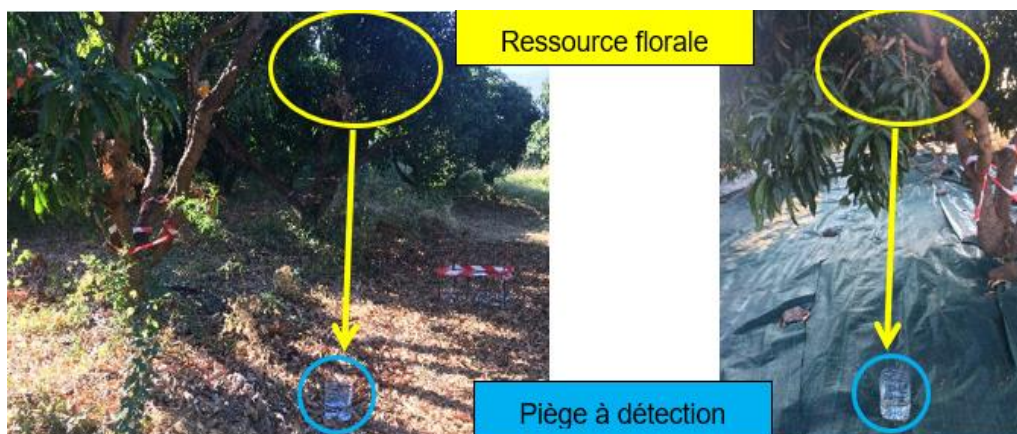


Figure 29 : Instrumentation des parcelles avec les pièges à cécidomyies positionnés sous la ressource florale sur l'enherbement ras à gauche et le paillage synthétique à droite.

Deux fois par semaine les larves de cécidomyies tombées dans les pièges ont été dénombrées entre le 19 juillet et le 10 octobre soit 20 passages en tout (souvent le mardi et le vendredi, donc environ tous les 3-4 jours).

L'observation des larves est relativement aisée car les larves sont facilement reconnaissables (forme allongée allant du jaune pâle à l'orange clair) et leur taille de 2 mm permet de les identifier directement sur le terrain. A chaque date de relevé, les larves comptées sont retirées des pièges, l'eau est également renouvelée.

2.2 Chronologie de l'étude

L'étude a été réalisée de mai à décembre 2017 en adéquation avec la fenêtre de floraison du manguiier. L'expérimentation s'est déroulée en trois phases i) préparation des parcelles et instrumentation de l'essai ; ii) surveillance puis relevés des données au champ ; iii) remise des parcelles en état (retrait du matériel) (Figure 30).

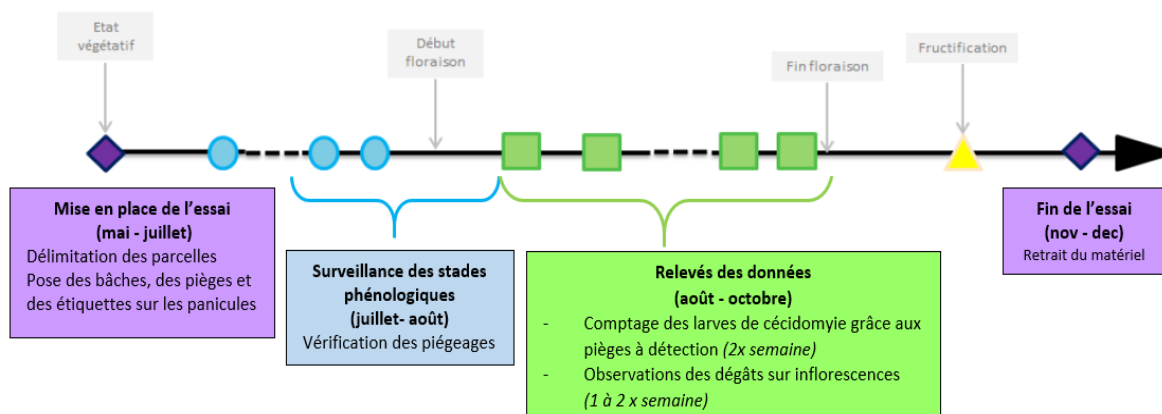


Figure 30 : Chronologie de l'essai principal (essai 1) effectué en parallèle de la période de floraison du manguiier

2.3 Notations réalisées

Une procédure d'observation a été établie pour l'acquisition de chacune des données expérimentales. Les relevés sont réalisés par au moins deux observateurs (un ou deux observateur(s) variable(s) et moi-même), les temps d'observations par date pour deux personnes sont d'environ 4 heures. Les notations sont réalisées au champ sur des fiches de terrain avant d'être saisies informatiquement sur des classeurs Excel.

2.3.1 Estimation des populations de cécidomyie

L'objectif principal de cette étude est de savoir dans laquelle des trois modalités les populations de cécidomyies sont les plus nombreuses afin de comparer les différents impacts des couvertures de sol étudiées sur l'infestation et/ou la ré-infestation des vergers par la cécidomyie.

L'**estimation** des populations de cécidomyies a été réalisée sur une période donnée pour chaque couverture du sol. Au départ, la source d'infestation étudiée est différente selon les modalités (Tableau VIII). Les deux vergers pouvaient être considérés comme étant dans les mêmes conditions vis-à-vis de l'« extérieur » (le « paysage »), avec comme principale source d'infestation des vergers de manguiers à proximité immédiate (Figure 26).

Tableau VIII : Les sources d'infestation/ré-infestation en fonction de la modalité

Modalité	Source(s) d'infestation/ré-infestation
Paillage synthétique	Population de départ : Exogène car les larves potentiellement en diapause ne peuvent plus émerger à cause du tapis de sol. Au départ, les pièges interceptent seulement les larves de cécidomyies tombées au sol provenant d'adultes ayant fait leur cycle en dehors de la parcelle. Population au cours de l'essai : mix endogène et exogène
Enherbement haut	Population de départ et au cours de l'essai : mix endogène et exogène
Enherbement ras	Idem que l'enherbement haut

Différents paramètres ont été évalués visuellement au verger à chaque passage pour établir des moyennes sur l'ensemble de la période d'étude :

- Le nombre de larves capturées dans les pièges (Larves Brutes) ;
- Le nombre d'inflorescences présentes au-dessus des pièges (Inflo.piège) ;
- Le nombre d'inflorescences vivantes totales par arbre (Inflo.arbre) ;
- Le nombre d'inflorescences mortes présentes par arbre (Inflo mortes.arbre).

Le nombre de larves à l'échelle de l'arbre (Larves.arbre) peut être approximé en connaissant le nombre d'inflorescences et de larves à l'échelle du piège et le nombre d'inflorescences à l'échelle de l'arbre.

$$Larves.arbre = \frac{Inflo.arbre * Larves Brutes}{Inflo.piège}$$

2.3.2 Evaluation des dégâts sur les inflorescences

Le comptage des larves de cécidomyie tombées dans les pièges d'interception permet seulement d'estimer la population de cécidomyies à un instant donné corrélée à une ressource florale (comptage des inflorescences au-dessus de chaque piège). En plus d'avoir une estimation des populations de cécidomyies nous nous intéressons à la dispersion de l'insecte dans la parcelle en fonction de la ressource florale.

Comment alors mesurer la dispersion de la cécidomyie et comment évaluer ses dégâts sur les inflorescences ? Il est donc intéressant et important d'évaluer l'état de la ressource florale pour la corréliser avec une dynamique de la cécidomyie.

Cette évaluation des dégâts va permettre de connaître les stades phénologiques reproducteurs du manguier les plus sensibles à la cécidomyie et comparer les niveaux de dessèchement en fonction des trois couvertures de sol.

La méthodologie suivie pour l'évaluation des dégâts sur les inflorescences en fonction des trois modalités de couverture de sol est la suivante :

- au-dessus des pièges deux à quatre inflorescences ont été suivies des stades phénologiques reproducteurs D1- D2 jusqu'au stade G, afin de suivre l'évolution du niveau de dessèchement de chaque inflorescence suivie en corrélation avec le nombre de larves piégées en dessous de cette même inflorescence ;
- l'état de dessèchement des panicules des 200 UCs (suivies pour la caractérisation de la floraison et fructification) a été déterminé chaque semaine.

Ainsi l'évaluation des dégâts porte à la fois sur :

- Les 10 arbres suivis pour les piégeages afin de corrélérer les dégâts avec le nombres de larves capturées ;
- Les 25 arbres suivis pour la floraison afin de connaître un état global de l'état de dessèchement des inflorescences au sein de chaque parcelle et sur le même échantillon d'UCs (200 par modalité).

L'état de dessèchement des panicules étiquetées est déterminé chaque semaine et est noté selon les classes suivantes (Figure 31) :

- 0 = panicule saine ;
- 1 = quelques piqûres, panicules non desséchées ;
- 2 = dessèchement de la panicule inférieur à 25 % ;
- 3 = dessèchement compris entre 25 et 75 % ;
- 4 = dessèchement supérieur à 75 % ;
- 5 = panicule sèche, morte.

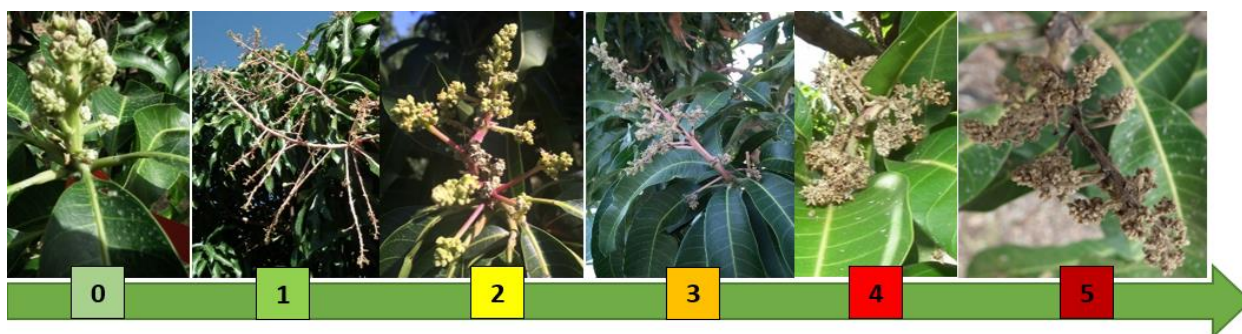


Figure 31 : Echelle de notation du niveau de dessèchement des inflorescences (de 0 : panicule saine à 5 : panicule morte)

Les causes probables de dessèchement ont été identifiées à chaque passage suivant cette grille de notation avec deux origines de dégâts possibles :

- La cécidomyie ;
- Autres causes :
 - Biotiques : bioagresseur de la floraison du mangier (punaise, oïdium...)
 - Abiotiques (climat, salinité de l'air).

3 Essai 2 : évaluation de l'effet des couvertures de sol sur la phénologie des arbres et l'environnement du verger

3.1 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental relatif à l'estimation des populations de cécidomyies est reconduit (localisation, modalités étudiées).

3.1.1 Caractérisation de la phénologie du manguier

Pour caractériser la ressource, le suivi des 200 UCs a nécessité la sélection aléatoire de 25 arbres (tirage aléatoire sans remise) en dehors des 10 arbres déjà sélectionnés pour le piégeage des larves de cécidomyies (Figure 32) et ceci pour chacune des trois couvertures de sol étudiées sur chacun des 2 blocs.

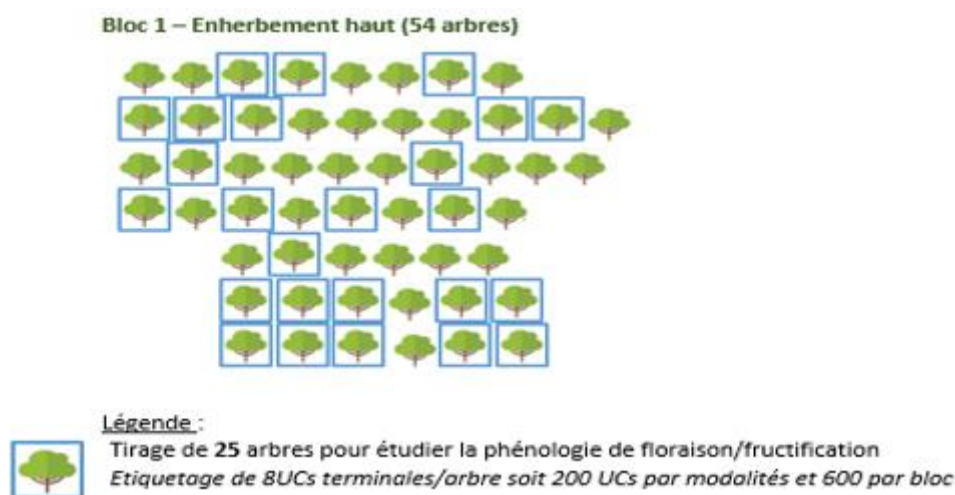


Figure 32 : Représentation parcellaire du dispositif expérimental pour estimer la ressource en prenant pour exemple le bloc 1 « enherbement haut ».

L'instrumentation des UCs a été mise en place avant que ne débute la floraison 2017. Au total ce sont 200 unités de croissance (UCs) terminales dormantes qui ont été étiquetées soit 8 UCs/arbre sur les 25 arbres sélectionnés, soit au total 1 200 UCs suivies sur l'ensemble de l'expérimentation pour caractériser la ressource florale. La date où les inflorescences suivies atteignent le stade phénologique reproducteur C (stade ouverture du bourgeon) fait l'objet d'une notation (échelle B à G : DAMBREVILLE A., 2012 ; Annexe 5) évoquée ci-après (3.3.1 Estimation des taux de floraison et des rendements).

Parmi les 200 UCs étiquetées au départ pour l'étude de la floraison, 100 inflorescences (qui parviennent à la nouaison) sont ensuite choisies aléatoirement pour évaluer les taux de fructification sur chaque modalité et sur chaque bloc. Enfin avant le début de la récolte (novembre) le rendement a été estimé sur chaque bloc par comptage exhaustif du nombre de fruits sur tous les arbres de chaque modalité.

3.1.2 Acquisition de données sur le milieu édaphique

Pour observer l'impact de nos modalités sur le sol, deux mesures complémentaires sont réalisées, l'une portant sur la température dans les premiers centimètres de la couche arable au moyen de TinyTags® et l'autre sur l'activité biologique du sol au moyen de bâtonnets d'appâts (« Bait-Lamina® »).

L'instrumentation dans chaque modalité est illustrée ci-dessous (Figure 33). Il s'agit de trois jeux de 16 bâtonnets appâtés et d'un TinyTag® sur le rang et un sur l'inter-rang.

Le tout sur chaque modalité de chaque bloc.

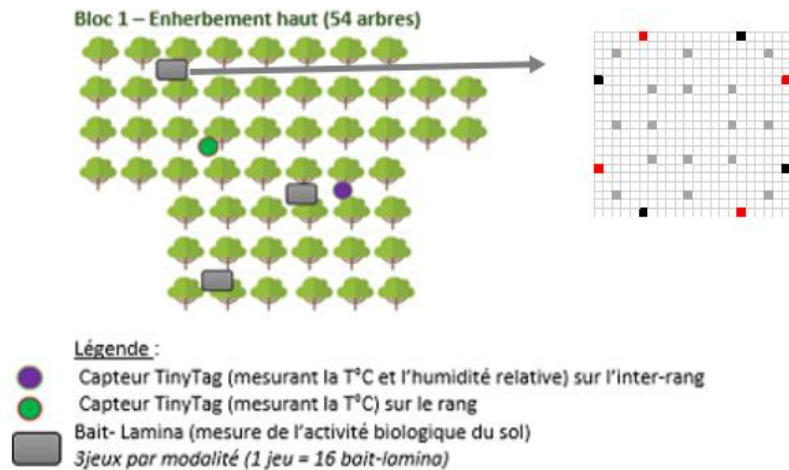


Figure 33 : Représentation parcellaire du dispositif expérimental pour observer le comportement du sol en prenant pour exemple le bloc 1 « enherbement haut » avec un zoom sur la disposition dans le quadrat des Bait-Lamina® dans un « jeu » (en gris) et des « témoins » (en rouge et noir).

La pose des bâtonnets « Bait-Lamina® » a été réfléchiée en s'inspirant de la méthodologie d'essai antérieur (ANDRÉ A. *et al.*, 2009). Sur chaque modalité trois groupes de 16 bâtonnets appâtés « Bait-Lamina® strips » (KRATZ W., 1998) ont été implantés dans une zone différente de chacune des parcelles (Figure 33).

Par conséquent, un total de 48 bâtonnets a été utilisé dans chaque modalité soit 144 par bloc et 288 au total (Figure 33). Les bâtonnets étaient placés verticalement dans le sol, préalablement percé à l'aide d'une sardine métallique. Un test préliminaire consistant à retirer trois bâtonnets immédiatement après les avoir enfoncés a montré que les appâts ne se détachaient pas par simple frottement. Des bâtonnets supplémentaires (deux sets de quatre par parcelle = bâtonnets témoins) ont été implantés de façon à être relevés à différentes dates (e.g. une semaine, 10 jours, deux semaines) pour déterminer la date optimale de lecture de l'ensemble des bâtonnets.

3.2 Chronologie de l'étude

Les suivis de floraison (dynamique et intensité) et fructification ont été effectués entre le 19 juillet et le 3 octobre 2017 sur les 1 200 UCs étudiées au total. Les relevés ont été effectués une fois par semaine pendant 12 semaines chaque mardi.

Les mesures édaphiques ont été réalisées à deux moments ; i) pendant la floraison et ii) une quinzaine de jours avant le retrait des tapis de sol. Afin d'analyser l'activité biologique du sol à deux périodes (à savoir fin de la saison fraîche, jusqu'à mi-octobre, puis saison chaude) (Figure 34).

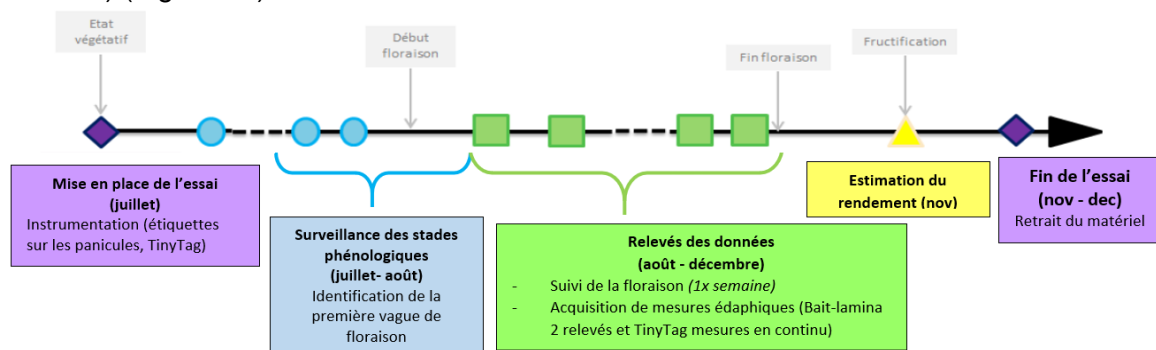


Figure 34 : Chronologie de l'essai complémentaire (essai 2) effectué en parallèle de la période de floraison du manguier et de l'essai 1

3.3 Notations réalisées

Pour chaque mesure expérimentale réalisée la procédure d'observation est similaire à celle suivie pour l'essai sur les populations de cécidomyies.

3.3.1 Estimation des taux de floraison et des rendements

D'une part, simultanément au comptage des larves de cécidomyie, tombées dans les pièges, il est nécessaire de corrélérer leur population avec la ressource disponible dans chaque parcelle et donc de caractériser la ressource florale. D'autre part, il est essentiel de s'assurer que la mise en place d'une telle pratique de couverture du sol comme le « paillage synthétique » ne va pas impacter négativement (comparé aux couvertures de sol enherbées) le comportement phénologique reproducteur du manguier, à savoir la floraison et la fructification qui en découle.

La caractérisation de la ressource présente dans chaque modalité s'étudie par la floraison, la fructification et le rendement. La floraison et la fructification s'observent grâce à la connaissance de différents paramètres qui sont :

- **La dynamique de floraison** : c'est l'évolution (caractéristique temporelle) de la floraison qui permet de savoir si la floraison est précoce, de saison ou tardive, aussi elle permet d'estimer la période de récolte. Les suivis réalisés ont permis de calculer sous R la dynamique de floraison. À partir des relevés effectués sur le terrain, les nombres d'UCs qui ont débouffé (date du stade C) en florifère ou en végétatif ont été enregistrés à chaque passage. Les bourgeons végétatifs n'ont pas été pris en compte dans les analyses car ce seront des nouvelles unités de croissance végétatives et non des futures inflorescences.
- **L'intensité de floraison (taux de floraison)** : l'intensité de floraison est la quantité d'unités de croissance (UCs) florifères (caractéristique quantitative) qui ont fleuri. Le taux de floraison est calculé selon la formule suivante :

$$\frac{\text{Nombre d'UCs qui donnent au moins un bourgeon florifère}}{\text{Nombre total d'UCs}}$$

- **Le taux de fructification** : sur les 200 UCs suivies pour la période de floraison on choisit aléatoirement 100 UCs ayant fleuri pour calculer le taux de fructification. Le taux de fructification est calculé selon la formule suivante :

$$\frac{\text{Nombre d'inflorescences qui donnent au moins un fruit}}{\text{Nombre total d'inflorescences}}$$

- **Le rendement** en nombre de fruits/arbre (comptage exhaustif du nombre de fruits sur tous les arbres de chaque parcelle, avant le début de la récolte).

3.3.2 Acquisition des données sur le milieu édaphique

La mise en place de nouvelles pratiques culturales comme le paillage synthétique ou l'enherbement dans un verger de manguier peut également avoir un impact sur le fonctionnement du sol.

La présence de tapis de sol noirs peut augmenter la température du sol et induire des modifications sur la floraison du manguier.

3.3.2.1 Mesure de la température édaphique

Des capteurs de température (TinyTags®) sont implantés sous la surface du sol (entre 5 et 10 cm de profondeur) dans chacune des parcelles (sous le tapis de sol pour la modalité « paillage synthétique »), à raison de deux capteurs par parcelle (un sur le rang et un sur l'inter rang). Un des deux capteurs enregistre aussi l'humidité. Toutefois, les TinyTags® ne sont pas adaptés à la mesure de l'humidité du sol, aussi ce paramètre n'a-t-il pas été pris en compte. Par défaut de capteurs, sur la parcelle en enherbement haut du Bloc 2, seul un capteur de température et humidité a été implanté.

3.3.2.2 Mesure de la vie microbienne édaphique avec le système de test « Bait-Lamina® »

❖ Présentation de l'outil de mesure

L'expression « Bait-Lamina® » signifie « fine couche d'appâts » (RATNADASS A., comm. pers., 2017).

Les objectifs de notre étude sont de déterminer (par la méthode Bait-Lamina®) si les modalités affectent différemment l'activité microbienne globale du sol dans les vergers. Les Bait-Lamina® ont été achetés auprès de Terra Protecta GmbH (Berlin, Allemagne).

L'utilisation de Bait-Lamina® est une méthode simple qui permet d'estimer l'activité biologique globale à différentes profondeurs dans la couche superficielle du sol (ANDRÉ A., *et al.*, 2009 ; ROZEN A., *et al.*, 2010). Elle permet de suivre les processus biotiques (microbiens et zootiques) dans le sol dans un court laps de temps. Le système de test est basé sur l'évaluation visuelle de l'alimentation des microorganismes sur de petites portions d'appâts exposées aux processus édaphiques (KRATZ W., 1998).

Chaque bâtonnet de Bait-Lamina® consiste en un support de PVC de 16 cm de long et 0,5 cm de large) perforé de 16 petits trous disposés à 0,5 cm les uns des autres, et contenant chacun une petite portion d'appât en couche mince, composé d'un mélange humide de cellulose, son de blé et charbon actif 70 : 27 : 3 p / p), (KRATZ W., 1998) (Figure 35).

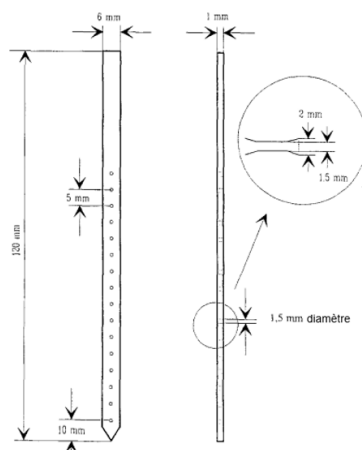


Figure 35: Description générale des Bait -Lamina (KRATZ W., 1998)

❖ Grille de lecture

La lecture a consisté à relever le niveau de consommation de chaque appât selon le niveau de « perforation » (Figure 36). Par la suite, les pourcentages moyens pour chacun des trois ensembles de 16 bâtonnets par site ont été calculés de façon à être utilisés pour l'analyse statistique (Mann-Whitney U-test). Le calcul mathématique est basé sur le pourcentage d'activité d'alimentation par 16 trous (un bâtonnet) soit sur toute la longueur ou sur les trous par horizon de l'appât enterré (KRATZ, W., 1998). Les critères de notation sont présentés sur la figure ci-dessous (Figure 36). Ils permettront d'une part de juger l'effet potentiel des traitements sur l'activité biologique du sol et d'autre part de caractériser cette activité en fonction de la profondeur.

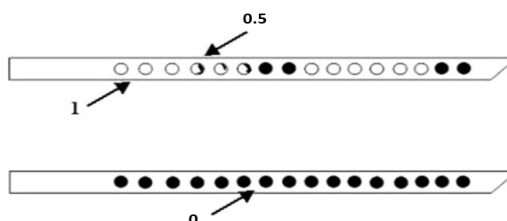


Figure 36: Représentation de « Bait Lamina » avec les critères d'interprétation des résultats (proportion d'appâts restant dans les trous, après l'exposition au verger) : (0) vide ; (1) plein ; (0.5) partiellement vide (KRATZ W., 1998).

4 Essai 3 : évaluation de l'infestation par les mouches des fruits des mangues tombées au sol en fonction des couvertures de sol

La mise en place de pratiques de gestion durable d'un ravageur comme il en est question dans l'essai « couverture de sol vs cécidomyies des fleurs » entraîne forcément une modification de l'environnement (cf. glossaire) du verger (paillage synthétique, enherbement). Cette perturbation ne doit pas contribuer positivement au développement d'un autre groupe de ravageurs problématiques sur manguier : les mouches des fruits. Ce dernier volet de mesures complémentaires permet d'amorcer une étude succincte sur la récolte prophylactique des mangues.

L'objectif est de savoir comment les modalités de couverture du sol peuvent contribuer en une possible gestion des mouches des fruits pendant la récolte prophylactique ? Sont-elles des sources d'infestation potentielle pour les mouches des fruits ? Pour répondre à ces questionnements, une évaluation de l'infestation par les mouches des fruits sur les mangues tombées au sol a été mise en place pour identifier quelle modalité serait la plus attractive pour les mouches des fruits. Nous partons de l'hypothèse que le paillage synthétique et l'enherbement haut sont des pratiques moins avantageuses pour ce ravageur et sont donc des leviers agronomiques potentiels pour réguler les populations de mouches des fruits.

Ce dernier essai pourrait nécessiter une enquête menée lors d'entretiens exploratoires techniques auprès des producteurs pour mieux appréhender leur intérêt face à cette pratique novatrice qu'est « la récolte prophylactique » (cf. 5. Entretiens auprès de la filière).

4.1 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est identique (localisation, modalités étudiées) à celui pour l'expérimentation sur les populations de cécidomyies.

4.1.1 Au verger

La première phase des mesures se réalise au verger, pendant la fin de la floraison et le début de la nouaison, où l'éclaircissage naturel a lieu et les fruits verts tombent au sol.

Il n'y a pas eu d'instrumentation à prévoir en plus du dispositif expérimental initial. Sur chacune des modalités et pour chaque bloc, des prélèvements de mangues (en fonction de la disponibilité en mangues tombées au sol) ont été réalisés sur deux périodes (cf. « 4.2 Chronologie de l'étude »).

4.1.2 Au laboratoire

Les mangues ont ensuite été transportées au laboratoire de Bassin Plat où elles ont été pesées et le cas échéant réparties en sous-lots de 100 à 300 g dans des sachets en papier translucide (housses à fruits) refermés pour éviter les fuites éventuelles d'insectes. Du sable de rivière noir préalablement stérilisé à l'étuve (70°C pendant 48h) a été placé au fond des sachets pour permettre la nymphose des larves sortant des fruits. Le protocole expérimental suivi est lié au cycle de vie des mouches des fruits (cf. 4.3.2 Cycle de vie des mouches des fruits).

4.2 Chronologie de l'étude

La floraison de 2017 étant étalée sur les mois d'août à novembre avec plusieurs vagues de floraison, deux relevés de fruits verts tombés au sol dans les parcelles ont été réalisés à un intervalle de temps d'un mois (1^{er} relevé le 3 octobre et 2^{ème} relevé le 3 novembre). Ceci afin de couvrir le début de la fructification découlant des deux vagues de floraison les plus importantes tout en permettant de répéter les mesures pour mieux conclure sur les résultats.

4.3 Notations réalisées

Pour chaque mesure expérimentale réalisée une procédure d'observation a été établie. Les notations sont faites par deux observateurs (moi-même et un chercheur de l'UR HortSys), les temps d'observations par date pour deux personnes sont d'une à deux heure(s). Un arbre correspondait à un lot et dans la mesure du possible l'ensemble des fruits tombés au sol d'un même arbre, potentiellement piqués et infestés d'œufs/larves d'une ou de plusieurs espèces de mouches des fruits, ont été ramassés dans des sacs annotés avec : i) la modalité de la parcelle, ii) le nombre de mangues ramassées et iii) la variété des mangues. C'est après trois semaines d'incubation que les sachets ont été minutieusement ouverts et les adultes émergents (de mouches Tephritidae et le cas échéant de parasitoïdes) ont été capturés à l'aspirateur à bouche et identifiés au moyen de clés d'identification. Le sable a été tamisé et les pupes de Tephritidae comptées et mises dans des boîtes d'émergence en plastique transparent avec couvercle grillagé, pour comptage dans un second temps des émergences de mouches des fruits et le cas échéant de parasitoïdes, et leur identification. En revanche, les (parfois nombreux) adultes et nymphes de drosophiles n'ont pas été pris en compte. Le protocole expérimental suivi est résumé ci-après (Figure 37).



Figure 37 : Mode opératoire pour l'évaluation de l'infestation par les mouches des fruits des mangues tombées au sol

5 Entretiens auprès d'acteurs de la filière

Les entretiens auprès de la filière fruitière et mangue ont été réalisés dans l'objectif de faire une **étude exploratoire sur la production de mangue réunionnaise** sur la base d'un échantillon d'experts/acteurs de la filière (hors consommateur final) (Annexe 7) (ABRIC J.-C., 2005 ; QUIVY R. et VAN CAMPENHOUDT L., 2006). La restitution de ces entretiens est abordée dans les résultats et permettra de faire des propositions relatives à la reconduction de ces travaux de recherche.

La démarche suivie pour réaliser les entretiens est la conduite d'entretiens semi-directifs (Tableau IX) sur la base d'un guide d'entretien restreint (BECHON P., 2011) (Annexe 7). L'idée est de débiter avec une question de départ de type trajectoire de vie professionnelle et avoir ensuite une liste de questions de relance. Ce guide doit permettre de balayer les différentes dimensions (historique, géographique, technique (la floraison et la production de 2017, les pressions sanitaires...), économique, socio-politique) de la filière fruitière et de la place du manguiers en particulier. Ces entretiens ont été réalisés en fin de stage.

Ils abordent trois aspects i) phase exploratoire sur la filière, ii) échange technique propre au contexte de production de 2017 et iii) discussion sur l'étude 2017, les premiers résultats et perspectives pour l'étude 2018.

Tableau IX : Démarche générale de la conduite des entretiens semi-directifs

Etapes	Entretiens semi-directifs (Objectifs)
Principaux objectifs	Comprendre, découvrir, expliquer des idées, opinions, comportements, attitudes, influences etc.
Echantillon	Rechercher la diversité au sein de la population de référence (agriculteurs, technicien, chercheurs) car volonté de tendre vers des profils et avis divergents ou complémentaires selon les thématiques abordées.
Principaux outils (supports)	Rédiger le guide d'entretien, enregistrement et prise de note lors des entretiens

6 Analyse des données

L'analyse des données et les graphiques de visualisation ont été réalisés avec le logiciel R Studio (Version 3.3.3 – © 2009-2017 RStudio, Inc.) ou le logiciel XLSTAT 2017 (Addinsoft, 2017).

Pour tous les tests statistiques réalisés, le seuil de signification est fixé à 5%. Dans cette étude, il s'agit **d'étudier l'effet d'une variable qualitative (type de couverture de sol ; paillage synthétique, enherbement haut et enherbement ras) sur d'autres variables quantitatives** (population larvaire de cécidomyies et mouche des fruits, taux de floraison, rendement...). Différentes analyses ont été réalisées pour les trois essais. Les tests utilisés sont des analyses de variance (ANOVA) et/ou GLMs (modèles linéaires généralisés). Certaines données ont été corrigées (transformation logarithmique) pour suivre la loi normale, des données suivent des lois binomiales (e.g. floraison) ou de Poisson (e.g. rendement). **Les données de comptage de larves de cécidomyies piégées** ont donné lieu à des courbes d'évolution des populations selon les trois modalités testées et des tests statistiques de comparaison multiple (GLHT) ont été faits sur le modèle cécidomyie. **Concernant la phénologie de l'arbre (floraison et rendement)** : à partir de l'identification des dates de débourrement (inflorescences au stade C) on caractérise la floraison (dynamique et intensité) et on évalue l'effet des modalités sur le rendement grâce à des GLMs. **Concernant l'analyse des notations sur le milieu édaphique et la récolte prophylactique** : les données ont été analysées avec le module ANOVA de XLSTAT (Addinsoft, 2017).

L'enquête auprès de la filière mangue a permis de recueillir beaucoup d'avis issus des entretiens. Le traitement des données s'est fait par des retranscriptions des enregistrements pour chaque personne enquêtée. Une analyse thématique transversale (ABRIC J.-C., 2005) a été effectuée pour chaque retranscription (17 personnes rencontrées) afin de dresser un tableau de synthèse sur les i) généralités (avis partagés par un grand nombre) et ii) les particularités (avis énoncé par une ou un groupe de personne(s)).

PARTIE 3 : Résultats

1 Relevés météorologiques au CPEA St Paul

Avant d'aborder les résultats obtenus dans le cadre de cette étude sur l'effet des couvertures de sol sur les populations de cécidomyies, leur impact sur la phénologie des arbres et l'environnement du verger (floraison, rendement, sol, diversité végétale et entomologique) et la récolte prophylactique, cette première partie fait état des données météorologiques recueillies sur les années 2016 et 2017 sur la période d'étude des vergers en expérimentation (Figure 38). Le tapis de sol tressé a été implanté du 28/06/2017 au 04/12/2017. On observe que la pluviométrie a été plus importante en 2017 qu'en 2016 excepté au mois d'octobre et que les températures moyennes en 2017 ont été plus élevées de quelques degrés surtout pendant la période d'induction florale (juin-juillet) et la floraison (août à septembre/octobre).

Pendant la période hivernale (juin à août) les moyennes de températures (minimum, moyenne et maximum) étaient supérieures sur l'année 2017 par rapport à l'année 2016. Le mois de juin 2017 a gagné en moyenne 2°C, 3°C en juillet et 1°C en août par rapport aux mêmes périodes en 2016. Ainsi la période hivernale de 2017 était plus chaude qu'en 2016. Concernant la pluviométrie, il a plu beaucoup plus en 2017 surtout aux mois d'août (+33mm), novembre (+28mm) et décembre (+49,7mm) par rapport aux mêmes périodes en 2016. Relativement à toute la période d'essai, il a plu 140,8 mm de plus en 2017 qu'en 2016.

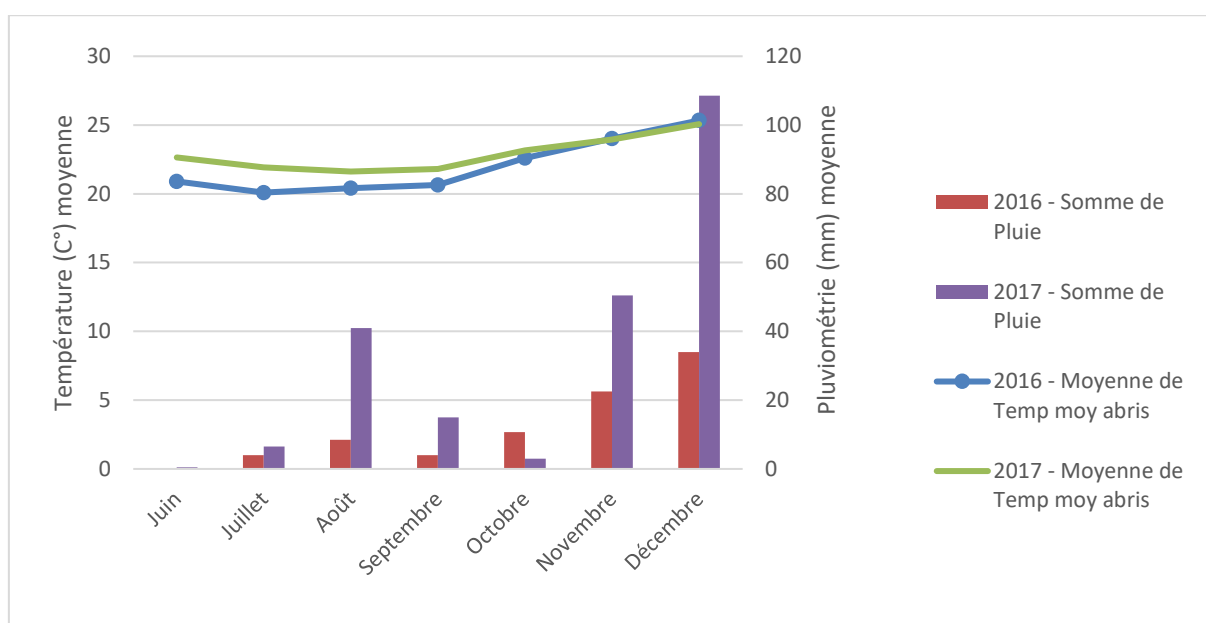


Figure 38 : Diagramme ombrothermique couvrant la période d'essai sur 2017 et en comparaison avec la météo de 2016 sur les températures moyennes journalières (°C) et les précipitations journalières (mm) du 01/06/2016-2017 au 31/12/2016-2017 relevées par la station météorologique du CPEA St Paul.

2 L'effet des couvertures de sol sur la gestion de la cécidomyie des fleurs (essai 1)

2.1 Evolution des populations larvaires de cécidomyies au cours de la période d'essai

Les courbes d'évolution des populations larvaires de cécidomyies (Figure 39) ont été réalisées à partir de la variable Larves* (larves brutes normalisées) pour chaque couverture du sol en fonction des blocs séparément sur la période de floraison 2017 (mi-juillet à fin octobre). Le graphique ci-dessous (Figure 39) permet de visualiser la dynamique de population de la cécidomyie en corrélation avec la ressource présente pour chaque traitement et bloc.

On observe que pour le bloc 1 le traitement enherbement ras est celui qui a le plus de population larvaire sur quasiment toute la période. Le paillage synthétique en revanche est celui qui en a le moins et l'enherbement haut se situe entre les deux. Concernant le bloc 2 on remarque que pour l'enherbement ras en juillet et août il n'y a pas eu de larves, mais qu'en septembre (période de pleine floraison) il y a eu un pic important sur la première quinzaine de septembre 2017.

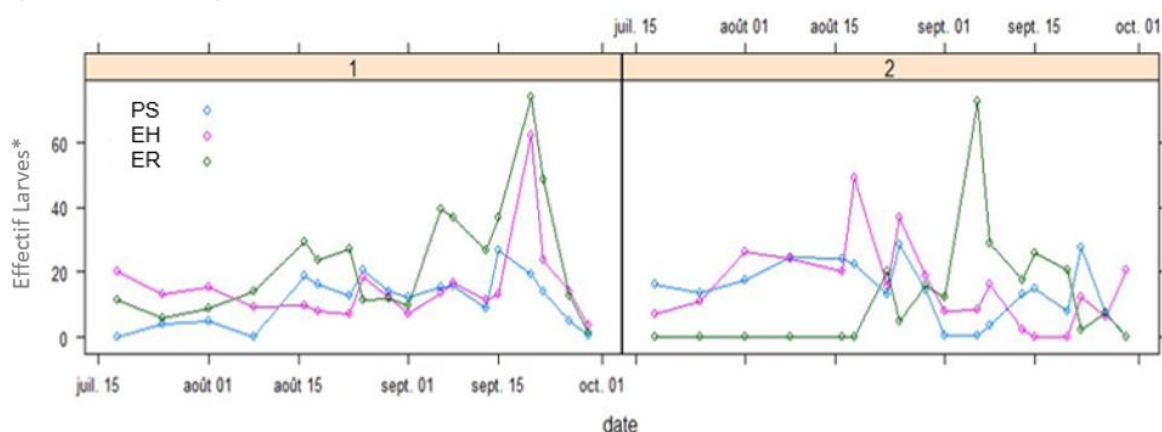


Figure 39 : Evolution au cours de la période de floraison des effectifs de Larves* sur les bloc 1 et 2 en fonction des traitements (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras)

2.2 Estimation des populations de cécidomyies

Les populations de cécidomyies ont été estimées par comptages. A chaque passage (une date donnée) plusieurs paramètres ont été observés et notés :

- **Larves Brut** : nombre de larves comptées dans les pièges : les données sont brutes
- **Inflo.piège** : nombre d'inflorescences positionnées au-dessus de la circonférence du piège ;
- **Inflo.arbre** : nombre d'inflorescences totales à l'échelle de l'arbre ;
- **Inflo morte.arbre** : nombre d'inflorescences mortes ou desséchées à l'échelle de l'arbre ; les inflorescences mortes sont facilement identifiables visuellement ;
- **Larves.arbre** : estimation du paramètre « Larves Brut » à l'échelle de l'arbre (calcul réalisé grâce au nombre d'inflorescences par piège, permettant de passer de l'échelle du piège à l'échelle de l'arbre) ;
- **Larves*** : nombre de larves normalisé pour une date donnée, i.e, le nombre de larves est calculé en fonction de différents paramètres afin que les données soient comparables. Le calcul est le suivant :

$$\text{Larves*} = (\text{Larves Brut} / \text{nombre de pièges} / \text{nombre de jours entre deux relevés} / \text{nombre d'inflorescences au-dessus du piège}) \times 1000.$$

Pour chacun de ces paramètres la moyenne a été calculée sur l'ensemble des dates de relevés soit 20 passages (Tableau X). Lors de la gestion des données, les dates des derniers relevés ont été enlevées (3 et 6 octobre). Ces dates ont permis de s'assurer qu'il n'y avait plus de larves présentes dans les pièges et donc de clôturer l'essai. Aussi s'il n'y avait pas d'inflorescences au-dessus des pièges les données n'ont pas été prises en compte.

Nous voulons calculer le nombre moyen d'insectes par jour, par piège et par nombre d'inflorescences se trouvant au-dessus des pièges : Larves*. La variable explicative de l'effet des couvertures de sol sur la population de cécidomyie est : « **Larves*** » c'est sur cette variable que le modèle a été construit pour réaliser les tests statistiques.

Un modèle linéaire pour expliquer le nombre de larves observées dans les pièges a été créé (modèle cécidomyie) ; il prend en compte le traitement (couverture du sol) ainsi que l'autocorrélation temporelle entre la date t et t-1. Le modèle a ensuite été analysé par un modèle linéaire généralisé (GLMs). Les GLMs sont basés sur la méthode du maximum de vraisemblance. Lorsqu'un effet significatif du facteur est mis en évidence, un test de comparaison de moyennes a été réalisé. Il permet d'identifier quelles modalités du traitement sont significativement différentes. Il est dérivé du test de Tukey dans le cas des modèles linéaires généralisés.

Tableau X : Les moyennes des paramètres étudiés pour chaque bloc et chaque modalité

Bloc	Modalité	Larves Brut	Inflo. piège	Inflo. arbre	Inflomorte. arbre	Larves. arbre	Larves*
1	PS	19,35	25,60	536,15	95,35	478,65	11,12 (a)
1	EH	44,60	40,65	860,00	129,55	897,32	13,92 (ab)
1	ER	50,90	30,80	489,75	271,05	1045,47	21,83 (b)
2	PS	36,05	34,45	512,85	126,75	512,64	12,47 (-)
2	EH	26,05	20,05	259,65	111,55	396,72	14,51 (-)
2	ER	30,95	13,80	341,60	450,40	956,11	14,36 (-)

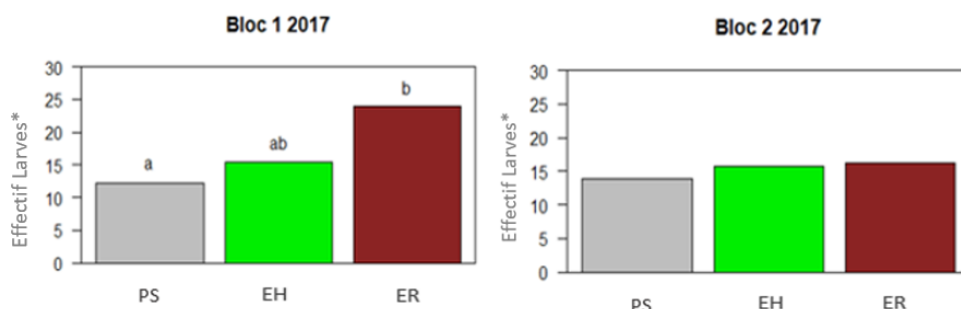


Figure 40 : Effectif Larves* sur les deux blocs séparément en fonction des traitements (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras)

Le bloc 2 ne permet pas de conclure sur des différences entre les couvertures de sol néanmoins nous observons que **le paillage synthétique quel que soit le bloc d'étude est la couverture du sol où il y a eu le moins de Larves* de cécidomyies piégées.**

Pour le bloc 1, les moyennes surmontées d'une lettre différente (Figure 40) ont un effet différent (comparativement aux autres traitements) sur la population larvaire au seuil de 5% (p-value [PS*ER] = 0.0183 * alors que p-value [ER*EH] = 0.2143 et p-value [PS*EH] = 0.5098). **Le paillage synthétique sur le bloc 1 est le traitement où il y a eu le moins de larves piégées** puis vient l'enherbement haut et enfin l'enherbement ras. Toujours sur le bloc 1 on retrouve la même tendance pour les larves « Brut » alors que ce n'est pas le cas sur le bloc 2.

Concernant la caractérisation de la ressource florale, **il y a eu plus d'inflorescences mortes sur les couvertures de sol où il y a eu le plus de cécidomyies observées**. Il y a eu d'avantage d'inflorescences sur la couverture du sol enherbement haut sur le bloc 1 à corrélérer avec le calcul des taux de floraison (3.1.2 L'intensité de floraison).

2.3 Evaluation des dégâts sur inflorescences

2.3.1 Les stades sensibles

Sur l'ensemble des inflorescences étudiées au-dessus des pièges, nous avons voulu savoir quels stades sont les plus attaqués par la cécidomyie suivant deux observations i) le nombre de piqûres sur l'axe de l'inflorescence (Figure 41) et ii) le nombre de larves présentes dans les pièges en dessous (Figure 42).

- ❖ i) En fonction du nombre de piqûres sur l'axe

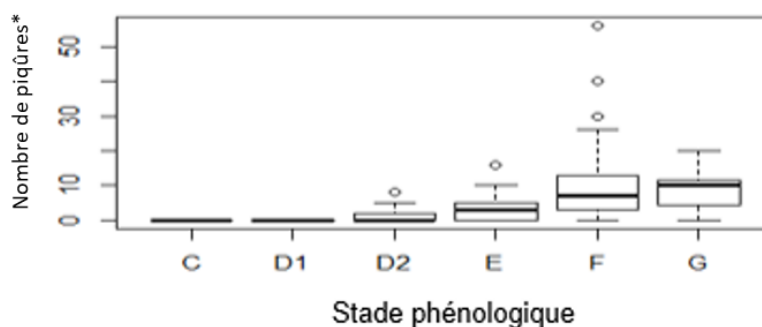


Figure 41 : les stades phénologiques du manguier sensibles à la cécidomyie en fonction du nombre de piqûres observées sur les hampes florales

Il y a un effet significatif du stade phénologique par rapport au nombre de piqûres sur la hampe florale ($p\text{-value} = 2.2 \times 10^{-16}^{***}$). En utilisant un test de comparaison multiple (GLHT) qui permet d'ajuster les $p\text{-value}$ en fonction du nombre de paramètres à étudier on n'arrive pas à déceler les différences significatives des stades entre eux par rapport aux piqûres. Graphiquement on visualise que le nombre de piqûres est plus conséquent sur les stades phénologiques E, F et G.

- ❖ ii) En fonction du nombre de larves présentes dans les pièges en dessous des inflorescences suivies

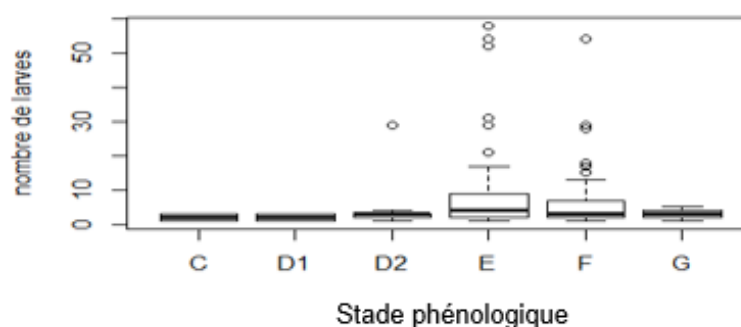


Figure 42 : les stades phénologiques du manguier sensibles à la cécidomyie en fonction du nombre de larves piégées en dessous des inflorescences suivies

Pour savoir si statistiquement il y a un effet significatif des stades phénologiques sur la population de larves comptées dans les pièges un test de GLMs a été utilisé. Les GLMs portent sur le nombre de larves en fonction du stade phénologique, le nombre de larves suit une loi de Poisson. Il y a un effet significatif du stade phénologique par rapport à la présence de larves dans les pièges au-dessous ($p\text{-value} = 2.70 \times 10^{-11}^{***}$). Les stades E et F sont plus sensibles comparés aux stades C, D1, D2 et G.

2.3.2 Dessèchement des inflorescences

Le taux de dessèchement des inflorescences (après transformation racine carrée) a été significativement supérieur sur la modalité « enherbement ras » par rapport aux deux autres couvertures de sol (Figure 43) (p-value =0,047) au test F (ANOVA) ; avec un effet bloc marginalement significatif (p-value =0,061 : dessèchement supérieur sur le bloc 2).

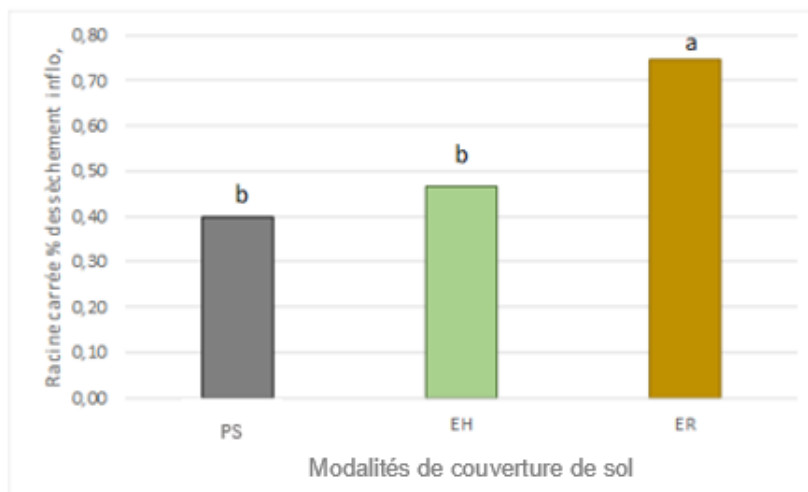


Figure 43 : Racine carrée du taux de dessèchement des inflorescences en fonction de la couverture du sol (PS = paillage synthétique ; EH = enherbement haut ; ER = enherbement ras)

Synthèse sur l'essai 1 :

Populations larvaires : $ER \geq EH \geq PS$ et $ER > PS$

Stades sensibles : E, F et G

Dessèchements des inflorescences : $ER > EH \geq PS$

3 L'effet des couvertures de sol sur la phénologie des arbres et l'environnement du verger (essai 2)

3.1 Analyse de l'effet des couvertures de sol sur la phénologie du manguier

3.1.1 La dynamique de floraison

Pour connaître la période de floraison des parcelles suivies, en regardant séparément les deux blocs, il a été nécessaire de calculer le nombre d'inflorescences par traitement au cours du temps puis le nombre total d'inflorescences par traitement. Ce nombre d'inflorescences a été converti en pourcentage pour pouvoir comparer la floraison des deux blocs pour chacune des trois modalités.

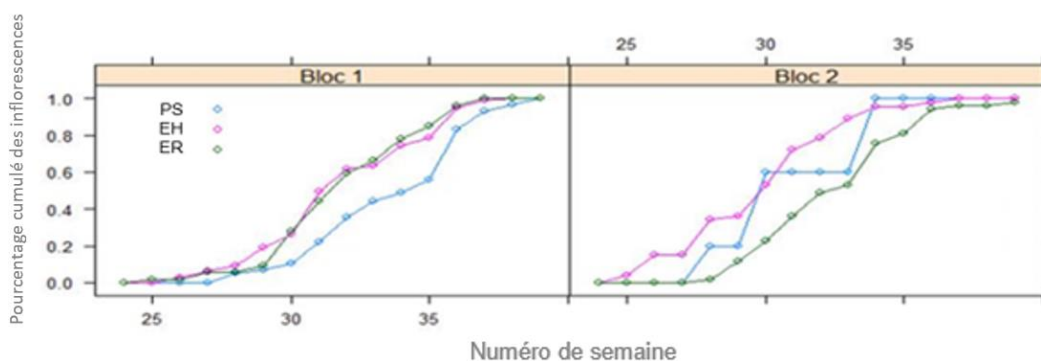


Figure 44: Dynamique de floraison en pourcentage cumulé d'inflorescences en fonction du traitement pour chaque bloc au cours du temps (exprimé en numéro de semaine, sachant que 1 est la première semaine de l'année) sur le bloc 1 et 2 en fonction des traitements (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras).

On observe que la floraison des vergers suivis a débuté entre la 29^{ème} semaine et la 33^{ème} semaine soit entre mi-juillet et mi-août (Figure 44, Tableau XI). Le bloc 1 a 15 jours de retard par rapport au bloc 2. Donc la floraison sur le bloc 2 a été plus précoce excepté sur la modalité enherbement ras qui est plus tardive d'environ une semaine par rapport à la parcelle en enherbement ras sur le bloc 1. Concernant le bloc 1 ce sont les modalités enherbées qui ont fleuri 15 jours avant la modalité paillée et sur le bloc 2 ce sont les parcelles paillées et en enherbement haut qui ont fleuri 3 semaines avant.

Tableau XI : Date médiane à laquelle les bourgeons floraux atteignent le stade C en fonction du traitement et du bloc

Modalité	Date C (semaine)	Date C (jour)
Bloc 1 : Paillage synthétique	33,5 (tardif)	Du 14 au 20 aout
Bloc 1 : Enherbement haut	31,6	Du 31 juillet au 7 aout
Bloc 1 : Enherbement ras	31,7	Du 31 juillet au 7 aout
Bloc 2 : Paillage synthétique	29,5 (précoce)	Du 17 au 23 juillet
Bloc 2 : Enherbement haut	29,5 (précoce)	Du 17 au 23 juillet
Bloc 2 : Enherbement ras	32,3	Du 7 au 13 aout

La date C (exprimée en semaines) correspond à la date de 50% floraison (lorsque la moitié des bourgeons des UCs suivies ont atteint le stade phénologique C).

3.1.2 L'intensité de floraison

Afin de connaître l'effet du paillage synthétique et de l'enherbement haut et ras, sur l'intensité de floraison, le taux de floraison et le nombre d'UCs florifères sur chaque arbre pour chaque couverture du sol ont été comparés (Tableau XII).

Le taux de floraison moyen sur le bloc 1 est de 31% et est de 12,7% sur le bloc 2. Concernant le nombre d'inflorescences moyen par UC il est de 1,18 sur le bloc 1 et 1,42 sur le bloc 2.

Tableau XII : Intensité de floraison en fonction des traitements (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras) pour chaque bloc

Intensité de floraison	Bloc 1			Bloc 2		
	PS	EH	ER	PS	EH	ER
Taux de floraison	0,260 (b)	0,405 (a)	0,265(b)	0,015 (c)	0,135 (b)	0,230(a)
Nombre d'inflorescences moyen/UC	1,212 -	1,259 -	1,038 -	1,666 -	1,777 -	1,196 -

3.1.2.1 Taux de floraison par arbre pour chaque modalité

L'effet du traitement sur le taux de floraison pour chacun des deux blocs a été analysé séparément. On ne peut pas faire d'analyse de variance car les valeurs observées sont binaires (0 : l'UC non fleurie et 1 : l'UC fleurie) et non gaussiennes. Pour pallier la nature des variables, les analyses statistiques ont été faites en utilisant le modèle linéaire généralisé. Ce modèle permet, en utilisant une fonction de lien (ici binomial), de transformer les variables réponses (variables binomiales) en variables gaussiennes.

Les moyennes (Figure 45) surmontées d'une lettre différente signifient que la couverture du sol a un impact différent, comparativement aux autres traitements, sur le taux de floraison.

Concernant le bloc 1, le traitement « enherbement haut » a un taux de floraison significativement différent des traitements « paillage synthétique » ($p=0,002$) et « enherbement ras » ($p=0,003$). Concernant le bloc 2, les trois traitements ont un taux de floraison significativement différent (p -value [PS*EH] = $0,00016^{***}$ / p -value [PS*ER] = $8.78e-7^{***}$ / p -value [EH*ER] = $0,0149^*$). Le taux de floraison est représenté graphiquement ci-après (Figure 45).

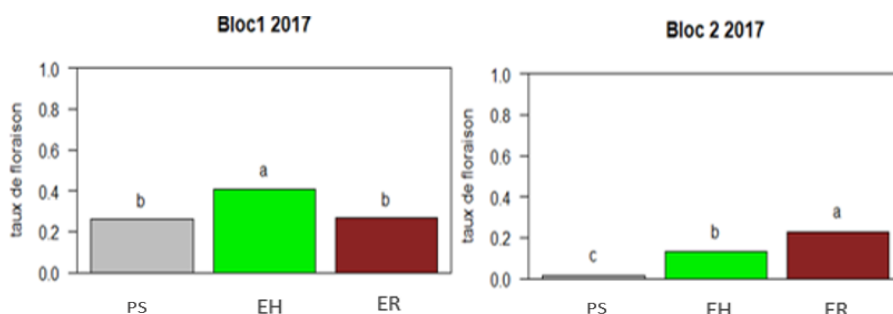


Figure 45 : Taux de floraison par arbre en fonction des modalités sur les deux blocs séparément (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras).

3.1.2.2 Nombre d'inflorescences moyens par UC florifère pour chaque arbre

Les résultats portant sur l'effet du traitement sur le nombre d'inflorescences moyen par UC pour chacun des deux blocs séparément n'ont pas montré d'effet significatif du nombre d'inflorescences par UCs en fonction des couvertures de sol quel que soit le bloc.

Tout comme pour le calcul du taux de floraison les variables observées ne suivent pas une loi normale, ce sont des variables de comptage. Un modèle linéaire généralisé a été utilisé suivant une loi de Poisson. Que ce soit sur le bloc 1 ou le bloc 2, il n'y a pas de différence significative des traitements sur le nombre d'inflorescences moyen par UC.

3.1.3 Estimation des rendements (en nombre de fruits)

Les rendements ont été estimés par comptage des mangues avant la récolte sur tous les arbres de chaque modalité de couverture du sol.

Les différentes variables ont été estimées visuellement au verger (Tableau XIII) :

- **Arbre** : nombre total d'arbres par parcelle ;
- **Fruits** : nombre total de fruits par parcelle ;
- **Fructi** : nombre d'arbres ayant fructifié par parcelle ;
- **Rdt.arbre** : calcul du nombre de fruits par arbre en considérant la totalité des arbres de la parcelle ;
- **Rdt.arbrefructi** : calcul du nombre de fruits par arbre en considérant seulement les arbres ayant fructifié ;
- **X** : pourcentage du nombre d'arbres ayant fructifié en considérant tous les arbres de la parcelle, i.e $X = \text{Fructi} / \text{Arbre}$.

Tableau XIII : Estimation des rendements à partir du calcul de différentes variables

Bloc	Traitement	Arbre	Fruits	Fructi	Rdt.arbre	Rdt.arbrefructi	X (%)
1	PS	48	61	10	1.27	6.10 (b)	21 (ab)
1	EH	54	439	22	8.13	19.95 (a)	41 (a)
1	ER	52	19	7	0.36	2.71 (c)	13 (b)
p-value						$p < 0.001$	$p = 0.0039$
2	PS	48	365	7	7.60	52.14 (b)	15 -
2	EH	51	838	12	16.43	69.83 (a)	24 -
2	ER	55	331	12	6.02	27.58 (c)	22 -
p-value						$p < 0.001$	$p = 0.4865$

L'analyse des rendements a été réalisée en nombre de fruits i) sur tous les arbres du vergers et ii) sur uniquement les arbres ayant fructifié. Afin de savoir quel arbre a fructifié, la variable « Fructi » a été utilisée. Cette variable donne l'information du nombre d'arbres ayant fructifié pour chaque couverture du sol. C'est une variable binomiale qui prend pour valeur 0 quand il n'y a pas de fruit sur l'arbre et 1 s'il y a au moins un fruit sur l'arbre.

3.1.3.1 Analyse des rendements sur tous les arbres du verger (variable : X)

Le test statistique appliqué sur la donnée X est le modèle linéaire généralisé de type binomial car il prend la variable « Fructi » comme variable explicative.

Nous voulons savoir si la différence entre le nombre d'arbres ayant fleuri est significative entre les traitements pour chaque bloc séparément. Les moyennes (Figure 46) surmontées d'une lettre différente signifient que l'effet de la couverture du sol impacte différemment le rendement. L'enherbement haut est sur le bloc 1 la parcelle sur laquelle il y a eu le plus de fruits comparativement au paillage synthétique et est significativement différent de l'enherbement ras. On visualise la même tendance sur le bloc 2 (EH ≥ PS/ER).

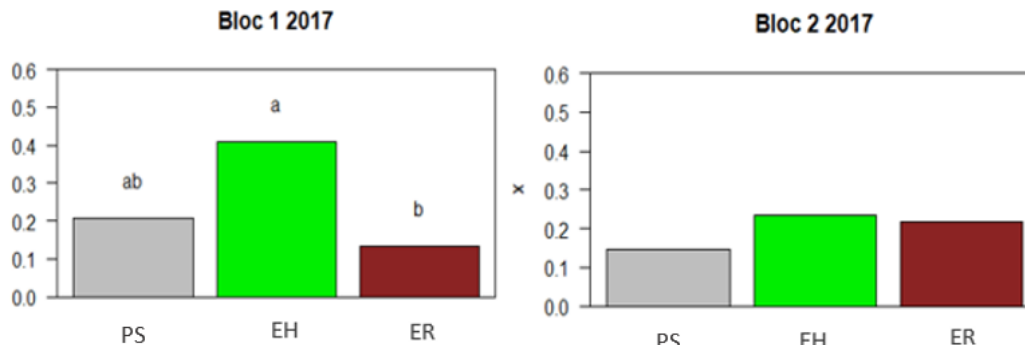


Figure 46 : Rendement par arbre portant sur tous les arbres du verger (x), en fonction des couvertures de sol sur les deux blocs séparément (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras).

3.1.3.2 Analyse des rendements sur tous les arbres ayant fructifié (variable : Rdt.arbrefructi)

On s'intéresse à la variable fruits à laquelle on conserve uniquement les valeurs où il y a au moins un fruit (arbres ayant fructifié) et là-dessus on applique un modèle linéaire de type Poisson. Comme c'est ramené au nombre d'arbres pour chaque couverture du sol, les résultats sont comparables.

Les moyennes (Figure 47) surmontées d'une lettre différente signifient que la couverture du sol a un impact différent comparativement aux autres traitements sur le rendement. Quel que soit le bloc, la couverture du sol sur laquelle il y a eu significativement le plus de fruits par rapport aux autres couvertures de sol, est l'enherbement haut puis le paillage synthétique et enfin l'enherbement ras.

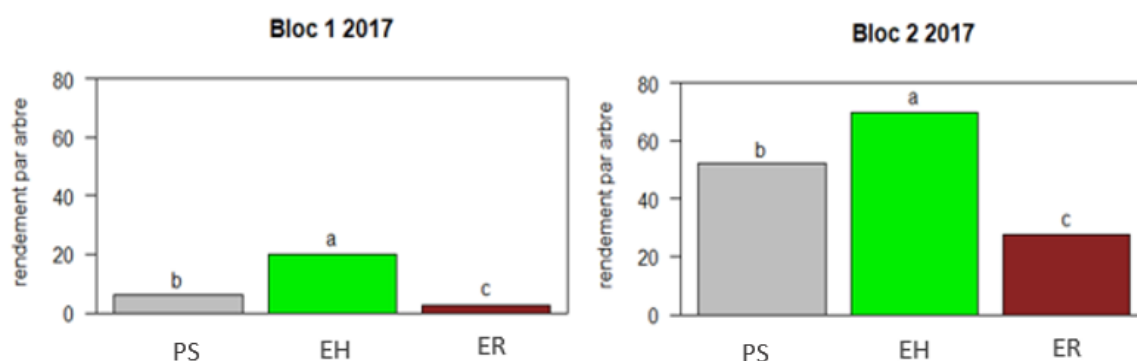


Figure 47 : Rendement par arbre portant sur les arbres ayant fructifié uniquement, en fonction des modalités sur les deux blocs séparément (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras).

Synthèse sur l'essai 2 : la phénologie du manguier

Dynamique de floraison : le bloc 2 a fleuri deux semaines avant le bloc 1

Taux de floraison moyens par bloc : Bloc 1 > Bloc 2

Taux de floraison moyens par traitement : EH > PS / ER

Rendements sur tous les arbres : EH ≥ PS ≥ ER et EH > ER

Rendements sur tous les arbres ayant fructifié : EH > PS > ER

3.2 Acquisition des données édaphiques

3.2.1 Résultats sur la température du sol (TinyTags®)

Le suivi de l'évolution de la température du sol sous toutes les modalités de couverture de sol et sur les deux blocs a mis en évidence trois période distinctes.

Si l'on se réfère aux courbes ci-après (Figure 48), quelle que soit la couverture du sol, on distingue ces trois périodes: le premier mois (de début juillet à début août), avec des températures constantes, et une faible amplitude journalière (visible particulièrement sur les modalités « ER » et « EH ») ; les deux mois suivants (de début août à début octobre), avec des températures constantes mais une plus grande amplitude journalière ; enfin de début octobre à fin novembre, avec une augmentation nette des températures, autant minimales que maximales.



Figure 48 : Courbes d'évolution des températures sur la couche superficielle du sol en fonction de la modalité de couverture du sol, sur les deux blocs séparément (PS = paillage synthétique ; EH = enherbement haut ; ER = enherbement ras)

Les ANOVAs ont été effectuées sur les températures journalières (min et max) de ces trois périodes, sauf pour les températures minimums de la première période, du fait de la non-normalité des données. Aucun des tests F n'était significatif. Sur les températures minimales de la première période, on a effectué un test non paramétrique en prenant en compte les données des TinyTags® individuels et les données sont présentées en Figure 49. Le test de Kruskal-Wallis est significatif mais les tests de Dunn/Bonferroni ne mettent pas en évidence de différences significatives entre traitements.

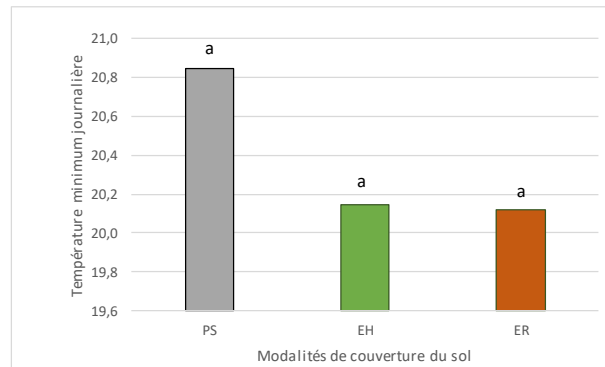


Figure 49 : Température minimum (°C) sous la surface du sol (période du 07/07/2017 au 06/08/2017) en fonction de la modalité de couverture du sol (PS = paillage synthétique ; EH = enherbement haut ; ER = enherbement ras)

3.2.2 Résultats sur l'activité biologique du sol (Bait-Lamina®)

Concernant les Bait-Lamina®, pour chaque « set » de 3 X 16 unités, on a considéré d'une part la somme des trous consommés (en comptant pour 1 ceux entièrement consommés et 0,5 ceux partiellement consommés) et d'autre part le % de trous consommés (entièrement ou partiellement).

Quel que soit le paramètre, après transformation racine carrée, on a observé une différence significative entre les deux blocs (ou marginalement significative : $p=0,057$ pour le % sur la 1ère période), avec une activité biologique supérieure sur le bloc 2.

Concernant les modalités de couverture du sol, les différences n'ont été significatives pour aucun des deux paramètres sur la 1ère période, alors qu'elles ont été marginalement significatives pour le % d'appâts consommés sur la 2ème période, avec une activité supérieure sous paillage synthétique, par rapport aux deux modalités enherbées (Figure 50) : $p=0,095$ au test SNK pour ER vs PS ; $p=0,044$ au test F (ANOVA) ; avec un effet Bloc significatif ($p=0,020$: activité biologique supérieure sur le bloc 2).

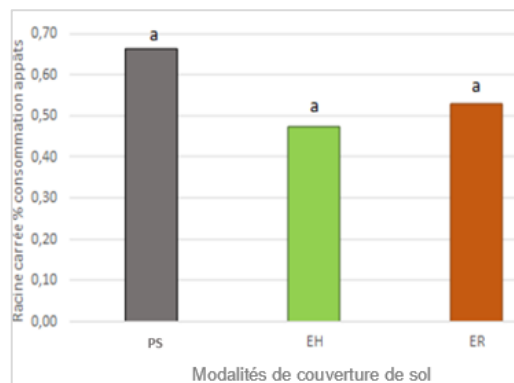


Figure 50 : Activité biologique du sol (% de consommation des appâts des Bait-Lamina®) au 2ème relevé (15/12/2017) en fonction de la modalité de couverture du sol (PS = paillage synthétique ; EH = enherbement haut ; ER = enherbement ras).

Synthèse sur l'essai 2 : l'impact sur le milieu édaphique

- Température du sol sur la 1ère période : PS > EH ≥ ER
- Température minimum du sol de début juillet à début août : PS > EH ≥ ER
- Température du sol sur la 2nd période : PS ≥ ER ≥ EH
- Activité biologique édaphique : PS ≥ ER ≥ EH

4 L'impact des couvertures de sol sur l'infestation des mangues par les mouches des fruits (essai 3)

La récolte prophylactique effectuée à deux périodes (3 octobre et 3 novembre 2017) a révélé que les mouches des fruits de quatre espèces ont émergé de mangues tombées au sol : *Ceratitis rosa* et *C. capitata* ; *Bactrocera zonata* et *B. dorsalis*. Le graphique ci-après (Figure 51) est issu des données des deux prélèvements du 3 octobre & 3 novembre sur les deux blocs (quatre lots pour chacune des modalités PS & EH ; six lots pour la modalité ER). Les moyennes surmontées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5% au test de comparaisons multiples suivant la procédure de Dunn après correction de Bonferroni, suite à test de Kruskal-Wallis significatif ($p=0,025$).

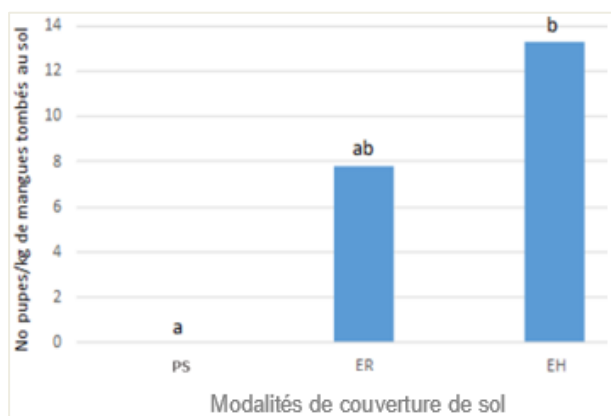


Figure 51 : Nombre de pupes de Tephritidae par kg de fruits sur mangues Cogshall tombées au sol en fonction de la couverture du sol sans différenciation des blocs (PS = paillage synthétique ; ER = enherbement ras ; EH = enherbement haut).

L'infestation par les espèces de mouches des fruits (Diptera : Tephritidae), par ordre décroissant du nombre d'émergences est la suivante : *Bactrocera zonata* (33) ; *Ceratitis capitata* (8) ; *Ceratitis rosa* (6) ; *Bactrocera dorsalis* (1).

Egalement, un seul cas d'émergence de parasitoïdes, sur un lot de fruits du bloc 1 a été relevé sur la modalité EH du bloc 1. Après identification, il s'agit de 8 adultes de l'espèce *Aganaspis cf. daci* (Hymenoptera : Figitidae : Eucoilinae) (RATNADASS A., comm. pers., 2017). Le lot hébergeait également des pupes de *C. capitata* et *B. zonata*.

Synthèse sur l'essai 3 : l'infestation des mangues avortées

Pupes de *Tephritidae* : $EH \geq ER \geq PS$ et $EH > PS$

Mais présence d'un cas de parasitoïde (8 adultes) sur l'enherbement haut

5 Retour d'enquête exploratoire auprès de la filière mangue réunionnaise

L'enquête exploratoire réalisée auprès des acteurs de la filière a permis d'échanger sur différents aspects :

- Le contexte de la production et du marché de la mangue ;
- Les pratiques culturales utilisées par les producteurs ;
- Le contexte de floraison atypique de 2017 ;
- La discussion de l'étude 2017.

La mangue est un fruit saisonnier qui a toute sa place sur le marché réunionnais. La demande est souvent supérieure à l'offre. Les prix fluctuent au cours de la campagne de

production : ils sont très élevés en octobre et deviennent stables en décembre lorsque toutes les variétés et zones sont en récolte (directeur de coopérative, responsable commerciale, bazardier, comm. pers., 2017). La mangue est une culture de rente en plein développement (environ 150 ha plantées ces dix dernières années ce qui est beaucoup pour une culture fruitière à La Réunion) surtout dans l'Ouest de l'île (zone de production majeure).

Les producteurs (environ 80 à La Réunion) adoptent de plus en plus l'enherbement dans les vergers ; pour certains c'est à l'issue du projet Biophyto. De façon générale, les techniciens sur le terrain observent de plus en plus une maîtrise de l'ensemble de l'itinéraire technique du manguier (e.g. la gestion de la taille, l'irrigation, l'enherbement et la gestion des bioagresseurs) et une diversification des systèmes (augmentation du nombre de variétés cultivées). Les agriculteurs qui mettent en place un enherbement dans leur verger l'expliquent par deux raisons :

- La réduction de dégâts de bioagresseurs ;
- La présence d'ennemis naturels plus importante (e.g. contre les trips, les mouches des fruits, la cécidomyie).

En revanche bon nombre restent réticents à l'adoption de cette pratique car cela n'est pas en accord avec une vision de gestion « propre » du verger qu'ils ont (Agriculteurs, technicien Chambre d'Agriculture, technicien Cirad, technicien coopérative, comm. pers., 2017).

Bien que les productions de mangues soient différentes en fonction des années, beaucoup d'acteurs se sont accordés à dire que cette année était exceptionnellement catastrophique en termes de floraison et de récolte qui en a découlé. La floraison n'a été correcte que dans la zone de Grand Fond. Les experts rencontrés ont du mal à expliquer ce constat scientifiquement, tous les acteurs de la filière rencontrés pensent que cela serait dû aux conditions météorologiques de l'hiver austral 2017 qui ne fût ni froid ni sec mais pluvieux.

En corrélation avec la faible disponibilité de ressource florale, la cécidomyie des fleurs n'a pas été un problème biotique majeur sur la floraison de 2017. La punaise et l'oïdium ont été plus facilement observés surtout dans le Sud, où le climat est plus humide.

L'étude de 2017 analysait des pratiques de couverture du sol comme le paillage synthétique qui est novateur. La vision des producteurs sur les techniques qu'ils mettent en œuvre (ou qu'ils pourraient adopter) dépend, à la fois, des conditions pédoclimatiques de leur exploitation et de leur vision des modes et stratégies de production. Une innovation ne va pas forcément convenir à un producteur mais peut convenir à un panel (e.g. les membres du réseau Dephy Ferme mangue). Néanmoins, les avis recueillis sont assez mitigés sur l'intérêt du paillage synthétique. Différents acteurs rencontrés pensent que le paillage n'est peut-être pas la meilleure pratique culturale pour gérer la cécidomyie car ils ne la voient pas comme une technique « écologique ». Son adoption semble problématique sur trois aspects majeurs :

- Le coût/ niveau d'investissement à prévoir ;
- La main d'œuvre et le temps nécessaire pour sa mise en place ;
- La priorisation du producteur sur les problèmes phytosanitaires en corrélation avec la sensibilisation de l'agriculteur à l'adoption de ce type de pratique.

Au vu des premiers résultats, le paillage synthétique montre qu'une barrière physique semble fonctionner, il serait donc intéressant de coupler cette pratique pour plaire aux producteurs avec d'autres pratique comme l'enherbement haut spontanée qui est déjà une pratique adoptée par certains producteurs. L'intérêt pour la récolte prophylactique s'est montré plus fructueuse car moins contraignante et les agriculteurs seraient plus aptes à essayer cette pratique dans leurs vergers. (technicien Chambre d'Agriculture et coopérative, chercheurs du Cirad, comm. pers., 2017).

Une synthèse plus détaillée des entretiens réalisés auprès de la filière est disponible en Annexe 10.

6 Synthèse de l'ensemble des résultats de l'étude

Tableau XIV : Résultats obtenus pour chaque mesure réalisée pendant l'étude. Les résultats significativement différents sont renseignés sur fond gris et les modalités validées en vert. Certaines variables n'ont pas été statistiquement testées (sur fond blanc).

Mesure		Résultats
Suivi des conditions climatiques pendant l'essai		Température et pluviométrie plus élevées en 2017 qu'en 2016
Essai 1 : Effet des couvertures de sol sur la cécidomyie	Effet du traitement sur les populations de cécidomyies estimées	Quantité de larves : différence entre les modalités sur le bloc 1 <ul style="list-style-type: none"> ○ Bloc 1 : Enherbement ras > Enherbement haut > Paillage synthétique ○ Bloc 2 : Enherbement haut > Enherbement ras > Paillage synthétique
	Intensité des dégâts sur inflorescences	Bloc 1 : Enherbement ras > Enherbement haut > Paillage synthétique
		Bloc 2 : Paillage synthétique > Enherbement ras > Enherbement haut
Stades sensibles	Il y a des stades plus sensibles que d'autres à la cécidomyie. On peut identifier une tendance de groupes : sensible : E, F et G et moins sensibles : C, D1 et D2 <ul style="list-style-type: none"> • Fonction du nombre de piqûres sur l'axe : F > G > E > D2 > D1-C • Fonction du nombre de larves piégées en dessous des inflorescences : E > F > G > D2 > D1 > C 	
Essai 2 : Effet des couvertures de sol sur l'environnement du verger	Effet du traitement sur la dynamique de floraison	Le bloc 1 à fleuri 15 jours après le bloc 2 Bloc 1 date de mi floraison, précocité : Enherbement haut > Enherbement ras > Paillage synthétique Bloc 2 date de mi floraison, précocité : Enherbement haut – Paillage synthétique > Enherbement ras
	Effet du traitement sur l'intensité de floraison	<ul style="list-style-type: none"> • Taux de floraison : différence entre les modalités sur les 2 blocs <ul style="list-style-type: none"> ○ Bloc 1 : Enherbement haut > Paillage synthétique > Enherbement ras ○ Bloc 2 : Enherbement ras > Enherbement haut > Paillage synthétique • Nombre d'inflorescences par UCs : on remarque les mêmes tendances sur chacun des blocs : <ul style="list-style-type: none"> ○ Bloc 1 : Enherbement haut > Paillage synthétique > Enherbement ras ○ Bloc 2 : Enherbement haut > Paillage synthétique > Enherbement ras
	Effet du traitement sur le rendement	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement (arbres ayant fructifié) : différence entre les modalités sur les 2 blocs <ul style="list-style-type: none"> ○ Bloc 1 : Enherbement haut > Paillage synthétique > Enherbement ras ○ Bloc 2 : Enherbement haut > Paillage synthétique > Enherbement ras

		<ul style="list-style-type: none"> • Rendement (total des arbres) : différence entre les modalités sur le bloc 1 <ul style="list-style-type: none"> ○ Bloc 1 : Enherbement haut > Paillage synthétique > Enherbement ras ○ Bloc 2 : Enherbement haut > Paillage synthétique > Enherbement ras
	Température du sol (TinyTags®)	Mise en évidence de trois « saisons » distinctes : une saison « fraîche » de début juillet à début août, une saison « intermédiaire » de début août à début octobre, et une saison « chaude » de début octobre à fin novembre. C'est seulement au niveau des températures minimales de la 1 ^{ère} période que l'effet de la couverture du sol était significatif, sans que les tests ne puissent mettre en évidence quels traitements étaient différents entre eux.
	Activité biologique (Bait-Lamina®)	Différence entre les deux blocs sur la 1 ^{ère} période, avec une activité biologique supérieure sur le bloc 2. Tendance globale : Paillage synthétique > Enherbement ras > Enherbement haut
	Caractérisation de l'enherbement et de l'entomofaune (Annexe 6)	La modalité de gestion de l'enherbement impacte significativement la matière sèche et le recouvrement : Enherbement haut > Enherbement ras Mais aussi l'entomofaune (effectifs : nombre d'individus et diversité : nombre de taxons) : Enherbement haut > Enherbement ras
Essai 3 : Effet des couvertures de sol sur la récolte prophylactique	Infestation mouches des fruits	Il y a un effet des différentes modalités sur le nombre de pupes de <i>Tephritidae</i> par kg de fruits sur mangues tombées au sol : Bloc 1 & 2 variété Cogshall : Enherbement haut > Enherbement ras > Paillage synthétique
	Parasitoïde	Présence d'un cas de parasitoïde (8 individus) sur la modalité « Enherbement haut » du bloc 1
Entretiens auprès de la filière	i) Production et marché ii) Floraison et pression biotique 2017 ii) Discussion sur l'étude 2017	i) Production saisonnière et culture de rente, demande supérieure à l'offre, plantation de nouveaux vergers dans l'Ouest. Production qui se développe (300ha en 2010, 450ha estimé en 2018). ii) Floraison 2017 atypique et faible, seule la zone de Grand Fond a eu une production correcte, les pressions biotiques divergent en fonction des zones, les bioagresseurs les plus mentionnées sont la punaise, la cécidomyie et l'oïdium. iii) Avis mitigés sur le paillage synthétique, besoin de communiquer sur les résultats de l'étude, intérêt pour la récolte prophylactique, l'adoption de l'enherbement commence à se voir sur le territoire.

PARTIE 4 : Discussion et limites

1 Des résultats mitigés en raison d'une floraison atypique

A La Réunion comme ailleurs, les caractéristiques climatiques de chaque année sont uniques et influent fortement sur la floraison et la fructification des manguiers et sur la pression de ravageurs qu'ils subissent (de façon directe ou indirecte) à ces stades phénologiques (cécidomyies et mouches des fruits dans notre étude).

De plus la température est un paramètre important chez la cécidomyie car des températures fraîches induisent la levée de diapause et l'émergence de nouveaux adultes lors de l'hiver austral (cf. 5.2 Cycle de vie de la cécidomyie des fleurs). Or en 2017, les températures minimales ont été trop hautes pour bien induire d'un part la floraison et d'autre part la levée de diapause des nymphes présentes dans le sol.

L'année 2017 est une année atypique en termes de floraison et de piégeage. Selon différents acteurs rencontrés (chef d'exploitation, chercheurs du Cirad, techniciens, professionnels de la filière) et les observations menées sur le terrain : cela serait lié aux conditions climatiques : l'hiver a été tardif, il n'a été ni froid ni sec, avec des mois de juillet, août et septembre pluvieux (cf.1 Relevés météorologiques au CPEA St Paul).

Ces conditions climatiques peuvent impacter négativement l'induction florale donc le déroulement de la floraison et de la production de mangues qui en découle (cf. 3.2.1 Cycle phénologique du manguiers).

S'est ajouté à ce facteur le caractère alternant du manguiers qui a pu être très prononcé cette année (on a observé sur plusieurs vergers une floraison assez faible et tardive et une croissance végétative plus importante et plus précoce cette année). De fait, l'année précédente (2016), la production de mangues avait été généralement satisfaisante (SINATAMBY M., Agriculteurs, NORMAND F., comm. pers., 2017).

2 Une forte disparité entre les blocs

Les blocs 1 et 2 ont été choisis pour leurs similarités environnementales :

- Présence de verger de manguiers au Sud-Sud-Ouest de chaque bloc ;
- Environ le même nombre d'arbres pour chaque modalité ;
- Situés dans le même bassin de production au Nord-Ouest de l'île et éloignés de 0,85 km ils ont donc bénéficié du même climat ;
- Vergers anciens (plantés en 2000 et 1990) sur le même porte-greffe : Maison rouge.

Néanmoins, au cours de l'étude nous avons rencontré certaines difficultés avec le bloc 2. Contrairement à ce qui était mentionné sur le plan expérimental, il s'est avéré que le verger n'était pas monovariétal. 1/3 des arbres s'étant finalement révélé être des Maison rouge (le porte greffe Maison rouge ayant pris le dessus sur le cultivar Cogshall). Or, le cultivar Maison rouge étant plus précoce que le cultivar Cogshall, ceci a eu une forte incidence sur la dynamique de floraison et donc la date d'arrivée des femelles de cécidomyies sur le verger du bloc 2 par rapport au bloc 1, qui, lui, a fleuri 15 jours après (monovariétal de Cogshall). Les Maison rouge ont beaucoup plus fleuri et fructifié que les Cogshall sur le bloc 2. Cela a eu des impacts importants dans le calcul des taux de floraison (supériorité de l'enherbement ras comparé au paillage synthétique). En ce sens, il est difficile de retenir certains des résultats obtenus sur le bloc 2 car ils sont biaisés par la phénologie des manguiers Maison rouge.

3 L'effet des couvertures de sol sur les populations de cécidomyies

En corrélation avec la floraison atypique de 2017, les populations larvaires ont été très limitées pour chaque bloc et ce quelle que soit la couverture du sol. Lors de la thèse sur la bio-écologie de la cécidomyie (AMOUROUX P., 2013) les comptages étaient de l'ordre de plusieurs centaines de larves de cécidomyies par piège sur le demi arbre (2 pièges par arbres). Lors des pics de populations en septembre 2011, par exemple, les comptages atteignaient environ 600 larves piégées par jour et par arbre ou 5000/larves/semaine (AMOUROUX P., 2013, NORMAND F., comm pers, 2017). Nos données étaient bien moindres : en moyenne 50 larves par jour sur l'ensemble de la parcelle ont été piégées sur l'enherbement ras du bloc 1 et 20 sur le paillage synthétique (Tableau X).

Grâce à la création du modèle cécidomyie (cf. méthodologie ; Analyse des données : modèle linéaire pour expliquer le nombre de larves observées dans les pièges en prenant en compte le traitement (couverture de sol)) il a été possible d'obtenir des résultats probants sur l'étude 2017 même si les effectifs de larves de cécidomyies piégées ont été faibles.

3.1 Le paillage synthétique semble réduire les populations de cécidomyies en verger

Cette expérimentation devait permettre d'évaluer des pratiques agroécologiques toujours dans le souhait de réduire l'utilisation de pesticides pour gérer durablement l'un des principaux bioagresseurs de la floraison du manguier. Cette étude devait également permettre de confirmer l'efficacité du paillage synthétique au sol car les résultats obtenus dans les essais menés par l'Armefflor ne permettaient pas de confirmer complètement l'efficacité de cette méthode. Or, la pose du paillage synthétique présente un coût de main d'œuvre et un investissement supplémentaire pour le producteur (Agriculteurs et SORIA C., comm. pers., 2017). Bien qu'il y ait eu des disparités entre les deux blocs, relativement à l'effet des couvertures de sol sur les populations de cécidomyies, nous pouvons en tirer les mêmes conclusions. Le paillage synthétique est le traitement sur lequel il y a eu le moins d'observations de cécidomyies pendant la floraison et cela en corrélation avec la ressource. Concernant l'enherbement haut, s'il y a certes un impact différent entre les traitements paillage synthétique et enherbement haut, le modèle testé n'a pas révélé de différence significative entre le paillage synthétique et l'enherbement haut mais une tendance. Ce constat montre que l'enherbement haut spontané pourrait également être un levier de contrôle de la cécidomyie des fleurs.

3.2 L'effet des couvertures de sol sur le dessèchement des inflorescences

En raison des traitements systématiques contre l'oïdium (soufre) réalisés et des faibles attaques de punaises observées dans les parcelles, les dessèchements d'inflorescences observés ont été essentiellement attribués aux attaques de cécidomyies pendant la floraison 2017. Il a été délicat de suivre le même nombre d'inflorescences par arbre et par parcelle en raison de la faible floraison de l'année 2017. Néanmoins, les données ont permis de constater que le taux de dessèchement des inflorescences a été significativement plus important sur l'enherbement ras comparativement au paillage synthétique et à l'enherbement haut. Ces résultats sont en adéquation avec l'estimation des populations de cécidomyies (plus nombreuses sur l'enherbement ras comparé aux deux autres modalités de couverture du sol).

4 L'effet des couvertures de sol sur la phénologie des arbres et l'environnement du verger

4.1 La phénologie du manguier ne semble pas être impactée négativement par le paillage synthétique

Cette étude n'a pas pour ambition de faire une caractérisation approfondie de la phénologie du manguier (floraison et fructification), il existe des travaux de recherches spécifiques à cette étude actuellement en cours au sein de l'UR HortSys (e.g. étude sur l'irrigation en vergers). Néanmoins des mesures servant à connaître les effets des couvertures de sol sur la phénologie étaient indispensables à prévoir pour vérifier qu'il n'y a pas d'effets négatifs occasionnés par une modalité comparativement aux autres. Le paillage synthétique est la pratique sur laquelle nous voulions connaître l'impact en comparaison avec des pratiques déjà utilisées chez les producteurs. Au vu des résultats significatifs, les taux de floraisons et les rendements sont plus importants sur la modalité enherbement haut que sur la parcelle paillée. En revanche de meilleurs résultats ont été observés sur le paillage synthétique comparativement à l'enherbement ras. Ces résultats sont en plus les mêmes pour chaque bloc bien que le bloc 2 soit faussé. Ainsi la phénologie du manguier ne semble pas être impactée négativement par le paillage synthétique. L'enherbement haut est la couverture du sol sur laquelle les taux de floraison et les rendements qui en découlent ont été les meilleurs (bien que l'année n'ait pas été très bénéfique en termes de production).

La faible floraison de 2017 n'a pu permettre de calculer les taux de fructification initialement prévus. Ils devaient être calculés sur la moitié des UCs suivies ayant fructifié. Cela était impossible car sur aucune parcelle on n'a atteint les 100 UCs fleuries. Le rendement en nombre de fruits pour chaque parcelle a pu être estimé même si les taux de fructification initialement prévus n'ont pas été atteints.

4.2 L'acquisition de données édaphiques ne montre pas d'effet négatif du paillage synthétique

Le paillage synthétique peut potentiellement augmenter la température du sol et impacter la vie microbienne édaphique ce qu'il fallait donc démontrer ou réfuter.

Une barrière physique de ce type, même si elle permet la respiration du sol (toile tissée) maintient probablement une humidité au niveau des racines (impact sur la vie du sol) et il est donc impératif d'étudier cet effet. Néanmoins les TinyTags® ne permettaient pas réellement de mesurer l'humidité du sol. En revanche au vu des résultats obtenus sur la température et l'activité biologique du sol, le paillage synthétique ne révèle pas d'effet négatif similairement aux couvertures de sol enherbées.

Les résultats présentés sur la température du sol montrent une différence significative sur la première période (saison fraîche) et la même tendance sur la seconde période (saison chaude). Concernant l'activité biologique dans les premiers centimètres du sol les résultats semblent témoigner d'une plus forte activité biologique sous le tapis de sol que sous l'enherbement haut ou ras. Le paillage synthétique *a priori* ne perturbe pas plus l'équilibre édaphique des vergers que les modalités enherbées.

5 L'effet des couvertures de sol sur l'infestation des mangues par les mouches des fruits

Au départ, on avait pensé que le paillage synthétique et l'enherbement haut seraient des leviers pour réguler la cécidomyie des fleurs mais également les populations de mouches des fruits. L'enherbement haut pouvait cacher les fruits aux mouches et donc les rendre moins détectables par l'insecte une fois tombés au sol, mais ceci était compensé par la difficulté à repérer et ramasser les fruits (récolte prophylactique facilitée avec le paillage

synthétique et l'enherbement ras). Les résultats préliminaires montrent à cet égard la supériorité du paillage synthétique.

D'après les résultats de notre étude préliminaire sur l'infestation par les mouches des fruits des mangues avortées tombées au sol, il semblerait que les mangues tombées sur tapis de sol soient peu attractives pour l'oviposition par les femelles de mouches (car il n'y a eu aucun individu des quatre espèces observées sur les mangues avortées tombées au sol) par rapport à celle tombées dans l'enherbement haut. En parallèle, le seul cas de régulation biologique par une espèce de parasitoïde été observé en enherbement haut (environnement plus favorable autant pour l'oviposition par les mouches que pour celle des parasitoïdes). Toutefois, l'incidence des parasitoïdes reste faible sur cet essai car seulement un cas a été identifié. *Aganaspis daci* est une espèce de parasitoïde rare, elle a été signalée à La Réunion seulement en 1975 (ETIENNE J., 1972). Ce qui peut orienter les recommandations à savoir anticiper une gestion des fruits tombés (évacuer les fruits dans des sacs plastique) plutôt que choisir une gestion de lutte avec des augmentoriums, plus contraignante.

6 Acquis et limites de l'étude 2017

Bien que le contexte de la floraison fût atypique dans la zone de production de Saint-Paul l'étude a permis d'avoir des résultats encourageants (Tableau XV).

Tableau XV : Résultats obtenus et appréciation de leur qualité, les tendances sont représentées par « ≥ » et les différences significatives par « > »

Expérimentation	Résultats d'analyse	Qualité des résultats
Estimations des populations de cécidomyies Acquis	ER ≥ EH ≥ PS ER > PS	Exploitable en prenant en compte la forte proportion de valeurs nulles (absence de larves dans les pièges).
Suivi de la phénologie de la floraison du manguier (bloc 1) Acquis	EH > PS - ER	Exploitable en prenant en compte la forte proportion de valeurs nulles (la floraison atypique de 2017).
Estimation des rendements (en nombre de fruits) Acquis	EH > PS > ER	Exploitable en prenant en compte la forte proportion de valeurs nulles (absence de fruits dans les arbres).
L'infestation des mangues avortées : Acquis	EH ≥ ER EH > PS	Exploitable au vu de ces premiers résultats acquis et encourageants il faut une répétition de l'étude en 2018.
Impacts sur l'environnement du verger (données édaphiques) : Température du sol : +/- Acquis (tendance) Humidité du sol : Limite Activité biologique du sol : +/- Acquis (tendance)	PS ≥ ER - EH Absence de résultats PS ≥ ER ≥ EH	Exploitable pour la température et l'activité biologique du sol mais la mesure de l'humidité n'a pas permis d'exploiter les données. Il faudrait un autre appareillage que les TinyTags® pour mesurer l'humidité du sol (e.g. tensiomètres)
Dégâts causés par les cécidomyies	ER > EH ≥ PS	Exploitable mais manque de données recueillies en raison d'une faible

+/- Acquis Identification des stades sensibles +/- Acquis	E, F et G	floraison et de faibles piégeages de larves.
Suivi de la fructification (Taux de fructification) Limite	Absence de résultats	Inexploitable, idéalement devait être fait sur 100 UCs étiquetées mais impossible à cause des faibles taux de floraison.
Dissémination de la cécidomyie Limite	Absence de résultats	Inexploitable, pas effectuée en raison d'un manque trop important de données (pas assez de larves dans les pièges) pour créer un modèle sur la dissémination de l'insecte d'autant plus que cela devait être corrélé avec la ressource florale qui est restée assez faible.

PARTIE 5 : Propositions

1 Propositions relatives à l'amélioration du dispositif expérimental en verger

1.1 Optimiser et randomiser le dispositif expérimental chez des producteurs

La randomisation d'un dispositif expérimental correspond à la répartition aléatoire des traitements au sein des blocs. Ceci permet de produire des groupes comparables et d'éliminer ou réduire les sources de variation qui ne seraient pas dues à la variable d'intérêt (RATNADASS A., comm. pers., 2017 ; SURESH K., 2011). C'est ce qui a été fait dans cette étude avec la présence d'un bloc 1 et d'un bloc 2.

Le problème rencontré dans notre étude n'est pas lié à un défaut de randomisation proprement dit, mais plutôt à une hétérogénéité du bloc 2. Le découpage des parcelles de traitement aurait dû prendre cette hétérogénéité en compte (pente, banquettes) mais cela posait des problèmes pratiques de mise en place surtout pour la couverture de sol paillée. Cette source de variation entre les deux blocs a pu masquer l'effet du type de couverture de sol sur les estimations de population de cécidomyies. Au vu des résultats il semblerait judicieux de reconduire cette expérimentation au CPEA seulement sur le Bloc 1 et de randomiser le dispositif expérimental chez un ou plusieurs producteurs. Chez le(s) producteur(s) il conviendrait au même titre que sur le bloc 1, d'appliquer une randomisation par bloc pour permettre de tirer des conclusions fiables.

1.2 Suivi de la phénologie du manguier : concevoir différemment l'instrumentation des UCs

Il semble préférable de mieux couvrir le verger, au lieu de huit UCs par arbre choisi aléatoirement il aurait fallu disposer les étiquettes sur un maximum de ressource car finalement les taux de floraison sont faibles et peut-être pas à l'optimum de fiabilité pour la caractérisation de la floraison 2017 (bien qu'elle fût atypique et qu'un tel problème n'ait pas été rencontré dans les études effectuées en 2015).

On peut notamment se référer à d'autres méthodologies utilisées pour étudier la floraison du manguier. Par exemple, pour un essai (NORMAND F., *et al.*, 2014) qui étudie l'asynchronisme de la floraison, l'instrumentation des UCs est beaucoup plus réduite en termes d'arbres mais est beaucoup plus intense (20 étiquettes minimum par arbre) pour couvrir l'ensemble de la canopée. De plus la floraison n'est pas toujours homogène sur l'ensemble de l'arbre donc une meilleure couverture pourrait mieux faire état de la floraison.

Deux autres options auraient pu être envisagées pour suivre la floraison, sans augmenter la charge de travail (rester à 200 UCs par modalité de couverture du sol) :

1) *méthodologie de l'étude de la floraison* : au lieu de 8 UCs sur 25 arbres on choisit aléatoirement 10 arbres et on instrumente 20 UCs par arbre ;

2) *méthodologie aléatoire* : à partir du moment où notre étude n'accorde finalement pas d'importance à la représentation spatiale, il n'est pas nécessaire que les arbres choisis soient figés dans le temps (c-à-d à chaque date de passage). Le facteur temps est l'effet aléatoire de cette étude et non les arbres suivis (suivi de la floraison au cours du temps), pour cela il est préférable de changer les étiquettes si l'arbre ne fleurit pas car l'objectif est d'étudier la ressource florale. Il faudrait choisir aléatoirement les 200 UCs qui vont porter de la ressource et changer les arbres suivis si jamais ceux-ci ne fleurissent pas (cas fréquent dans l'essai).

1.3 Revoir la mise en place des piégeages à cécidomyie pour mieux étudier la dissémination de l'insecte

Cette étude n'avait pas pour ambition de savoir quelle était la part de cécidomyies provenant de la parcelle (source endogène) et de la dissémination de l'extérieur (source exogène). Si cela avait été le cas alors il aurait fallu au début de l'essai mettre en place d'une part des pièges à émergences avant la floraison pour connaître les populations de départ et d'autre part des pièges pour capturer les adultes pendant la floraison. Une étude (SAEED S. *et al.* 2014) réalisée sur le pouvoir d'attraction des pièges face à la cécidomyie des fleurs en fonction de leur couleur a conclu que les pièges « Sticky traps » de couleur orange sont fortement attractifs pour *P. mangiferae* surtout pendant la période de floraison. Ils peuvent être utilisés comme moyen d'observation et de gestion des adultes dans les vergers de manguiers. Dans le cas de l'étude 2018, leur utilisation permettrait de connaître le nombre d'adultes présents au cours de la floraison afin d'étudier leur répartition au sein du verger. Ceci permettrait d'avoir deux types de pièges à détection à la fois pour les larves et les adultes et donc d'avoir des résultats plus complets sur l'effet des couvertures de sol sur les populations de cécidomyies des fleurs.

Sur les parcelles paillées, la source d'infestation ne pouvait être qu'exogène (et pouvant venir des parcelles des modalités enherbées de l'essai comme des vergers voisins). Sur les parcelles enherbées, c'était certainement un mix dès le début entre source endogène et exogène.

La mise en place de pièges à émergence (des larves sorties de diapause) au début de l'essai aurait permis de déterminer la part de l'infestation endogène par rapport à l'infestation exogène et aurait permis de modéliser la trajectoire de la cécidomyie au sein d'un verger.

De plus, l'étude n'a pas pris en compte le paysage, tablant sur une infestation venant majoritairement des vergers situés à proximité des deux blocs, on peut se demander alors comme futur questionnement de recherche : **jusqu'où la prise en compte du paysage est-elle importante pour étudier les populations de cécidomyies ?** En relation avec le potentiel de déplacement des cécidomyies.

En résumé, trois types de piégeages seraient intéressants à mettre en place pour l'étude de 2018 dans l'objectif d'alimenter le modèle d'élaboration du rendement du manguiers en prenant en compte la modélisation des pressions biotiques : i) pièges à détection larvaire posé au sol sous les inflorescences (pièges de l'étude 2017) ; ii) piège attractif orange englués (SAEED S. *et al.* 2014) pour les adultes et iii) pièges à émergence pour capturer les larves en diapause et faire le lien entre l'étude de 2017 et celle de 2018.

A partir des résultats, il faudrait aussi regarder l'infestation comparée d'arbres situés en bordure de parcelle paillée par rapport à ceux situés au centre (i.e. les plus éloignés d'une source d'infestation). En tout état de cause, dans un futur essai, il faudrait procéder à un échantillonnage stratifié des arbres sous lesquels les pièges d'interception seraient disposés. Cela permettrait de savoir (via une modélisation de vol de l'insecte) s'il y a un effet des arbres en bordure et si on ne pourrait pas envisager la mise en place de moyens de lutte (e.g. pièges, paillage synthétique) uniquement en bordure de parcelle.

1.4 Proposition d'un nouveau dispositif expérimental

Suite aux résultats des entretiens, on pourrait aussi proposer de ne couvrir les vergers avec du paillage synthétique que sur le rang (partie à l'aplomb de l'arbre) pour ménager un enherbement haut spontané peu perturbé sur l'inter rang (source d'auxiliaires) (Figure 52). Ce nouveau dispositif expérimental permettrait de combiner deux couvertures de sol et rendrait son adoption peut-être plus facile chez les producteurs.

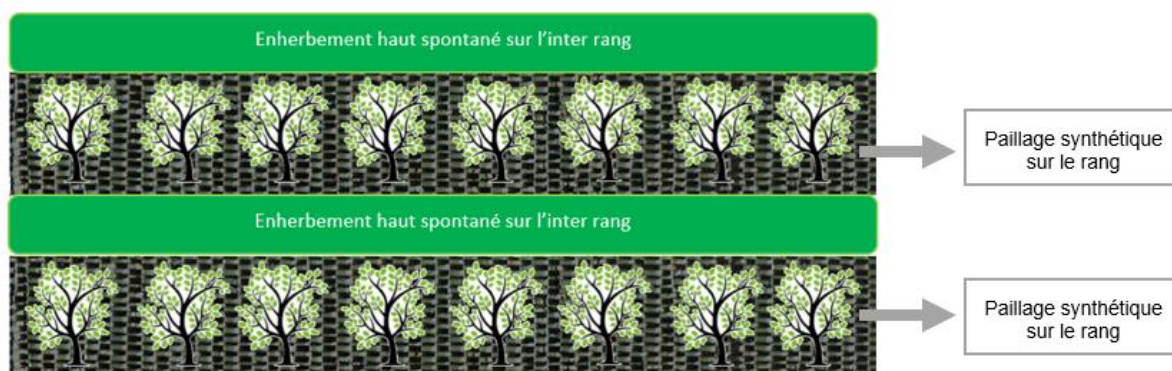


Figure 52 : Nouveau dispositif expérimental, sur le rang paillage synthétique sous l'aplomb des manguiers et sur l'inter rang maintien d'un enherbement haut spontané.

1.5 Synthèse des perspectives expérimentales proposées

Les perspectives expérimentales sont des recommandations (Tableau XVI) qu'il faudrait suivre pour la reconduite de l'étude 2017 pour la période de floraison 2018.

Tableau XVI Recommandations pour un futur essai

Mise en place de l'essai	Recommandations
Validation du bloc 1	Reconduire l'essai sur le bloc 1. Sur bien des aspects, le bloc 1 est pertinent, sa reconduite est essentielle pour la continuité de l'étude en 2018.
Randomisation de l'essai chez le(s) producteur(s) Ou Sinon se contenter du Bloc 1	Conduire une partie de l'essai chez un/des agriculteurs autre(s) que le CPEA de St Paul, idéalement chez plusieurs producteurs de zones de productions différentes : <ul style="list-style-type: none"> - Dans la même zone que le CPEA : Nord-Ouest de l'île commune de Saint-Paul/La Possession - Dans une autre zone (e.g. la zone de production principale de Grand Fond à l'Ouest de l'île)
Reconduire l'essai 3 chez des producteurs : l'impact du paillage sur la récolte prophylactique précoce	Limiter l'évaluation du PS pour la récolte prophylactique précoce, du coup seulement à partir du début de la nouaison (stade G). Ce test de moindre envergure (autant dans le temps que dans l'espace) pourrait peut-être recueillir davantage de motivation de la part des producteurs (et vu l'impact apparemment spectaculaire de la nouvelle mouche des fruits détectée à La Réunion en mai 2017 : <i>Bactrocera dorsalis</i>). De plus, on pourrait le conduire autant sur José que sur Cogshall. Une instrumentation moins lourde, pourrait permettre à un plus grand nombre de producteurs de découvrir et s'approprier la technique, en vue d'essais ultérieurs (ou adoption, en fonction des résultats obtenus au CPEA) pour la gestion également de la cécidomyie
Etiquetage des inflorescences (pour le suivi des dégâts)	Mettre en place dans le protocole de départ et non au cours de l'essai
Etiquetage des inflorescences (phénologie)	Suivre moins d'arbres mais avec plus d'UCs suivies par arbre

Piégeage pour mieux étudier la dissémination de l'insecte	Mettre en place des pièges à émergences au début de la floraison pour capturer les larves des populations en diapause de l'année 2017 et mettre en place des pièges pour capturer les adultes (pièges attractifs orange). Comparer (par échantillonnage stratifié) l'infestation par les cécidomyies (comparaison d'arbres situés en bordure de parcelle paillée par rapport à ceux situés au centre)
--	--

2 Propositions générales pour la poursuite de ces travaux en recherche pour le développement agricole

2.1 Développer des collaborations pour améliorer la coopération et le transfert

Les programmes de recherche et d'expérimentation du Cirad à La Réunion ont été structurés pour répondre aux priorités du territoire. Ils sont menés dans le cadre d'un accord signé avec l'Etat, le Conseil régional et le Conseil départemental de La Réunion. La recherche en partenariat est une composante essentielle du mode de fonctionnement propre au Cirad. Les résultats de recherches sont diffusés aux professionnels de l'agriculture à travers les réseaux d'innovation et de transfert agricole (RITA). Il existe trois RITA spécialisés à La Réunion œuvrant depuis 2012 au transfert et à l'appropriation des innovations dans le monde agricole.

Le développement de collaborations (locales et internationales) pourrait donc être favorisé en vue d'une future étude avec différents acteurs du monde agricole réunionnais :

- La recherche et l'expérimentation, avec i) d'autres unités de recherche propres au Cirad pour associer les compétences (il existe déjà des travaux de concertation avec l'équipe de l'UMR PVBMT, spécialisée dans l'élaboration des méthodes innovantes de lutte contre les ravageurs, les maladies et les adventices des agrosystèmes), ii) avec les équipes du Cirad basée en Afrique de l'Ouest qui travaillent également sur la mangue et iii) l'Armefflor, institut technique (centre d'expérimentation horticole), dont une équipe travaille sur les productions fruitières.
- Le développement agricole avec la Chambre d'Agriculture de La Réunion, en particulier son équipe dédiée aux productions fruitières ou encore la DAAF et la FDGDON ;
- La formation agricole avec l'Etablissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricole (EPLEFPA) de Saint-Paul à travers son Centre de Production et d'Expérimentation Agricole (CPEA), et les Centres de Formation Professionnelle et de Promotion Agricoles (CFPPA) rattachés.
- Avec des agriculteurs : individuel/GAB/GIEE.

2.2 L'homologation récente d'un insecticide contre la cécidomyie des fleurs du manguier à La Réunion

Le produit phytosanitaire (insecticide systémique) : « Movento® » commercialisé par le groupe Bayer Sas a été homologué le 15 décembre 2017 à L'île de La Réunion (Anses, 2017) (Annexe 9). C'est un insecticide de la famille des RCI (régulateur de croissance des insectes : perturbateur de mue qui inhibe la biosynthèse des lipides chez les insectes). L'origine de ce produit est entièrement chimique (contenance : suspension concentrée de 100 g/L – spirotétramate), sa DL50 (dose létale médiane) est supérieure à 5 000 (individus/insectes) et le classement CPL mentionne des risques toxicologiques sur i) la santé (SGH08 et SGH07) et l'environnement (N, SGH09) (E-phy, 2018 ; BAYER, 2018). La

toxicologie du produit et les Modalités d'autorisation du Movento® sont référencées en Annexe 9.

Dans ce contexte, il serait intéressant de savoir grâce à des enquêtes auprès des producteurs quels seront les critères de choix (coût, main d'œuvre, vision) entre une méthode de gestion agroécologique (e.g l'enherbement des vergers ou le paillage synthétique) ou une méthode de lutte chimique prophylactique avec l'utilisation de ce produit systémique de synthèse. Cette récente homologation peut potentiellement être un frein à l'adoption de pratiques plus durables surtout pour la cécidomyie des fleurs où il n'y avait pas jusqu'à présent de moyen de lutte chimique. Il semble donc nécessaire de communiquer d'autant plus sur les projets d'expérimentations scientifiques effectués par les centres de recherche agronomique et d'expérimentation (Cirad, Armelfhor ...) car les pratiques agroécologiques portent déjà leurs fruits sur d'autres cultures (e.g. le chou chou) à La Réunion (DEGUINE J-P., *et al.*, 2016).

2.3 Agir pour le développement agricole : Synthèse des méthodes de lutte préconisées

La recherche agronomique se doit d'agir pour le développement agricole en proposant des résultats d'études pouvant conduire à des pratiques culturales réduisant l'utilisation des pesticides (surtout dans le contexte actuel où une nouvelle homologation vient d'être autorisée). Mais également elle doit proposer des pratiques qui maintiennent ou améliorent les objectifs de production des agriculteurs. A La Réunion, le rendement moyen des mangues est assez faible : 8 à 10 tonnes de fruits par an et par hectare. L'exploitation des vergers est d'autant plus difficile que la production est irrégulière, d'une année sur l'autre, voire d'un verger à l'autre (Agriculteurs, comm. pers., 2017) ;

Au vu des résultats obtenus et de la littérature sur le sujet, plusieurs méthodes de lutte pourraient être envisageables pour gérer durablement la cécidomyie des fleurs :

- Préconiser une gestion globalisée de l'insecte à l'ensemble du territoire i.e. à l'ensemble d'une zone de production pour prévenir l'arrivée de la cécidomyie et y répondre par la mise en place d'une lutte à grande échelle. Pour cela il est indispensable de connaître les facultés de dispersion de l'insecte (km parcourus par la cécidomyie, qui devraient être évalués dans l'étude de 2018) ;
- Préconiser une gestion de l'insecte pouvant être mise en place au niveau du producteur individuel, faisant appel alors à une démarche de reconception de l'agrosystème. Cette approche nécessite un accompagnement (formation, réunions, support pédagogique) abordés ci-après (2.4 La nécessité de communiquer sur cet essai pour l'appropriation des innovations agroécologiques).

2.4 La nécessité de communiquer sur cet essai pour l'appropriation des innovations agroécologiques

La communication est un outil très important en recherche. Cette présente étude bien qu'à ses débuts a montré un impact significatif du paillage synthétique sur les populations larvaires de cécidomyies. Ce paillage synthétique est une pratique culturelle novatrice peu ou mal connue chez les agriculteurs réunionnais. Les retours d'enquête ont révélé le peu d'intérêt qu'ont exprimé les agriculteurs à l'endroit de cette technique novatrice (Annexe 10). L'adoption de nouvelles pratiques culturales est un processus long et exigeant qui doit être accompagné par la recherche et les acteurs du monde agricole (institut technique, coopérative, Chambre...)

Pour avoir un transfert, il est nécessaire d'échanger et de rencontrer le monde agricole, par exemple, grâce à des partenariats (*cf.* 2.1 Développer des collaborations pour améliorer la coopération et le transfert) et créer des outils de communication comme des supports techniques (e.g. plaquettes ou posters/affiches avec la synthèse des résultats de l'étude 2017) destinés aux agriculteurs, des vidéos, des animations scientifiques ouvertes à tous

les acteurs de la filière mangue, des journées techniques (e.g. les journées d'animation de la filière mangue) où les agriculteurs seraient invités à visiter les vergers en expérimentation accompagnés de chercheurs du Cirad, de l'Armefilhor, d'animateurs de la filière et de conseillers ou techniciens des instituts privés et publics. La communication doit se faire sur deux aspects ; i) la présentation des résultats de l'étude 2017 et ii) des propositions concrètes pour l'application des pratiques culturales en verger. Suite aux enquêtes, une proposition intéressante serait de combiner deux pratiques culturales de couverture du sol (le paillage et l'enherbement haut spontané) comme présenté dans *1.4 Proposition d'un nouveau dispositif expérimental*.

A plus long terme si les résultats sont confirmés dans le temps (suite de l'étude en 2018) et l'espace (différents environnements) pourquoi ne pas mettre en place un label (e.g. mangue durable réunionnaise) pour encourager les arboriculteurs à adopter ces pratiques culturales car adopter des pratiques agroécologiques n'est pas chose facile pour les agriculteurs. Pour accompagner au mieux les producteurs dans ces démarches il devient nécessaire de mettre en place des continuités entre les modes de production et les modes de commercialisation.

Conclusion générale

La mangue est un fruit tropical emblématique mais sa production est confrontée à de fortes pressions parasites, dont les bioagresseurs de la floraison et de la fructification qui peuvent provoquer d'importants dommages à l'île de La Réunion. L'enjeu pour la recherche agronomique est de pouvoir proposer des résultats d'études pour développer des pratiques culturales permettant une gestion durable de ses ravageurs. Cette étude menée par L'UR HortSys du Cirad (en partenariat) a pour objectif à La Réunion, au titre des projets Ecoverger et Cosaq 1, de permettre de concevoir des modes de conduite en vergers limitant les dommages des ravageurs et le recours aux pesticides, dans le souhait de maintenir une production suffisante en quantité et en qualité pour les agriculteurs. Les travaux exposés dans ce mémoire s'inscrivent dans cet objectif. L'étude présentée s'est intéressée à deux leviers agronomiques (couverture de sol et gestion de la récolte) pour réguler deux bioagresseurs très problématiques sur manguier à La Réunion : la cécidomyie des fleurs (ravageur cible de l'étude) et les mouches des fruits dans un second temps.

La cécidomyie des fleurs du manguier peut entraîner la destruction entière d'une floraison, en particulier au début de l'hiver (AMOUROUX P., 2013), avec un impact économique majeur puisque les floraisons précoces correspondent à la récolte de fruits au prix de vente le plus élevé. Le cycle de l'insecte présente une phase critique au moment où les larves en fin de 3ème stade sortent des inflorescences, tombent au sol et s'y enfouissent pour entrer en diapause ou s'empuper.

Cette étude a permis de montrer l'effet de différentes couvertures de sol sur trois aspects i) l'estimation des populations de cécidomyies, ii) leur impact sur la phénologie des arbres (taux de floraison, rendements) et l'environnement (milieu édaphique) en lien avec iii) une première étude exploratoire sur la récolte prophylactique précoce.

Le paillage synthétique est une couverture du sol dont on confirme l'intérêt pour gérer de façon durable (sans avoir recours à l'utilisation de pesticides) la cécidomyie des fleurs sans perturber (à l'instar des couvertures enherbées) négativement la phénologie des arbres et l'environnement du verger.

Un autre constat intéressant et pour la première fois abordé dans une expérimentation, est l'effet des couvertures de sol sur l'infestation des mangues avortées par les mouches des fruits. Si le paillage synthétique et l'enherbement haut semblent être deux couvertures de sol très bénéfiques pour la réduction des populations de cécidomyies en agissant directement sur leur cycle de vie, les conclusions sont différentes pour leur effet sur la récolte prophylactique. Cette étude exploratoire mérite d'être reconduite.

Le contexte de l'étude 2017 a été atypique dans cette zone de production de l'île (climat froid, floraison faible, population de cécidomyies faible) et ainsi ces résultats, certes encourageants, sont à prendre avec précaution. Cette étude n'est pas la première de ce type à avoir été conduite mais est novatrice dans son dispositif expérimental et dans ses conditions. Elle a vocation à être reconduite en 2018 en tenant compte des améliorations à apporter au dispositif et en espérant une floraison plus importante pour acquérir des résultats plus pertinents.

L'enquête auprès des acteurs de la filière mangue réunionnaise a permis de prendre du recul sur le volet expérimental. Les acteurs sont intéressés par les questionnements actuels de la recherche agronomique et ils souhaitent s'impliquer. L'homologation récente du Movento® doit être prise en compte et justifie d'autant plus de diffuser les résultats de cette étude auprès de la filière afin d'accompagner les producteurs dans la reconception de leur système afin qu'il soit plus durable (transition agroécologique, qui est en marche et porte ses fruits depuis plusieurs années à La Réunion).

Références bibliographiques

- ABRIC J.-C.**, 2005. Méthodes d'étude des représentations sociales, hors collection, Editions Eres, 296 p.
- Agreste**, 2014. Moyenne 2010-2014 [en ligne]. Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/donnees-de-synthese/statistique-agricole-annuelle-saa/> (consulté le 16/10/2017).
- Agreste**, 2014. La production fruitière à La Réunion. *Agreste Analyse DAAF La Réunion*, n°92 [en ligne]. Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/D97415A01.pdf> (consulté le 17/10/2017).
- AMOUROUX P.**, 2013. Bioécologie et dynamique des populations de cécidomyie des fleurs (*Procon-tarinia mangiferae*), un ravageur inféodé au manguier (*Mangifera indica*), en vue de développer une lutte intégrée. Biodiversité et Ecologie. Université de La Réunion, Manuscrit de thèse, 189 p.
- AMOUROUX P., NORMAND F., NIBOUCHE S., DELATTE H.**, 2013. Invasive mango blossom gall midge, *Procontarinia mangiferae* (Felt) (*Diptera: Cecidomyiidae*) in Reunion Island: ecological plasticity, permanent and structured populations. *Biological Invasions* 15 (8) : pp.1677-1693
- ANDRÉ A., ANTUNES S.C., F. GONÇALVES F., PERIERA R.**, 2009. Bait-lamina assay as a tool to assess the effects of metal contamination in the feeding activity of soil invertebrates within a uranium mine area *Environmental Pollution* (157) : pp. 2368–2377
- Anses**, 2017. Homologation Movento®, AMM n°02110086, Bayer CropScience Département Homologation France, 6 p.
- Anses**, 2017. Table de composition nutritionnelle Ciqual 2016, Mangue, pulpe, crue, jus, nectar [en ligne]. Disponible sur : <https://pro.anses.fr/tableciqual/> (consulté le 23/10/2017).
- ATIAMA M.**, 2016. Bioécologie et diversité génétique d'Orthops palus (Heteroptera, Miridae), ravageur du manguier à La Réunion. *Zoologie des invertébrés*. Université de La Réunion, Manuscrit de thèse, 359 p.
- BAYER**, 2018. Fiche produit phytosanitaire, Fiche technique du Movento®, Société Bayer SAS, Service Bayer-Agri.fr, 9 p.
- BARBOSA F.-R., GONÇALVES M.-E., DE SOUZA E.-A., et al.**, 2002. Chemical control of *Erosomyia mangiferae* on mango trees at the sao francisco river valley, Brazil. *Annals of the VII, International Mango Symposium*: pp. 261-261
- BSV, BÉCHON P.**, 2011. Enquêtes qualitatives, enquêtes quantitatives. Grenoble : Presse Universitaire de Grenoble. coll. « Politique en + », 232 p.
- BSV**, 2015. Cultures fruitières – Septembre 2015 [en ligne]. Disponible sur : <http://www.bsv-reunion.fr/wp-content/uploads/2015/10/BSV-fruits-septembre-2015-final.pdf> (consulté le 17/11/2017).
- CADET S.**, 2017. BSV- Cultures fruitières – Septembre 2017 [en ligne]. Disponible sur <http://www.bsv-reunion.fr/wp-content/uploads/2017/09/BSV-FRUITES-sept-2017-final.pdf> (consulté le 17/11/2017).
- CHACKO E.K.**, 1986. Physiology of vegetative and reproductive growth in mango (*Mangiferae indica L.*) trees, Proceeeding 1st Australian mango research Workshop, Cairns QLD, Australia CSIRO, Melbourne Vic.: pp. 54-71
- CHAMBRE D'AGRICULTURE RÉUNION**, 2017. Les productions végétales, les fruits [en ligne]. Disponible sur : <http://www.reunion.chambagri.fr/spip.php?rubrique56> (consulté le 23/10/2017).
- Cirad**, 2017. Organigramme [en ligne], Disponible sur : <http://www.cirad.fr/qui-sommes-nous/organigramme> (consulté le 18/10/2017).
- CTA**, 2007. Comment lutter contre les mouches de la mangue. Collection Guides pratiques du CTA, No 14, Wageningen, Pays-Bas, 4 p.

- DAAF**, 2017a. Détection d'une nouvelle mouche des fruits à La Réunion (*Bactrocera dorsalis*) [en ligne]. Disponible sur : <http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/Detection-d-une-nouvelle-mouche> (consulté le 23/06/2017).
- DAAF**, 2017b. La production biologique réunionnaise [en ligne]. Disponible sur http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/AB_2017_cle0981a4.pdf (consulté le 15/01/2018).
- DAMBREVILLE A.**, 2012. 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, Montpellier II. Manuscrit de thèse, 185 p.
- DANKS H-V.**, 2007. The elements of seasonal adaptations in insects. Entomological Society of Canada (139): pp. 1-44
- DAVENPORT T-L.**, 2000. Processes Influencing Floral Initiation and Bloom: The Role of Phytohormones in a Conceptual Flowering Model. HortTechnology (10), pp.733-739
- DAVENPORT T-L.**, 2003. Management of Flowering in Three Tropical and Subtropical Fruit Tree Species. HortScience (38): pp. 1331-1335
- DAVENPORT T-L., NUÑEZ-ELISEA R.**, 2009. Reproductive Physiology. In: The Mango - Botany, production and uses (ed. Litz RE): pp. 97-169. CAB International, Wallingford, UK.
- DE CANDOLLE A.**, 1884. Origin of cultivated plants, London. 468 p.
- DEPHY Ferme MANGUE**, 2017. EcophytoPIC, Présentation du réseau DEPHY Ferme MANGUE [en ligne]. Disponible sur : <http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/presentation%20dephy%202017.pdf> (consulté le 17/11/2017).
- DEGUINE J-P., ATIAMA-NURBEL T., DOURAGUIA E., ROUSSE P.**, 2011. L'augmentorium, un outil de protection agroécologique des cultures, Cah Agric, 20(8) : pp. 261-265
- DEGUINE J-P., GLOANEC C., LAURENT P., RATNADASS A., AUBERTOT J-N., coordinateurs**, 2016. Protection agroécologique des cultures, Savoir Faire : Editions Quae, 287p.
- DERAVEL J., KRIER F., JACQUES P.**, 2014. Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique), Biotechnol. Agron. Soc. Environ.18(2) : pp. 220-232
- DEVELOPPEMENT DURABLE, ENVIRONNEMENT ET LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (DDELCC) QUEBEC**, 2017 A propos des pesticides (en ligne). Disponible sur : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/pesticides/apropos.htm> (consulté le 17/01/2018).
- DIATTA P., REY J.Y., VAYSSIERES J.P., DIARRA K., COLY E.V., LECHAUDEL M., GRECHI I., NDIAYE S., NDIAYE O.** 2013. Fruit phenology of citrus, mangoes and papayas influences egg-laying preferences of *Bactrocera invadens*. Fruits 68, pp.507–516
- ETIENNE J.**, 1972. Les principales Trypetides nuisibles de l'île de La Réunion. Annales de la Société Entomologique de France (N.S.), 8, pp. 485–491
- EL TITI A., BOLLER E.F., GENDRIER J.P.**, 1993. Integrated production : principles and technical guidelines. WPRS Bull., 16, 97 p.
- ENCYCLOPAEDIA UNIVERSALIS**, 2018. Définition de isohydrie, ENCYCLOPAEDIA UNIVERSALIS France SAS [en ligne]. Disponible sur : <https://www.universalis.fr/dictionnaire/isohydrique/> (consulté le 10/04/2018).
- E-PHY**, 2018. Substances actives [en ligne]. Disponible sur : <https://ephy.anses.fr/> (consulté le 24/10/2017 et le 01/04/2018).

- FAO**, 2011. Groupe Intergouvernemental sur la banane et les fruits tropicaux - Situation actuelle et perspectives à court terme. In: Comité des produits, FAO, Yaoundé (Cameroun), 7p.
- FAOSTAT**, 2012. Données en ligne. Disponible sur : <http://www.fao.org/faostat/en/#home> (consulté le 17/10/2017).
- FAOSTAT**, 2014. Database, Top Mango Producing Countries of the World disponible sur: http://www.unescap.org/sites/default/files/Module%202.1%20Mango%20story_edSD.pdf (consulté le 16/10/2017).
- FAOSTAT**, 2014. Global fruit production in 2014, by variety (in million metric tons) [en ligne]. Disponible sur : <https://www.statista.com/statistics/264001/worldwide-production-of-fruit-by-variety/> (consulté le 16/10/2017).
- FAOSTAT**, 2016. Area harvested in 2016 of mangoes, mangosteens, guavas [en ligne]. Disponible sur: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (consulté le 28/01/2018).
- GAGNÉ R-J.**, 2010. Update for a catalog of the Cecidomyiidae (Diptera) of the world, digital version1 [en ligne]. Disponible sur:http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/12754100/Gagne_2010_World_Catalog_Cecidomyiidae.pdf (consulté le 27/06/2017).
- GALÁN SAÚCO V.**, 1999. El cultivo del mango. Gobierno de Canarias, Ediciones Mundiprensa, 291 p.
- GOGUET T.**, 1995. Approche architecturale des mécanismes de la croissance aérienne et de la floraison du manguier. Thèse de doctorat. Université de Montpellier II. Sciences et techniques du Languedoc, 205 p.
- GRAINDORGE R.**, 2015. Compte rendu d'essai : Efficacité du bâchage du sol au niveau du rang contre la cécidomyie des fleurs du manguier (ARMEFLHOR: CEMAN_0515 CEMAN_0415), 25 p.
- IKAI N., HIJII N.**, 2006. Effects of Host-tree Traits on the Species Composition and Density of Gall-ing Insects on two Oak Species, *Quercus crispula* and *Quercus serrata* (Fagaceae). In: Gall-ing Arthropods and Their Associates, pp. 209-216
- INFOCOMM**, 2016. Conférence des nations unies sur le commerce et le développement : Manguie [en ligne]. New-York et Genève : CNUCED, 23p. Disponible sur : http://unctad.org/fr/PublicationsLibrary/INFOCOMM_cp07_Mango_fr.pdf (consulté le 17/10/2017).
- INRA** 2017, Réduire l'usage de la chimie en agriculture [en ligne]. Disponible sur : [http://www.inra.fr/Grand-public/Agriculture-durable/Tous-les-dossiers/Agriculture-biologique/Agriculture-biologique-definition/\(key\)/0](http://www.inra.fr/Grand-public/Agriculture-durable/Tous-les-dossiers/Agriculture-biologique/Agriculture-biologique-definition/(key)/0) (consulté le 17/01/2018).
- JACQUOT M.**, 2016. Biodiversité et fonctionnement écologique des agroécosystèmes à base de manguiers à La Réunion. Université de La Réunion. Manuscrit de thèse, 226 p.
- JESSU D., SINATAMBY M., ASSEMAT S., NORMAND F.**, 2017. Catalogue variétal des 10 variétés de mangues produites à La Réunion, dispositif Cosaq, Cirad, 10 p.
- JUMAUX G., QUETELARD H., et ROY D.**, 2011. Atlas climatique de La Réunion, Trappes, Direction interrégionale de La Réunion de Météo France, 2011 (1re éd. 2000), 131 p.
- KONTA I. S., DJIBA S., SANE S., DIASSI L., NDIAYE A. B. et NOBA K.**, 2015. Etude de la dynamique de *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) dans les vergers de mangues en Basse Casamance : influence des facteurs climatiques, Int. J. Biol. Chem. Sci. 9(6) : pp. 2698-2715
- KRATZ, W.** 1998. The bait lamina test - general aspects, applications and perspectives. Environmental Science and Pollution Research (5): pp. 94-96.
- LECOEUR J.**, 2007. Influence d'un déficit hydrique sur le fonctionnement d'un couvert végétal cultivé, Montpellier SupAgro, 12p.
- LITZ E.**, 2009. The Mango: Botany, Production and Uses, 2nd edn, 669 p.

- MATHEWS C-R., BOTTRELL M-W., BROWN M-W.**, 2002. A comparison of conventional and alternative understory management practices for apple production: multi-trophic effects. *Applied Soil Ecology* (21) : pp. 221-231.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION**, 2018. Les fermes Dephy : partout en France, des systèmes de production performants et économes en pesticide [en ligne]. Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/fermes-dephy> (consulté le 14/03/2018).
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE**, 1998. Surveillance phytosanitaire du Manguier, Ile de La Réunion, 41 p.
- MUKERJEE S-K.**, 1953. Origin, distribution and phylogenetic affinity of the species of *Mangifera* L.1. *Journal of the Linnean Society of London, Botany* (55): pp. 65-83
- MZE HASSANI I.**, 2017. Etude écologique des mouches des fruits (*Diptera : Tephritidae*) nuisibles aux cultures fruitières aux Comores : Soutenance de thèse [en ligne]. Disponible sur : <https://umr-pvbmt.cirad.fr/actualites/soutenances-et-presentations/etude-ecologique-des-mouches-des-fruitiers-diptera-tephritidae-nuisibles-aux-cultures-fruitieres-aux-comores-soutenance-de-these> (consulté le 23/06/2017).
- NORMAND F., JESSU D., SINATAMBY M., CARISSIMO L., CHAMPAVIER K.**, 2014. Changement de pratique d'irrigation lié à une conduite agroécologique du manguier : effets sur le bilan hydrique et la production. Communication présentée au séminaire Biophyto du 21 au 24 octobre 2014, Saint-Pierre. Cirad Réunion, 7 p.
- NORMAND F., MICHELS T., LÉCHAUDEL M., JOAS J., VINCENOT D., HOARAU I., DESMULIER X., BARC G.**, 2011. Approche intégrée de la filière mangue à La Réunion, *Innovations Agronomiques* (17) : pp. 67-81
- NUÑEZ-ELISEA R. et DAVENPORT T.L.**, 1994. Flowering of mango trees in containers as influenced by seasonal temperature and water stress, *Scientia Horticulturae* (58): pp. 57-66
- OBSERVATOIRE DES MARCHES DU CIRAD**, 2015. « Dossier Mangue », *Fruitrop* (230) : pp. 64-65.
- PEÑARRUBIA-MARÍA E., QUILICI S., SCHMITT C., ESCUDERO-COLOMAR L.A.**, 2014. Evaluation of candidate systems for mass trapping against *Ceratitis* spp. on La Réunion island. *Pest Management Science*, (70): pp. 448-453
- PEZHMAN H., ASKARI M.**, 2004. A study on the biology of mango inflorescence midge in Hormozgan province. *Applied Entomology and Phytopathology* (72): pp.19-29
- QUIVY R. et VAN CAMPENHOUDT L.**, 2006. Manuel de recherche en sciences sociales, *Psycho Sup*, 3e édition Dunod, 256 p.
- RAMIREZ F. et DAVENPORT T.L.**, 2010. Mango (*Mangifera indica* L.) flowering physiology, *Scientia Horticulturae* (126): pp. 65–72
- RATNADASS A., GRECHI I., GRAINDORGE R., CAILLAT A., A.L. PRETERRE A.L. and NORMAND F.**, 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, (en attente de publication), 8p.
- RNM**, 2017. Mangue : moyennes mensuelles du 01-09-2016 au 31-08-2017 [en ligne]. Disponible sur : <https://www.rnm.franceagrimer.fr/prix?MANGUE> (consulté le 17/10/2017).
- ROZEN A., UKASZ SOBCZYK Ł., LISZKA K., WEINER J.**, 2010. Soil faunal activity as measured by the bait-lamina test in monocultures of 14 tree species in the Siemianice common-garden experiment, Poland, *Applied Soil Ecology* (45): pp. 160–167
- SAEED S., ABRAR AMIN M., RIZWAN M. AND SAEED Q.**, 2014. Can *Procontarinia mangiferae* and *Procontarinia* sp. (Diptera: Cecidomyiidae) of mango be monitored by coloured sticky and polyethylene sheet funnel traps? *Plant Protection Quarterly* Vol.29(1) : pp. 32-36

- SAVIAN L. et GRAINDORGE R.**, 2015. Compte rendu d'essai : Efficacité du bâchage du sol au niveau du rang contre la cécidomyie des fleurs du manguier (ARMEFLHOR: CEMAN_0415), 25 p.
- SCHOONHOVEN L-M., VAN LOON J.J-A, DICKE M.**, 2005. Insect-Plant Biology, Second edn, 421 p.
- SINGH G.**, 1988. Insect pollinators of mango and their role in fruit setting. *Acta Horticulturae* (231): pp. 629-632
- SURESH K.**, 2011. An overview of randomization techniques: An unbiased assessment of outcome in clinical research. *Journal of human reproductive science* (4) : pp. 8-11
- SUTY L.**, 2010. La lutte biologique vers de nouveaux équilibres écologiques. © Educagri éditions/Éditions Quæ, 331 p.
- TRADE MAP**, 2018. Dix premiers pays exportateurs de mangue, en tonnes, en 2012, présenté par Infocomm, 2016.
- UNESCO**, 2017. La liste du patrimoine mondial, Pitons, cirques et remparts de l'île de La Réunion, description [en ligne]. Disponible sur : <http://whc.unesco.org/fr/list/1317> (consulté le 26/06/2017).
- VAN DER MEULEN J., SMITH T., VAN DEN BOOM I., et al.**, 1971. Mango Growing in South Africa Department of Agricultural Technical Services, Citrus and Subtropical Fruit Research Institute, Nelspruit, South Africa, 40 p.
- VAYSSIERES J-F., KORIE S., COULIBALY O., TEMPLE L., BOUEYI S.P.** 2008. The mango tree in central and northern Benin: cultivar inventory, yield assessment, infested stages and loss due to fruit flies (Diptera: Tephritidae), *Fruits* (63): pp. 335–348
- VINCENOT D.**, 1995. Chambre d'agriculture 974, Expérimentation et développement d'un programme de lutte raisonnée en verger de manguiers, compte-rendu, Chambre d'agriculture 974, n.c. p.
- VINCENOT D.**, 2004. Mangues de La Réunion, origines, histoire, caractéristiques, usages culinaires ; Chambre d'Agriculture de La Réunion, 117 p.
- VINCENOT D., NORMAND F.**, 2009. Guide de production intégrée de mangues à La Réunion CIRAD et Chambre d'Agriculture, Saint-Pierre, Ile de La Réunion, France. 121 p.
- VINCENOT D., DEGUINE J-P., GLOANEC C., DIJOUX A., GRAINDORGE R.**, 2015. Initiation à la protection agroécologique du manguier à La Réunion. Retour d'expérience – Projet Biophyto 2012-2014. Chambre d'agriculture de La Réunion, Saint-Denis, 56 p.
- WATSON L., DALLWITZ M-J.**, 1992. The Families of Flowering Plants: Descriptions, Illustrations, Identification, and Information Retrieval. Version: 18th May 2012.
- WHILEY A. W.**, 1992. Environmental effects on phenology and physiology of mango, *Acta Horticulturae* (341): pp. 168-176
- WU Q-J., ZHAO J-Z., TAYLOR A-G., SHELTON A-M.**, 2006. Evaluation of insecticides and application methods against *Contarinia nasturtii* (Diptera: Cecidomyiidae), a new invasive insect pest in the United States. *Journal of Economic Entomology* (99): pp. 117-122
- YUKAWA J.**, 2000. Synchronization of galls with host plant phenology. *Population Ecology* (42) : pp. 105-113

Table des figures

Figure 1 : Les directions régionales du Cirad dans le monde (Cirad, 2017)	3
Figure 2 : Schéma représentatif des projets dans lesquels s'inscrit le stage	6
Figure 3 : Pays principaux producteurs mondiaux (en tonnes) de mangues, mangoustans et goyaves, par pays, en 2014 (FAOSTATS, 2014).	8
Figure 4 : Répartition des surfaces de cultures (ha et %) (d'après AGRESTE, 2014 sur la base du recensement agricole 2010)	11
Figure 5 : Les surfaces fruitières indiquées en hectares par commune à La Réunion (d'après AGRESTE, 2014 sur la base du recensement agricole 2010)	12
Figure 6 : L'articulation du marché de la mangue sur l'île de La Réunion (VINCENOT D. <i>et al.</i> , 2015).....	13
Figure 7 : Présentation d'un manguier en âge de produire (D) avec, des inflorescences (A1 & A2), des fruits (C), une croissance végétative présentant de jeunes unités de croissance (UCs) végétative (B2) et des feuilles plus anciennes (B1) (©Photographies de Calabre, CIRAD, 2008)	14
Figure 8 : Mangues du cultivar Cogshall (A) et du cultivar José (B) (© NORMAND F., Cirad)	15
Figure 9 : Cycle phénologique du manguier pour le cultivar Cogshall sur une année (figure de gauche) et sur 2 ans (figure de droite) (VINCENOT D., 2009). Sur la figure de gauche, les flèches de couleur orange indiquent successivement la floraison, la croissance du fruit et la récolte. Les flèches de couleur verte indiquent des périodes de croissance végétative (AMOUROUX P., 2013).	17
Figure 10 : Stades phénologiques reproducteurs du manguier (VINCENOT D., 1995). ...	18
Figure 11 : Carte représentant les trois zones de productions de mangues à La Réunion (en haut) et spécificité de chaque zone en termes de surfaces de vergers de manguiers et de nombre d'exploitations agricoles productrices de mangues (en bas) (VINCENOT D. et NORMAND F., 2009, AMOUROUX P., 2013)	20
Figure 12: Carte météorologique indiquant la pluviométrie (METEO France, 2017).	20
Figure 13 : Punaise du manguier (<i>O. palus</i>) adulte (© FRANK A., Cirad) et ses dégâts occasionnés sur une jeune inflorescence (© VINCENOT D., Chambre d'agriculture)	24
Figure 14 : Thrips <i>Scirtothrips aurantii</i> (© VINCENOT D., CA) et ses dégâts sur fruit noué (© VANHUFFEL L., CA).....	24
Figure 15 : Inflorescence avec présence d'oïdium (© VINCENOT D., CA)	25
Figure 16 : Les mouches des fruits présentes à La Réunion (© FRANK A., Cirad ; © VINCENOT D., CA et leurs dégâts sur fruits avortés et mûrs © J.F. Vayssières et © I. Grechi, Cirad).....	25
Figure 17 : Cycle de développement des espèces de Tephritidae carpophages (CTA, 2007)	26
Figure 18 : Types d'augmentoriums de deuxième génération. A) P2GA ; B) P2GB	28
Figure 19 : Cécidomyies des fleurs au stade adulte (© FRANK A., Cirad)	29
Figure 20 : Larve de Cécidomyie au sol, taille 1,5 mm, qui a occasionné des dégâts sur inflorescence avant de s'en extirper (© FRANK A., Cirad)	30
Figure 21 : Cycle de la cécidomyie (AMOUROUX P. <i>et al.</i> , 2009).....	30
Figure 22 : Visualisation du tissage et du tapis de sol utilisé en verger de manguiers.....	32
Figure 23 : Leviers potentiels de gestion et pratiques culturales associées pour la régulation de l'infestation et des dégâts des principaux ravageurs de la mangue à l'île de La Réunion (travaux de recherche UR HortSys). Les cadres dont le contour est en rouge sont les leviers étudiés lors du stage (d'après RATNADASS A. <i>et al.</i> , 2017).....	34

Figure 24 : Chronologie de l'étude (des 3 essais). Les essais 1 et 2 sont effectués parallèlement au cycle de vie du manguier (de la floraison à la nouaison) alors que l'essai 3 a été conduit lors de la récolte prophylactique (fin nouaison début fructification). Les entretiens ont été réalisés après ces trois phases expérimentales.....	37
Figure 25 : Itinéraire entre la station Cirad et la parcelle d'essai au CPEA (Google Maps)	40
Figure 26: Disposition des traitements (modalités de couverture du sol) dans leur environnement respectif.....	41
Figure 27 : Photographie des 3 traitements/modalités (a = enherbement haut, b = paillage synthétique, c = enherbement ras).....	42
Figure 28 : Représentation parcellaire du dispositif expérimental pour estimer les populations de cécidomyies en prenant pour exemple le bloc 1 « enherbement haut ». ...	42
Figure 29 : Instrumentation des parcelles avec les pièges à cécidomyies positionnés sous la ressource florale sur l'enherbement ras à gauche et le paillage synthétique à droite. ...	43
Figure 30 : Chronologie de l'essai principal (essai 1) effectué en parallèle de la période de floraison du manguier	43
Figure 31 : Echelle de notation du niveau de dessèchement des inflorescences (de 0 : panicule saine à 5 : panicule morte).....	45
Figure 32 : Représentation parcellaire du dispositif expérimental pour estimer la ressource en prenant pour exemple le bloc 1 « enherbement haut ».	46
Figure 33 : Représentation parcellaire du dispositif expérimental pour observer le comportement du sol en prenant pour exemple le bloc 1 « enherbement haut » avec un zoom sur la disposition dans le quadrat des Bait-Lamina® dans un « jeu » (en gris) et des « témoins » (en rouge et noir).	47
Figure 34 : Chronologie de l'essai complémentaire (essai 2) effectué en parallèle de la période de floraison du manguier et de l'essai 1	47
Figure 35: Description générale des Bait -Lamina (KRATZ W., 1998).....	49
Figure 36: Représentation de « Bait Lamina » avec les critères d'interprétation des résultats (proportion d'appâts restant dans les trous, après l'exposition au verger) : (0) vide ; (1) plein ; (0.5) partiellement vide (KRATZ W., 1998).	49
Figure 37 : Mode opératoire pour l'évaluation de l'infestation par les mouches des fruits des mangues tombées au sol.....	51
Figure 38 : Diagramme ombrothermique couvrant la période d'essai sur 2017 et en comparaison avec la météo de 2016 sur les températures moyennes journalières (°C) et les précipitations journalières (mm) du 01/06/2016-2017 au 31/12/2016-2017 relevées par la station météorologique du CPEA St Paul.	55
Figure 39 : Evolution au cours de la période de floraison des effectifs de Larves* sur les bloc 1 et 2 en fonction des traitements (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras).....	56
Figure 40 : Effectif Larves* sur les deux blocs séparément en fonction des traitements (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras)	57
Figure 41 : les stades phénologiques du manguier sensibles à la cécidomyie en fonction du nombre de piqûres observées sur les hampes florales	58
Figure 42 : les stades phénologiques du manguier sensibles à la cécidomyie en fonction du nombre de larves piégées en dessous des inflorescences suivies.....	58
Figure 43 : Racine carrée du taux de dessèchement des inflorescences en fonction de la couverture du sol (PS = paillage synthétique ; EH = enherbement haut ; ER = enherbement ras)	59
Figure 44: Dynamique de floraison en pourcentage cumulé d'inflorescences en fonction du traitement pour chaque bloc au cours du temps (exprimé en numéro de semaine, sachant	

que 1 est la première semaine de l'année) sur le bloc 1 et 2 en fonction des traitements (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras).....	60
Figure 45 : Taux de floraison par arbre en fonction des modalités sur les deux blocs séparément (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras).	61
Figure 46 : Rendement par arbre portant sur tous les arbres du verger (x), en fonction des couvertures de sol sur les deux blocs séparément (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras).....	62
Figure 47 : Rendement par arbre portant sur les arbres ayant fructifié uniquement, en fonction des modalités sur les deux blocs séparément (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras).....	63
Figure 48 : Courbes d'évolution des températures sur la couche superficielle du sol en fonction de la modalité de couverture du sol, sur les deux blocs séparément (PS = paillage synthétique ; EH = enherbement haut ; ER = enherbement ras).....	64
Figure 49 : Température minimum (°C) sous la surface du sol (période du 07/07/2017 au 06/08/2017) en fonction de la modalité de couverture du sol (PS = paillage synthétique ; EH = enherbement haut ; ER = enherbement ras).....	65
Figure 50 : Activité biologique du sol (% de consommation des appâts des Bait-Lamina®) au 2ème relevé (15/12/2017) en fonction de la modalité de couverture du sol (PS = paillage synthétique ; EH = enherbement haut ; ER = enherbement ras).	65
Figure 51 : Nombre de pupes de Tephritidae par kg de fruits sur mangues Cogshall tombées au sol en fonction de la couverture du sol sans différenciation des blocs (PS = paillage synthétique ; ER = enherbement ras ; EH = enherbement haut).	66
Figure 52 : Nouveau dispositif expérimental, sur le rang paillage synthétique sous l'aplomb des manguiers et sur l'inter rang maintien d'un enherbement haut spontané.	79

Table des tableaux

Tableau I : Les 10 premiers pays producteurs de mangues (production en tonnes) dans le monde en 2014 (FAOSTAT, 2014)	8
Tableau II : Dix premiers pays exportateurs de mangues, en tonnes, en 2012	9
Tableau III : Les dix premiers pays importateurs de mangues, en tonnes, en 2013	10
Tableau IV : Pratiques culturales sur manguier.....	21
Tableau V : Calendrier des pratiques phytosanitaires (1 : observation du bioagresseur, 2 : traitement, 3 : produit utilisé)	22
Tableau VI : Présentation des ravageurs de la culture du manguier	23
Tableau VII : Démarche appliquée pour répondre aux objectifs de l'étude.....	38
Tableau VIII : Les sources d'infestation/ré-infestation en fonction de la modalité	44
Tableau IX : Démarche générale de la conduite des entretiens semi-directifs	52
Tableau X : Les moyennes des paramètres étudiés pour chaque bloc et chaque modalité	57
Tableau XI : Date médiane à laquelle les bourgeons floraux atteignent le stade C en fonction du traitement et du bloc	60
Tableau XII : Intensité de floraison en fonction des traitements (PS = paillage synthétique, EH = enherbement haut, ER = enherbement ras) pour chaque bloc	60
Tableau XIII : Estimation des rendements à partir du calcul de différentes variables	62
Tableau XIV : Résultats obtenus pour chaque mesure réalisée pendant l'étude. Les résultats significativement différents sont renseignés sur fond gris et les modalités validées en vert. Certaines variables n'ont pas été statistiquement testées (sur fond blanc).....	68
Tableau XV : Résultats obtenus et appréciation de leur qualité, les tendances sont représentées par « ≥ » et les différences significatives par « > »	74
Tableau XVI Recommandations pour un futur essai	79

Table des matières

Résumé	III
Abstract	III
Remerciements	V
Sommaire	VII
Glossaire	VIII
Sigles et abréviations	X
Introduction générale.....	1
PARTIE 1 : Contexte et enjeux de l'étude.....	2
1 Le Cirad	3
1.1 Le Cirad à l'échelle mondiale (mission, stratégie et fonctionnement)	3
1.2 Le Cirad Réunion-Mayotte	4
1.2.1 Ressources et infrastructures.....	4
1.2.2 Mission et fonctionnement.....	4
1.2.2.1 La recherche agronomique sur le manguier au Cirad	4
1.2.2.2 Focus sur les projets d'agro-écologie appliqués à la culture du manguier à La Réunion	5
2 La filière mangue dans le Monde et à l'île de La Réunion	7
2.1 Le manguier, un arbre fruitier d'importance mondiale.....	7
2.1.1 La production mondiale en quelques chiffres.....	7
2.1.2 Les flux internationaux de mangues.....	8
2.1.2.1 Les cours du marché de la mangue	8
2.1.2.2 Les principaux exportateurs, importateurs et consommateurs de mangues.....	9
2.1.3 Les produits transformés et commercialisés à base de mangues dans le monde	10
2.2 Fonctionnement du marché de la mangue à La Réunion (histoire, production et commercialisation)	10
2.2.1 L'histoire de la mangue à La Réunion	10
2.2.2 La place du manguier dans l'arboriculture fruitière réunionnaise.....	11
2.2.3 Les circuits de commercialisation de la mangue à La Réunion	12
3 Volet agronomique.....	13
3.1 Le manguier : origine, variétés, caractéristiques botaniques, agronomiques et physiologiques	13
3.1.1 Des premiers manguiers cultivés aux vergers d'aujourd'hui (origine, sélection et diffusion)	13
3.1.2 Caractéristiques botaniques du manguier.....	14
3.1.3 Les variétés cultivées à l'île de La Réunion	15
3.1.4 Impacts environnementaux, sociaux et agronomiques de la culture	15
3.1.4.1 Impacts environnementaux.....	15
3.1.4.2 Impacts sociaux	15
3.1.4.3 Intérêt agronomique de la culture de mangue à La Réunion	16
3.2 Conduite d'un verger de mangues sur l'île de La Réunion.....	16
3.2.1 Cycle phénologique du manguier.....	16
3.2.1.1 La croissance végétative du manguier	17
3.2.1.2 Le repos végétatif du manguier	17
3.2.1.3 La floraison du manguier : de la fleur au fruit	17
3.2.1.4 La fructification du manguier.....	18
❖ Morphologie du fruit.....	18
❖ Caractéristiques nutritionnelles	18
3.2.2 Exigences écologiques et habitat du manguier.....	19
3.2.3 Bassin de production de la mangue sur l'île de La Réunion	19
3.2.4 Itinéraire technique	21
3.2.4.1 Les pratiques culturales hors phytosanitaires.....	21
3.2.4.2 Les pratiques phytosanitaires	21
4 Les problèmes agronomiques affectant la production de mangue : état des lieux sur les bioagresseurs du manguier.....	22
4.1 Les bioagresseurs du manguier.....	22
4.2 Les bioagresseurs de la floraison	23
4.2.1 La punaise <i>Orthops palus</i>	23
4.2.1.1 Morphologie et description de l'insecte.....	23

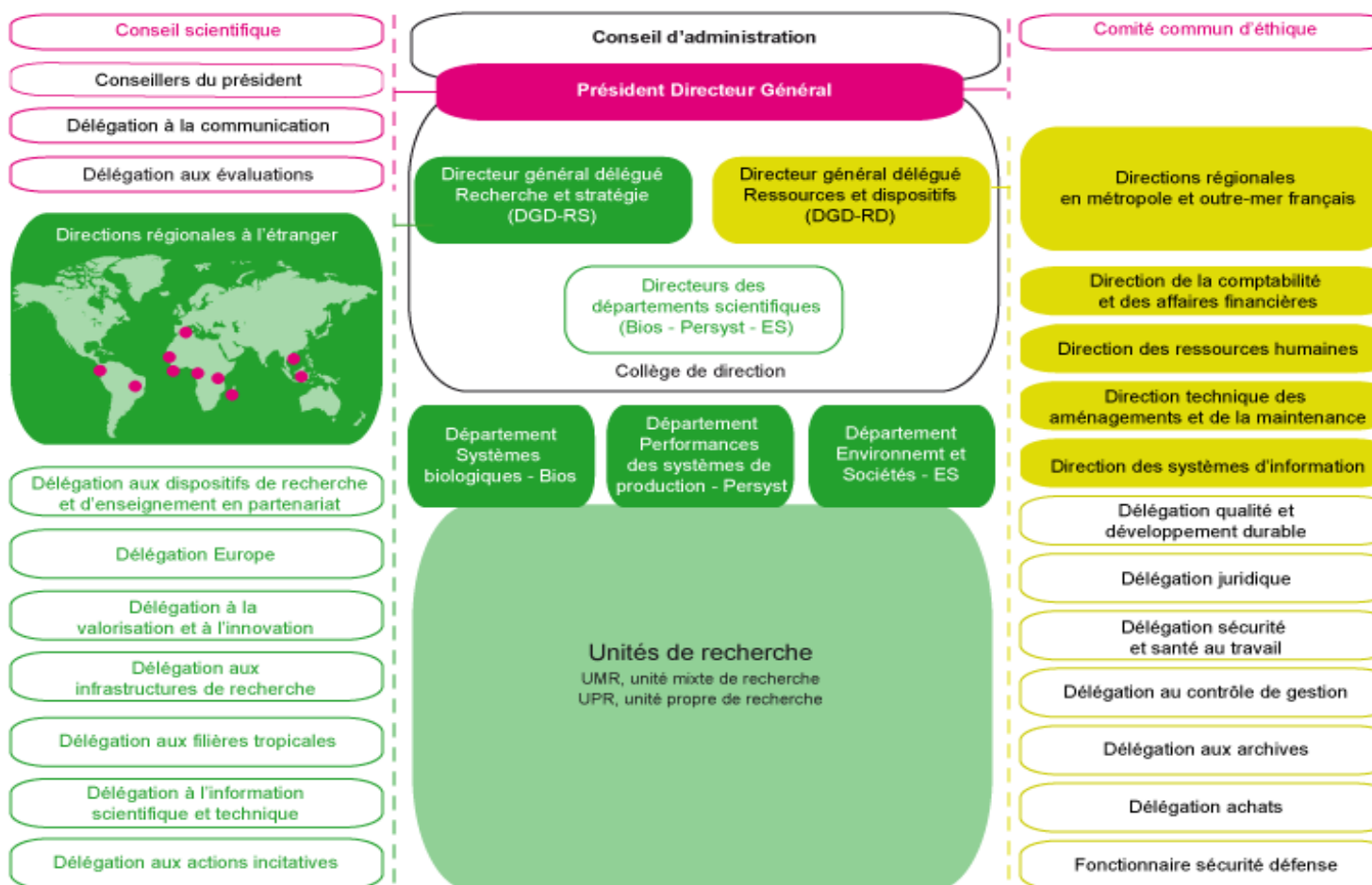
4.2.1.2	Cycle de vie d' <i>O. palus</i>	24
4.2.2	Les thrips, ravageurs des inflorescences et des fruits noués.....	24
4.2.2.1	Description et morphologie de l'insecte	24
4.2.2.2	Mesures prophylactiques	25
4.2.3	La principale maladie de la floraison du manguier : l'oïdium	25
4.3	Les bioagresseurs des fruits	25
4.3.1	Morphologie et description des mouches des fruits	25
4.3.2	Cycle de vie des mouches des fruits	26
4.3.3	Cas particulier et récent d'une nouvelle mouche ravageuse : <i>B. dorsalis</i>	26
4.3.4	Mesures prophylactiques et autres techniques agroécologiques pour la gestion des mouches des fruits à La Réunion	27
5	État de l'art sur la cécidomyie des fleurs et sa gestion agroécologique.....	28
5.1	Historique, morphologie et description de la cécidomyie des fleurs.....	28
5.2	Cycle de vie de la cécidomyie des fleurs	29
5.3	La prophylaxie et autres techniques agroécologiques : cas de la gestion de la cécidomyie des fleurs à La Réunion	30
5.3.1	Les différentes couvertures de sol.....	31
5.3.1.1	Les couvertures végétales	31
5.3.1.2	Les couvertures synthétiques	32
5.3.2	Retour d'études sur les couvertures végétales permanentes	32
5.3.3	Retour d'études sur les couvertures de sol et l'efficacité du paillage synthétique	32
5.3.4	Bilan des moyens de gestion des bioagresseurs du manguier à La Réunion	33
6	Problématique.....	34
PARTIE 2 : Matériels et méthodes		36
1	Démarche générale de la mission	37
2	Essai 1 : évaluation de l'effet des différentes couvertures de sol sur la gestion des cécidomyies.....	40
2.1	Dispositif expérimental.....	40
2.1.1	Localisation de l'étude	40
2.1.2	Les trois couvertures de sol étudiées	41
2.1.3	La mise en place des pièges	42
2.2	Chronologie de l'étude	43
2.3	Notations réalisées	43
2.3.1	Estimation des populations de cécidomyie	44
2.3.2	Evaluation des dégâts sur les inflorescences	44
3	Essai 2 : évaluation de l'effet des couvertures de sol sur la phénologie des arbres et l'environnement du verger	45
3.1	Dispositif expérimental.....	45
3.1.1	Caractérisation de la phénologie du manguier.....	46
3.1.2	Acquisition de données sur le milieu édaphique	46
3.2	Chronologie de l'étude	47
3.3	Notations réalisées	48
3.3.1	Estimation des taux de floraison et des rendements.....	48
3.3.2	Acquisition des données sur le milieu édaphique	48
3.3.2.1	Mesure de la température édaphique.....	48
3.3.2.2	Mesure de la vie microbienne édaphique avec le système de test « Bait-Lamina® »	49
4	Essai 3 : évaluation de l'infestation par les mouches des fruits des mangues tombées au sol en fonction des couvertures de sol.....	50
4.1	Dispositif expérimental.....	50
4.1.1	Au verger	50
4.1.2	Au laboratoire	50
4.2	Chronologie de l'étude	50
4.3	Notations réalisées	51
5	Entretiens auprès d'acteurs de la filière	51
6	Analyse des données	52
PARTIE 3 : Résultats		54
1	Relevés météorologiques au CPEA St Paul.....	55
2	L'effet des couvertures de sol sur la gestion de la cécidomyie des fleurs (essai 1)	56
2.1	Evolution des populations larvaires de cécidomyies au cours de la période d'essai	56

2.2	Estimation des populations de cécidomyies	56
2.3	Evaluation des dégâts sur inflorescences	58
2.3.1	Les stades sensibles	58
2.3.2	Dessèchement des inflorescences.....	59
3	L'effet des couvertures de sol sur la phénologie des arbres et l'environnement du verger (essai 2).....	59
3.1	Analyse de l'effet des couvertures de sol sur la phénologie du manguiers.....	59
3.1.1	La dynamique de floraison	59
3.1.2	L'intensité de floraison	60
3.1.2.1	Taux de floraison par arbre pour chaque modalité	61
3.1.2.2	Nombre d'inflorescences moyens par UC florifère pour chaque arbre.....	61
3.1.3	Estimation des rendements (en nombre de fruits)	61
3.1.3.1	Analyse des rendements sur tous les arbres du verger (variable : X).....	62
3.1.3.2	Analyse des rendements sur tous les arbres ayant fructifié (variable : Rdt.arbrefructi)	62
3.2	Acquisition des données édaphiques	63
3.2.1	Résultats sur la température du sol (TinyTags®).....	63
3.2.2	Résultats sur l'activité biologique du sol (Bait-Lamina®)	65
4	L'impact des couvertures de sol sur l'infestation des mangues par les mouches des fruits (essai 3).....	66
5	Retour d'enquête exploratoire auprès de la filière mangue réunionnaise	66
6	Synthèse de l'ensemble des résultats de l'étude	68
PARTIE 4 : Discussion et limites.....		70
1	Des résultats mitigés en raison d'une floraison atypique	71
2	Une forte disparité entre les blocs	71
3	L'effet des couvertures de sol sur les populations de cécidomyies	72
3.1	Le paillage synthétique semble réduire les populations de cécidomyies en verger	72
3.2	L'effet des couvertures de sol sur le dessèchement des inflorescences	72
4	L'effet des couvertures de sol sur la phénologie des arbres et l'environnement du verger	73
4.1	La phénologie du manguiers ne semble pas être impactée négativement par le paillage synthétique.....	73
4.2	L'acquisition de données édaphiques ne montre pas d'effet négatif du paillage synthétique.....	73
5	L'effet des couvertures de sol sur l'infestation des mangues par les mouches des fruits	73
6	Acquis et limites de l'étude 2017	74
PARTIE 5 : Propositions.....		76
1	Propositions relatives à l'amélioration du dispositif expérimental en verger	77
1.1	Optimiser et randomiser le dispositif expérimental chez des producteurs	77
1.2	Suivi de la phénologie du manguiers : concevoir différemment l'instrumentation des UCs	77
1.3	Revoir la mise en place des piègeages à cécidomyie pour mieux étudier la dissémination de l'insecte	78
1.4	Proposition d'un nouveau dispositif expérimental.....	78
1.5	Synthèse des perspectives expérimentales proposées.....	79
Piégeage pour mieux étudier la dissémination de l'insecte		80
2	Propositions générales pour la poursuite de ces travaux en recherche pour le développement agricole	80
2.1	Développer des collaborations pour améliorer la coopération et le transfert	80
2.2	L'homologation récente d'un insecticide contre la cécidomyie des fleurs du manguiers à La Réunion.....	80
2.3	Agir pour le développement agricole : Synthèse des méthodes de lutte préconisées ...	81
2.4	La nécessité de communiquer sur cet essai pour l'appropriation des innovations agroécologiques.....	81
Conclusion générale.....		83
Références bibliographiques.....		84
Table des figures		89
Table des tableaux		92
Table des matières.....		93
Table des annexes		116

ANNEXES

Annexe 1 : Organigramme global du Cirad (Cirad, 2017)

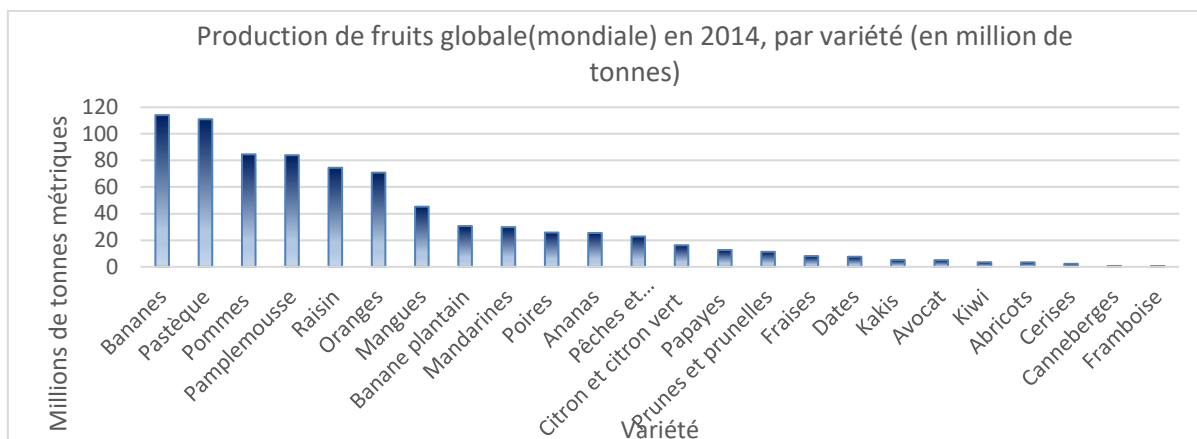
Le Cirad emploie 1650 personnes, dont 800 chercheurs. Il comprend 3 directions scientifiques et 33 unités de recherche.



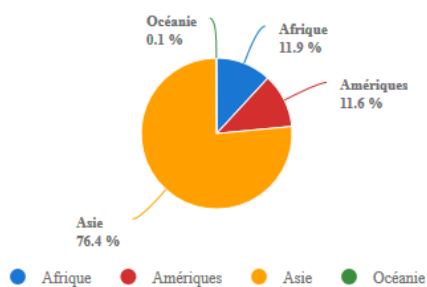
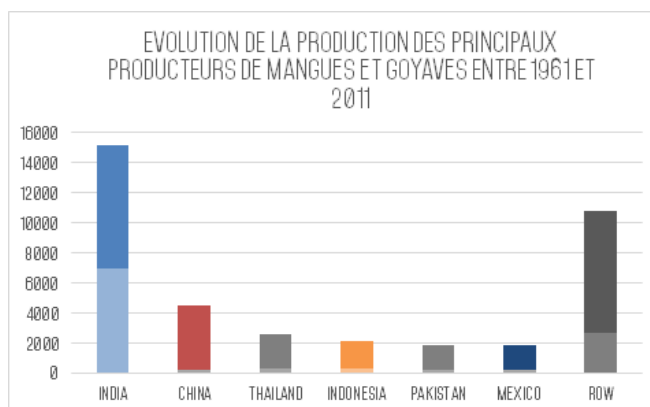
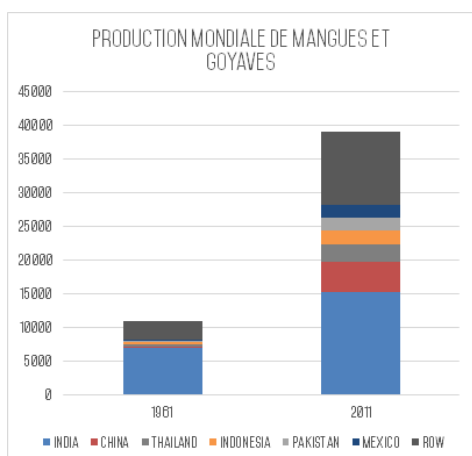
Annexe 2 : Tables de composition nutritionnelle Ciqual 2016 (d'après Anses, 2017)

Constituants	Teneur moyenne		
	Mangue fraîche	Jus	Nectar
Energie (kj/100 g)	269	172	262
Energie (kcal/100 g)	63.5	41	61.7
Eau (g/100 g)	83.1	86	84.3
Protéines (g/100 g)	0.7	0.2	0.2
Glucides (g/100 g)	13.6	9.5	14.4
Lipides (g/100 g)	0.2	0.2	0.2
Sucres (g/100 g)	13.1	9.3	-
Amidon (g/100 g)	0.3	0.2	-
Fibres (g/100 g)	1.76	Traces	0.6
Vitamines			
E (mg/100 g)	1.05	1.05	-
C (mg/100 g)	37	30	-
B1 (mg/100 g)	0.04	0.005	-
B2 (mg/100 g)	0.05	0.01	-
B3 (mg/100 g)	0.5	0.6	-
B5 (mg/100 g)	0.16	0.14	0.05
B6 (mg/100 g)	0.13	0.12	0.04
B9 (µg/100 g)	31	27.1	9.5
Éléments minéraux			
Sodium (mg/100 g)	2	11	2.7
Magnésium (mg/100 g)	13	14.3	4.97
Phosphore (mg/100 g)	16	25	-
Potassium (mg/100 g)	180	21	-
Calcium (mg/100 g)	12	2	5.22
Manganèse (mg/100 g)	0.3	0.02	0.0474
Fer (mg/100 g)	0.7	2.6	-
Cuivre (mg/100 g)	0.12	0.02	0.0256
Zinc (mg/100 g)	0.1	0.02	0.0686
Sélénium (µg/100 g)	0.6	0.1	< 2.2
Iode (µg/100 g)	1.14	3	1.1
Beta-carotène (µg/100 g)	1220	375	131

Annexe 3 : Production mondiale de la mangue en quelques chiffres (FAOSTATS, 2014, 2016, 2017)



- Répartition des fruits les plus produits à l'échelle mondiale (d'après les données de FAOSTATS, 2016)



- Part de la production de mangues, mangoustans et goyaves par région (FAOSTATS, 2014)

- Les 10 premiers pays producteurs de mangue (en surface par hectares) dans le monde en 2016 (FAOSTATS, 2016).

Rang	Pays	Surface (ha)	Rang	Pays	Surface (ha)
1	Inde	2 237 000	6	Indonésie	167 785
2	Chine	596 660	7	Pakistan	167 743
3	Thaïlande	410 694	8	Bengladesh	153 088
4	Mexique	206 423	9	Nigeria	133 572
5	Philippines	195 958	10	Egypte	113 055

Annexe 4 : Stades végétatifs du manguier (d'après DAMBREVILLE A., 2012)

Stade A : repos végétatif, bourgeons végétatifs non gonflés



Stade B1

Gonflement du bourgeon, sans ouverture des écailles



Stade B2

Début d'ouverture du bourgeon, feuilles serrées



Stade C

Ouverture du bourgeon, feuilles écartées



Stade D

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°, 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

Fin de l'élongation de l'unité de croissance, décoloration et remontée des feuilles, pétioles orientés à environ 90°



Stade H

Unité de croissance adulte, pétioles orientés à environ 45-60°, limbes verts

Annexe 5 : Stades reproducteurs du manguier (d'après DAMBREVILLE A., 2012)

Stade A : repos végétatif, bourgeons végétatifs non gonflés



Stade B1

Bourgeon gonflé :
Forme d'ogive, vert clair, écaillés protectrices non ouvertes



Stade B2

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



Stade C

Ouverture du bourgeon :
Les écaillés 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^{ère} 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 6 : Caractérisation de l'enherbement et de l'entomofaune associée sur les couvertures de sol concernées

Démarche :

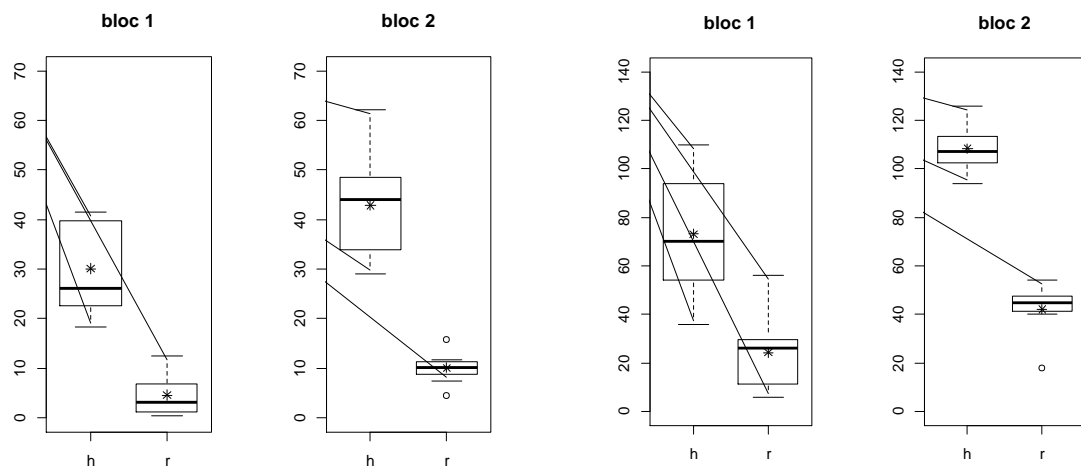
Ces caractérisations ont été faites le 04/09/2017 sur quatre quadrats de 0,50m X 0.50m par parcelle (enherbement haut et enherbement ras : (Figure ci-dessous)). L'entomofaune a été aspirée au moyen d'un souffleur STIHL BG56® inversé. Les différents taxons présents ont été séparés au niveau de l'espèce pour les plantes, de l'ordre ou de la famille pour les arthropodes. Le taux de recouvrement de l'enherbement a été estimé. Toute la biomasse végétale aérienne a été récoltée et pesée (matière fraîche, puis matière sèche après passage à l'étuve 48h à 70°C).



➤ Quadrats pour la caractérisation de l'abondance et de la diversité de la flore et de l'entomofaune associée en enherbement haut (à gauche) et en enherbement ras (à droite)

Résultats :

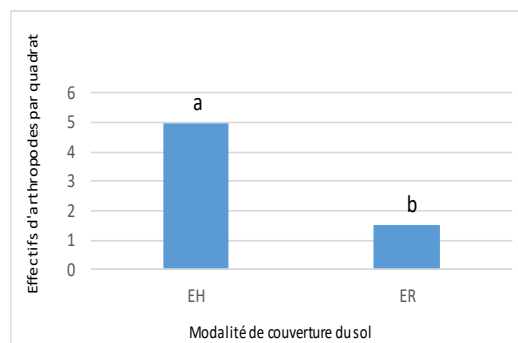
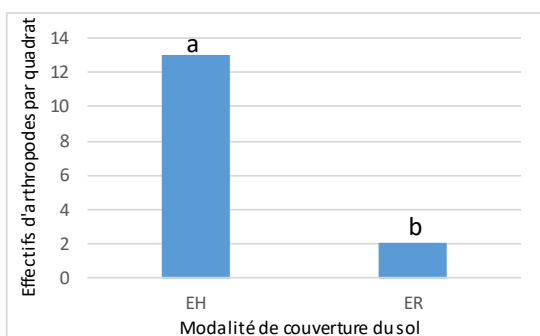
Les matières sèches et le recouvrement mesurés dans chacun des blocs sont représentés respectivement ci-dessous en fonction des modalités de gestion de l'enherbement. Dans les deux blocs, la modalité de gestion de l'enherbement impacte significativement la matière sèche et le recouvrement.



Poids de matière sèche de l'enherbement (g/0,25m²). Données du prélèvement du 4 septembre (sur les 2 blocs : 4 quadrats par modalité. Enherbement haut (h) et enherbement ras (r). (*) indique la moyenne du groupe.

Recouvrement de l'enherbement. Données du prélèvement du 4 septembre (sur les 2 blocs : 4 quadrats par modalité. Enherbement haut (h) et enherbement ras (r). (*) indique la moyenne du groupe.

Pour l'entomofaune, les effectifs (nombre d'individus) et la diversité (nombre de taxons) observés dans chacun des blocs sont représentés respectivement ci-après en fonction des modalités de gestion de l'enherbement. La modalité de gestion de l'enherbement impacte significativement ces deux paramètres.



Nombre d'arthropodes par quadrat de 0,25m² (ER = enherbement ras ; EH = enherbement haut).

Données du prélèvement du 4 septembre (sur les 2 blocs : 4 quadrats par modalité). Les moyennes surmontées de lettres différentes sont différentes au test Mann-Whitney ($p=0,005$).

Nombre de taxons d'arthropodes par quadrat de 0,25m² (ER = enherbement ras ; EH = enherbement haut).

Données du prélèvement du 4 septembre (sur les 2 blocs : 4 quadrats par modalité). Les moyennes surmontées de lettres différentes sont différentes au test Mann-Whitney ($p=0,007$).

On observe par ailleurs une forte corrélation entre les biomasses de matière sèche de l'enherbement et son recouvrement du sol dans les quadrats, et les effectifs et la diversité de l'entomofaune dans ces mêmes quadrats (Tableau ci-après).

Matrice de corrélation (Pearson) entre les différents paramètres mesurés/observés le 4 septembre sur les quadrats de caractérisation de l'enherbement (MS = biomasse aérienne de matière sèche de la flore ; Rec : recouvrement de l'enherbement) et de l'entomofaune associée (effectifs totaux et nombre de taxons)

Variables	MS	Rec	Effectifs	No taxons
MS	1	0,989*	0,991**	0,999***
Rec	0,989*	1	0,967*	0,988**
Effectifs	0,991**	0,967*	1	0,994**
No taxons	0,999***	0,988**	0,994**	1

seuils de signification : * = 0,05 ; ** = 0,001 ; *** = 0,0001

Annexe 7 : Entretiens auprès de la filière

Acteurs de la filière enquêtés :

Milieu	Fonction professionnelle des personnes rencontrées
Recherche	Chercheur CIRAD UR HortSys Chercheur CIRAD UR HortSys Chercheur CIRAD UMR PVBMT Chef de culture CIRAD station Bassin Plat Assistante de terrain CIRAD Technicien CIRAD Technicienne CIRAD
Commerce	Responsable commercial Réunion Fruits et Légumes (filiale de la coopérative Vivéa) Directeur de Vivéa Technicienne (fruits et légumes) de Vivéa Bazardier
Service	Technicien à la Chambre d'Agriculture de La Réunion, animateur responsable de Dephy Ferme Mangue
<u>Production et Agriculture</u>	Agriculteurs en mangue et production fruitière

Guide d'entretien :

x individus * grille d'entretien identique (qui balaye les dimensions de recherche agronomique appliquée au manguier et la production de mangues réunionnaises)

Objectif	Question(s)	Thèmes
Phase exploratoire/ découverte de la filière		
Motivation de l'acteur	Qu'est-ce qui vous a amené à être un acteur de la filière fruitière Réunionnaise ?	Parcours personnel/professionnel
Profondeur historique	Quelle est l'histoire réunionnaise de la mangue ? et de la recherche agronomique appliquée au manguier ?	Agriculture et avenir <i>Lien avec la recherche</i>
Couverture de toute la filière	Comment fonctionne la filière de la mangue à La Réunion ?	Schéma directeur : de la pépinière au commerce
Environnement social	Quels sont les environnements socio-éco et politique de la filière ?	Chambres d'Agriculture, CIRAD ... élus ? population
Ouverture géographique et du marché (local et international)	Quelle est la place de la mangue réunionnaise vs les autres productions fruitières de l'île, la concurrence et les marchés ?	Economie de la filière
Perspectives techniques	Quelle est l'évolution des surfaces ? Les différentes productions réunionnaises ? Les plus rémunératrices ? quelles sont celles que la mangue peut remplacer ou l'inverse ? les	Dresser la place de la mangue vs les autres productions fruitières

	nouvelles variétés ou techniques, des cultivars résistants ?	
Perspectives technico-économique	Quelle est l'organisation des vergers ? des marchés ? Quels indicateurs et leviers sont intéressants	Agronomies, Pratiques de cultures innovantes
Organisation et orientation agricole de la filière mangue	Quel sont les jeux de pouvoir (pouvoir de qui ? pour faire quoi) ? politiques attendues ?	OP ? négoce ? ou producteurs qui se débrouillent sur les petits marchés ?
Echange technique propre au contexte de production de 2017		
Système de culture et couverture du sol	Evaluation du système de culture, les pratiques qui évoluent quelles sont-elles ? pourquoi ? Votre vision de l'enherbement haut et du paillage synthétique ?	Conduite des vergers et système de culture
Ravageurs problématiques en 2017	Quels sont les ravageurs principaux sur manguier (floraison/arbre/fruits) ces dernières années ? Quel est votre vision concernant l'introduction de <i>B. dorsalis</i>	Pression parasitaire
Confirmer la floraison atypique en 2017	Comment évaluez-vous la floraison des vergers de mangues en 2017, si elle est atypique comment l'expliquer ? quelles sont les causes ?	Gestion de la floraison
Faire découvrir et échanger sur des nouvelles pratiques à l'étude	Connaissez-vous cette pratique ? que faites-vous des fruits avortés ?	Récolte prophylactique
Description de la récolte de 2017	Quelle conclusion ou comment décrire la production de 2017 ?	Aspect économique
Communication sur l'étude 2017, les premiers résultats et perspectives pour l'étude 2018		
Faire découvrir, communiquer, argumenter l'intérêt de l'étude	Présentation de l'étude, en quoi elle est novatrice. Argumentation	Découverte
<u>Connaître l'intérêt et la participation potentielle des producteurs</u>	<u>Souhaiteriez-vous découvrir, participer à ces essais ? Gestion des couvertures de sol et de la récolte pour gérer les cécidomyies et mouches des fruits</u>	<u>Participation</u>
Connaître l'avis des acteurs sur la recherche agronomique	Préconisation sur des pistes de recherche future à mener (ouverture et perspectives)	Avis/Opinion, Echange d'idées

Annexe 8 : Protocole expérimental

Protocole de l'essai d'étude de l'effet du paillage du sol comme moyen de lutte contre la cécidomyie des fleurs du manguier

Responsables de l'essai

Alain Ratnadass & Christian Soria (Cirad, UR HortSys)

Etudiante en charge du suivi

Lucie Brustel (stage de fin d'études Ecole d'ingénieurs d'agriculture de Purpan/UR HortSys)

Autres personnes impliquées

Mylène Wilt (CPEA Saint-Paul)

Rachel Graindorge (Armefflor)

Isabelle Grechi & Frédéric Normand (UR HortSys)

Contexte & objectifs

Dans le cadre de la thèse de Paul Amouroux (Amouroux, 2013), une étude sur la dispersion de la cécidomyie a été conduite au CPEA/St-Paul sur un verger de manguiers de la variété Cogshall, avec approche de modélisation. Bien qu'il n'y ait pas eu de notation de l'attaque de cécidomyie sur la parcelle non bâchée, ni de mesure du rendement, la différence d'attaque a été visuellement très nette entre les deux parcelles.

En 2015, deux essais ont été conduits par l'Armefflor chez deux producteurs de mangues de l'Ouest, sur des vergers de la variété José, l'un comparant une parcelle bâchée à une parcelle enherbée, l'autre comparant une parcelle bâchée à une parcelle en sol nu. Chez le 1er producteur, le bâchage n'a pas eu d'incidence sur la dynamique de floraison ni sur le taux de fructification. En revanche, alors qu'il y a eu significativement plus de pontes de cécidomyies sur la parcelle bâchée, l'attaque des panicules par la cécidomyie a été significativement plus importante sur la parcelle enherbée.

Chez le second producteur, le bâchage a eu une incidence (positive) sur la dynamique de floraison et sur le taux de fructification. Il y a eu significativement moins à la fois de pontes et d'attaques sur la parcelle bâchée que sur la parcelle en sol nu.

L'essai proposé a pour objectif d'évaluer sur un même site 3 modalités de couverture du sol, à savoir bâchage vs enherbement haut vs enherbement ras (à défaut de pouvoir avoir une modalité « herbicide »), et de mesurer l'effet de ces différentes modalités de couverture du sol sur l'infestation et les dégâts de cécidomyie, la phénologie de la floraison, le taux de fructification et le rendement du manguier, mais aussi la température et l'humidité du sol, et son activité biologique.

Variété de mangue : Cogshall

Site: Vergers du CPEA/Saint-Paul

Dispositif: Dispositif en blocs complets randomisés avec 3 traitements.

- Bloc 1 : Parcelle de Cogshall en face de l'entrée du Lycée, plantée en 2000, utilisée en son temps (2010-2011) par Paul Amouroux et utilisée en 2016 par l'Armefflor pour l'essai « Oïman ».
- Bloc 2 : Parcelle près de l'antenne SFR (verger plus ancien, avec sur-greffage de Cogshall sur Maison rouge)

Les deux parcelles sont en irrigation goutte-à-goutte. Les traitements phytosanitaires se limiteront à l'application préventive de soufre contre l'oïdium. Du fait de l'absence des traitements insecticides contre les punaises qui auraient vraisemblablement été appliqués (en particulier sur le Bloc 2, le Bloc 1 ayant vocation à être de toute façon conduit en AB), le différentiel éventuel de récolte (par rapport à une référence à définir) sera compensé par le Cirad.

La disposition des 3 traitements sur les 2 blocs:

1. bâchage;
2. enherbement haut ;
3. enherbement ras.

Le CPEA se chargera de l'application des modalités 2 (maintien d'un enherbement très haut) et 3 (fauche à la débroussailleuse), avec compensation par le Cirad si surcharge par rapport à l'entretien normal du verger.

Instrumentation

Sur la parcelle « bâchée », les rangs seront recouverts de tapis de sol tressés vert sur toute la longueur. Vu la largeur de la bâche, la totalité de la parcelle sera couverte avec recouvrement sur le rang. La bâche sera posée dès le mois de juin (en fonction de la façon dont les parcelles ont fleuri en 2016), avant le débourrement des bourgeons floraux et maintenue de manière à rester en place pendant toute la durée de la floraison. 200 unités de croissance (UCs) terminales dormantes seront tirées au hasard et étiquetées pour déterminer le taux de floraison de la parcelle. Celles arrivées au stade bourgeon gonflé (B) feront l'objet d'un suivi de la phénologie de la floraison (échelle B à G : Vincenot, 1995 & Dambreville et al.).

Des pièges (bidons de 5L coupés et partiellement remplis d'eau) seront disposés sous les panicules florales de 10 arbres tirés au hasard, afin de récupérer les larves de cécidomyies émergeant des panicules. Ces pièges seront « calés » avec des pierres et déplacés chaque semaine sous le maximum de « ressource » florale.

Des capteurs de température (TinyTags®) seront implantés sous la surface du sol (entre 5 & 10 cm de profondeur) de chacune des parcelles (sous la bâche pour la modalité « bâchée »), à raison d'un capteur par parcelle.

Une quinzaine de jours avant le retrait des bâches, 16 « Bait-Lamina® strips » (Kratz, 1998) seront implantés au milieu de chacune des parcelles.

Observations

Chaque semaine les larves des pièges seront dénombrées. De même l'état des panicules des unités de croissance étiquetées sera déterminé chaque semaine ainsi que leur stade phénologique (stades B à F). L'état de dessèchement des panicules sera noté selon les classes suivantes :

- 0 = panicule saine
- 1 = quelques piqûres, panicules non desséchées
- 2 = dessèchement de la panicule inférieur à 25 %
- 3 = dessèchement compris entre 25 et 75 %
- 4 = dessèchement supérieur à 75 %
- 5 = panicule sèche, morte

On notera à chaque fois les causes probables de dessèchement.

Sur les panicules (inflorescences) produites sur les 100 UCs terminales étiquetées, le taux de fructification sera évalué (nombre d'UC ayant fructifié/no d'UC ayant fleuri), puis le rendement par comptage exhaustif avant le début de la récolte, des fruits sur les 10 arbres

par parcelle élémentaire faisant l'objet du suivi par piégeage des populations de cécidomyies.

Les TinyTags® feront l'objet d'une programmation horaire et seront relevés une première fois au bout d'une semaine, puis à la fin de l'essai.

Les « Bait-Lamina® strips » feront l'objet d'un relevé 10 jours après leur implantation.

Analyse des données

Analyses de variance et/ou GLMs sur les différents paramètres mesurés avec les logiciels XLSTAT ou R.

Références

Amouroux, P. 2013. 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. Thèse de doctorat, Université de La Réunion.

Arneflhor, 2016a. COMPTE RENDU D'ESSAI « Efficacité du bâchage du sol au niveau du rang contre la cécidomyie des fleurs du manguier » (CEMAN_0415).

Arneflhor, 2016b. COMPTE RENDU D'ESSAI « Efficacité du bâchage du sol au niveau du rang contre la cécidomyie des fleurs du manguier » (CEMAN_0515).

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

Annexe 9 : Modalité d'autorisation du Movento® (Anses, 2017) et toxicologie (BAYER, 2018).

Toxicologie

Classement du mélange CLP

H317 - Peut provoquer une allergie cutanée.

H361fd - Susceptible de nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus.

H411 - Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.

Attention



Liste des nouveaux usages autorisés								
En l'absence de restriction, les usages sont autorisés sur l'ensemble des cultures de la portée de l'usage.								
Usages	Dose maximale d'emploi	Nombre maximum d'applications	Stade d'application BBCH	Délai avant récolte (jours)	Zone Non Traitée aquatique (mètres)	Zone Non Traitée arthropodes non cibles (mètres)	Zone Non Traitée plantes non cibles (mètres)	Mention abeilles
13053101 Ananas*Trt Part.Aer.*Cochenilles	1,75 L/ha	2/an	entre les stades BBCH 69 et BBCH 85	14	5	-	-	-
	Intervalle minimum entre les applications : 14 jours.							
00810008 Manguier*Trt Part.Aer.*Cécidomyies des fleurs	1,9 L/ha	2/an	jusqu'au stade BBCH 59	F (BBCH 59)	5	-	-	-
	Intervalle minimum entre les applications : 21 jours. 2 applications par an et par culture pour contrôler l'ensemble des ravageurs.							
00810013 Manguier*Trt Part.Aer.*Cochenilles	1,9 L/ha	2/an	jusqu'au stade BBCH 59	F (BBCH 59)	5	-	-	-
	Intervalle minimum entre les applications : 21 jours. 2 applications par an et par culture pour contrôler l'ensemble des ravageurs.							

Annexe 10 : Synthèse des entretiens

Généralités (Informations transmises par beaucoup d'acteurs)	Particularités (Informations transmises par certains acteurs ou groupes d'acteurs)
Phase exploratoire/ découverte de la filière	
<p>Origine des produits consommés : La consommation de fruits et légumes à La Réunion représente 120 000 tonnes dont 100 000 t produites et 20 000 t importées</p> <p>Concernant seulement les productions fruitières : 40 000 t de fruits produits, 25 000 t importées, 10 000 t exportées.</p> <p>Difficile de parler de filière car l'offre est très dispersée (propre aux habitudes de consommation locale) : contrairement à la métropole 75 % de marché forain et détaillant et uniquement 25% GMS.</p> <p>L'importation est faite pour compléter l'offre : Ça permet d'étoffer la gamme et de répondre aux besoins des clients. Il y a peu d'impacts sur la production locale car les produits importés (e.g. pomme, poire, kiwi) sont des cultures tempérées qui ne peuvent pas être produites sur l'île.</p>	<p>Sur les 100 000 t produites : 20 000 t sont issues de coopératives ou OP (9), le reste (80 000 tonnes) est le fait d'individuels.</p> <p>=> qui vendent « au carreau », qui livrent, ou qui vendent au « min », i.e. « au black » (responsable commercial, directeur de coopérative, comm. pers., 2017).</p> <p>Les seuls produits qui sont en concurrence directe sont : l'oignon, la pomme de terre, l'ail et la carotte (directeur de coopérative, comm. pers., 2017).</p>
<p>Evolution de la demande : Il y a une demande locale et à l'export qui s'agrandit. Depuis deux ans, en plus de l'exportation de mangue floridienne (Cogshall) et thaïlandaise (Nam Doc Mai), un marché (de niche) s'ouvre pour la mangue José. Sur le marché local afin de répondre à la demande supérieure à l'offre des hectares de vergers de manguiers sont plantés pour assurer une plus grande offre et la diversifier.</p> <p>L'export : est essentiellement dirigé vers le marché français (Rungis), quelques marchés s'ouvrent sur les Seychelles et Maurice.</p>	<p>Saisonnalité de la mangue et demande croissante en bio :</p> <p>La population réunionnaise attend la saison de la mangue pour en consommer. Marché local demandeur et production à caractère très saisonnier.</p> <p>Aujourd'hui il y a une vraie demande de consommation en produits bio que les coopératives n'arrivent pas à satisfaire (directeur de coopérative, comm. pers., 2017).</p>
<p>Marché vs production : La mangue contrairement à l'ananas et la banane est une production saisonnière.</p> <p>Ce qui est ressorti, c'est que les agriculteurs ou formateurs voulaient diversifier leur verger pour répondre aux attentes du marché. La mangue a une dynamique et de nouvelles variétés ont été introduites pour diversifier l'offre et satisfaire la demande.</p>	<p>Marché saisonnier : L'ananas et la banane sont des productions présentes toute l'année mais lorsque la mangue arrive sur le marché on voit la demande des autres productions diminuer. Chaque produit a sa place sur le marché.</p>
<p>Fourchette de prix de vente : Les premières mangues sur le marché sont souvent vendues plus cher car c'est la rareté qui fait le prix surtout en début de saison.</p> <p>Les prix ne sont pas forcément en lien avec le prix de revient de la Mangue.</p> <p>En temps normal :</p> <p>2 € => Consommateur</p> <p>1,2 € / 1,3€ => Producteur</p>	<p>La mangue cette année, est très en retard, en novembre il y en a très peu sur les étals. Elle sera vendue autour de 4-5€ en pleine saison pour l'instant c'est 8€-12 € en octobre / novembre 2017 (directeur commercial, bazarier, comm. pers., 2017).</p> <p>En général les mangues arrivent mi-octobre, elles avoisinent les 14€/ kg puis en novembre on arrive à 10€/kg, après le prix descend très vite jusqu'à 5€/kg. Puis en janvier, le prix s'effondre très rapidement pour arriver à 3€/kg voire jusqu'à 1,50€/kg. C'est dû</p>

<p>L'évolution des prix est en fonction de la période car c'est le taux de production qui va fixer le prix.</p>	<p>au fait que la partie Ouest de l'île poursuit sa production quand la partie Sud commence la sienne. A ce moment-là, il y a tellement de mangues que le prix chute d'un coup (technicien Chambre d'Agriculture, comm. pers., 2017).</p>
<p>Volet historique : La mangue est une culture importante, presque une valeur patrimoniale, beaucoup de réunionnais ont un manguier dans le jardin. José est la mangue historique et locale alors que les mangues américaines ont été introduites dans les années 70/90 idéales pour l'export. Récemment la mangue José commence à s'exporter.</p>	
<p>Culture fruitière importante : l'importante zone de production est située à Saint Gilles « Grand Fond », depuis une 30^{aine} d'années cette zone s'est intensifiée.</p>	
<p>Typologie des producteurs : Il existe environ une centaine de producteurs de mangues Il y a principalement deux types de producteurs de mangues :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arboriculteur spécifique : que de la mangue, gros producteurs Exploitation diversifiée : mangue parmi d'autres cultures souvent petits producteurs <p>Exemple d'OP : L'association des vergers de l'Ouest (AVO) : Cette organisation de producteurs regroupe une quinzaine d'adhérents pour une surface de 200ha (i.e. la moitié des surfaces de mangues sur l'île). Chaque producteur commercialise l'ensemble de sa production via l'OP. Les débouchés sont essentiellement vers la grande distribution (GMS), un peu d'export. La production les années normales est aux alentours 10-15t/jours. C'est une OP spécialisée en mangue qui fait un peu de fruits de la passion.</p>	
<p>Articulation du marché : Il y a trois grands types d'organisations pour les débouchés : OP, coopératives et vente aux bazardiers (technicien Chambre d'Agriculture et directeur coopérative, comm. pers., 2017).</p> <p>Les « gros » producteurs se mettent en association (e.g AVO) ensemble ils font du volume, qui leur permet de maintenir les prix. Leur commerce est dédié aux GMS, pas trop d'export. En face il y a des coopératives (SCA Fruit, VIVEA et LM) où adhèrent différents types de producteurs. Leurs clients sont principalement, l'export, les bazardiers et les GMS.</p> <p>Le fait d'être organisé et d'avoir du volume (e.g. AVO) assure de ne pas subir la pression des bazardiers. Les bazardiers créent leurs propres réseaux de producteurs de mangues. Le même bazardier va passer chez plusieurs agriculteurs, en leur disant qu'il leur achète « les mangues aux pieds », sans frais de récolte. Ils paient moins cher du coup. Ça ne pose pas de soucis aux agriculteurs puisqu'ils n'ont pas à ramasser leur récolte. Mais souvent les bazardiers font baisser les prix plus rapidement que des coopératives qui assurent des garantis de prix plu stables.</p>	
<p>Echange technique propre au contexte de production de 2017</p>	
<p>La production de 2017, une production atypique : A La Réunion, la production oscille entre 1800 à 3 500 t/an. Une année classique c'est plutôt 2 000 à 2 500 tonnes.</p>	<p>La production 2017 est de 900 t alors que les meilleures années c'est 3300 t produites dont 100 partent à l'export (responsable commercial et directeur de coopérative, comm. pers., 2017). « Cette année c'est catastrophique pour la production de mangue Cogshall » (Agriculteurs dans le Sud et Agriculteurs dans la zone de La Possession).</p>
<p>La floraison 2017 du manguier : Généralement plus le verger est âgé, plus la différence entre les arbres est importante Trois vagues de floraisons étalées. Taux de floraison très faibles dans les zones de production au Sud et au Nord, seule la zone de Grand Fond a eu une floraison correcte.</p> <p>Causes possibles expliquant la floraison atypique de 2017 : A cause de l'hiver 2017 « il y a eu beaucoup de pluie. Tant que l'arbre a de l'eau il ne produit pas. »</p>	<p>« Sur l'ensemble des vergers il n'y a peut-être que 30% des manguiers de Cogshall qui ont fleuri » (technicien Chambre d'Agriculture, comm. pers., 2017).</p> <p>Dans le Sud : la première vague de floraison n'a pas été très importante et n'a pas tenu. La seconde était correcte mais n'a pas beaucoup tenu. Seule la troisième vague a donné quelques fruits qui ont tenu jusqu'à la nouaison (technicienne coopérative).</p>

<p>Cette année, tout le monde dit qu'il y aura peu de fruits. Manque de froid, températures hivernales hautes, surtout les minimales. Pluies importantes en Juillet. Dans l'ouest la floraison est toujours plus précoce, les sols sont moins profonds (40 à 70 cm de sols puis c'est la roche-mère), climat plus sec. Ça joue beaucoup sur le développement végétatif et aussi sur la floraison.</p>	<p>A Cap la Houssaye, la floraison a été correcte mais pas à l'optimal selon les agriculteurs de cette zone : « Par rapport aux années précédentes, le rendement est de 70 % dans l'Ouest mais dans le Sud, c'est désastreux : 10 % » (Agriculteurs de Grand Fond, comm. pers., 2017).</p> <p>La vision des producteurs à côté du Lycée est : « la floraison est un véritable désastre en 2017 sur toute l'île excepté sur la zone de Grand Fond »</p> <p>Selon certains experts il est difficile d'établir un lien direct entre le climat et les ravageurs (chercheur UR HortSys, comm. pers., 2017).</p>
<p><u>Les pressions parasitaires de la floraison 2017 :</u> Dépend de la zone de production, cette année c'était Oïdium > Punaise > Cécidomyies des fleurs</p> <p>Il semble y avoir une relation entre l'oïdium et la punaise : la gestion de l'oïdium semble gérer également la punaise.</p> <p>La floraison a été meilleure sur la mangue José que Cogshall (souvent décrite comme catastrophique pour 2017 excepté sur la zone de Grand Fond) donc parallèlement la cécidomyie des fleurs a plus été dommageable cette année sur les fleurs de José (dans le Sud) bien qu'elle ait été également dommageable dans l'Ouest.</p> <p><u>La punaise :</u> pour certains (chercheurs) ce n'est pas un problème en soi alors que pour les agriculteurs certains passés à l'adoption de pratiques plus respectueuses de l'environnement se sentent obligés d'intervenir avec un traitement chimique s'il y a de la punaise (Agriculteurs, comm. pers., 2017) ils pensent qu'il faudrait faire des travaux de recherche là-dessus.</p> <p><u>Taille/Irrigation vs Longicorne :</u> De plus en plus d'acteurs de la filière recensent le longicorne comme un ravageur qui devient problématique ces derniers temps (sur vieux vergers et sur arbres ayant subi un stress hydrique et plus sur Cogshall que José). La taille peut être un levier de contrôle de ce ravageur. Sinon la solution curative est de brûler l'arbre infesté pour éviter la prolifération de l'insecte dans le verger.</p>	<p>La punaise, pour certains experts n'est pas un ravageur majeur du manguier puisqu'on la retrouve sur différents types de fleurs (chercheur UR PVBMT, comm. pers., 2017). Ce ravageur polyphage généraliste n'est pas inféodé au manguier contrairement à la cécidomyie.</p> <p>C'est étonnant puisque normalement c'est dans l'Ouest qu'on rencontre des problèmes de cécidomyie et dans le Sud les problèmes avec l'oïdium car c'est une zone plus humide.</p> <p>Pour certains agriculteurs le longicorne est devenu un problème (aujourd'hui) avec la baisse de l'utilisation d'insecticides ce qui a contribué à son développement. Il aimerait que les modes de lutte soient globaux pour éviter la prolifération de l'insecte (Agriculteurs, comm. pers., 2017).</p>
<p>Echanges techniques sur les pratiques culturelles des producteurs (en général)</p>	
<p><u>Pratiques culturelles adoptées par les producteurs :</u> Elles dépendent de leur vision de conduite du système agricole.</p> <p>L'impact d'une nouvelle pratique sur les travaux culturels est adopté ou non en fonction de l'évaluation qu'en fait l'agriculteur sur son exploitation. De façon générale les producteurs arrivent de plus en plus à maîtriser tout l'itinéraire technique du manguier (les phytosanitaires, l'irrigation, la gestion de la taille ou encore l'enherbement).</p> <p>Exemple de pratiques : la taille, l'irrigation, et la régulation des bio agresseurs (par l'enherbement) :</p>	<p>Adoption de la pratique s'il y a plus d'avantages que d'inconvénients (chercheur et technicienne UR HortSys).</p> <p>Exemple : l'irrigation c'est un coût mais la gestion de l'irrigation est très importante en culture de manguier (si elle est mal gérée, la production peut être condamnée).</p>

<ul style="list-style-type: none"> • L'importance de la taille : la taille est importante par rapport au mode de déplacement des insectes volants dans l'arbre. Il est préconisé d'effectuer une taille à étage, aérée au centre. Cette méthode de taille permet d'une part une meilleure pénétration et circulation des éléments au sein de l'arbre (eau, lumière, air, traitements phytosanitaires), une meilleure homogénéisation de la charge en fruits à l'échelle de l'arbre et une facilitation de récolte et d'autre part limite le déplacement des insectes (rendue plus facile en confinement). Une taille à étage bien réalisée permet un éclaircissage des fruits qui se fait naturellement sur manguier et agrumes alors que sur pêcher c'est souvent l'œuvre de la main de l'homme. <p>Beaucoup d'arbres en arboriculture comme le pêcher sont taillés drastiquement après récolte pour redémarrer en flush l'année suivante (bois dur pour la floraison).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le stress hydrique : en fonction de la zone de production, ça favorise ou pas l'induction de la floraison chez le manguier. Il est nécessaire de bien savoir quel est le moment opportun de mettre en place l'irrigation par rapport à la floraison. La pseudo dormance connue chez le manguier joue sur l'UC et sa nature de débourrement (végétatif ou florifère). • La floraison : le plus important sur manguier est l'encadrement de la floraison afin d'avoir une bonne récolte 	<p>L'utilisation des pesticides a très fortement diminué en vergers de manguier par rapport aux années 2000 en raison de deux facteurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réglementation très restrictive sur manguier (homologation d'un produit (karaté zeon) contre la punaise. - Changement de vision des agriculteurs, plus de formation et d'accompagnement en termes de qualité de conseils de la part des techniciens. <p>« Dans l'OP AVO on tente de diminuer les traitements, autrefois certains utilisaient plus de 50 traitements systématiques alors que maintenant c'est 2 ou 3 maximum suivant les résultats de battage ou d'observation » (Agriculteurs d'AVO, comm. pers., 2017).</p>
<p><u>Evolution des pratiques agricoles/Transition au niveau des pratiques de production</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Évolution de la taille de l'arbre car elle est déterminante pour la floraison suivante. Autrefois la taille était réalisée après la récolte, maintenant on évite de trop tailler après la récolte. On taille quand apparaissent les premières fleurs. Ça stresse l'arbre et il y a beaucoup plus de fleurs. En plus une taille sévère fait apparaître des pressions biotiques comme le longicorne : coléoptère du tronc. • Diminution de l'utilisation des pesticides (herbicides et insecticides surtout) certains ont observés que l'arrêt de lutte chimique curative par l'utilisation de pièges (piégeage de masse, piège à phéromone) et le maintien d'un couvert haut et dense permettait de diminuer les pressions biotiques. Mais la gestion de l'enherbement est à réfléchir. <ul style="list-style-type: none"> ○ Préférer un enherbement spontané maîtrisé avec la plus grande diversité d'espèces possibles tout en intervenant au bon moment dans sa gestion pour concorder avec les périodes sensibles face aux bioagresseurs. 	<p>Selon les experts l'exemple le plus flagrant c'est le fait que beaucoup d'agriculteurs ont arrêté le désherbage chimique (moins d'herbicides). Ils réfléchissent davantage sur l'utilisation des produits phytosanitaires.</p> <p>Ce propos est confirmé également par les producteurs rencontrés : « on est passé à l'enherbement, et plus de 50% des agriculteurs ont adopté cette pratique »</p> <p>« Dans les vergers de Cogshall la mise en place d'un couvert enherbé peut être plus difficile à cause de la chute des feuilles qui empêchent la couverture de se développer. »</p> <p>« Je veux renouveler mon vieux verger de Cogshall et combiner sur mes vergers un sol nu « propre » sous la frondaison des arbres et laisser un enherbement sur l'inter-rang ». (Agriculteur, comm. pers., 2017).</p>
<p><u>Une différence de conduite des vergers entre José et Cogshall :</u> Les rendements sont plus importants sur la variété américaine, mais une meilleure technicité est nécessaire parce qu'il n'y qu'une vague de floraison. Donc les agriculteurs n'ont pas le droit de rater la vague alors que pour la mangue José il peut y avoir deux ou trois vagues de floraison.</p>	<p>La mangue José est plus adaptée en plaine et sur des zones sèches. La mangue Cogshall se comporte bien en altitude et sur des zone plus « humides » (e.g. Sud, Nord-Ouest) (Agriculteurs, comm. pers., 2017).</p>

<p>Ceux qui visent l'américaine cherchent des rendements plus élevés et ils prennent moins de risques (l'encadrement et la surveillance de la floraison sont très importants car il peut y avoir des pertes de production en cas d'attaque de cécidomyie ou autre)</p>	
<p>Les changements de pratiques en lien avec le climat : Les producteurs font très attention au climat car en plus de pressions biotiques, un coup de vent ou un cyclone peut anéantir au même titre qu'un ravageur la production d'une année. Certaines variétés sont plus fragiles que d'autres (e.g. Heidi est très fragile). Le changement climatique pousserait les producteurs à planter des vergers de mangues dans l'Ouest car le temps y est plus sec. Pour s'adapter à la contrainte climatique de plus en plus présente, les producteurs changent leurs productions. L'impact du climat peut donc être déterminant.</p>	<p>Par exemple dans le sud, s'il pleut trop pendant la floraison il y a de l'oïdium (la panicule des fleurs sèche). Dans le Sud, il y a aussi les vents australs, le vent et la chaleur brûlent les fleurs, donc pas de production. Ce fut le cas pour la floraison de 2017.</p> <p>Développer l'irrigation pour faire face aux périodes de sécheresse : Certains se sont équipés en système d'irrigation (goutte à goutte, localisée au tronc) car les périodes de sécheresse sont de plus en plus importantes (technicien et chercheurs, comm. pers., 2017).</p>
<p>Diversification de la production : Extension des surfaces (de 300 ha en 2010 à environ 450ha aujourd'hui) et diversification des espèces : Il y a 7 ans c'était un paysage binaire, José 70 % et Cogshall 30 %. Aujourd'hui il y a une plus grande diversité grâce à des essais variétaux (7-8 variétés) étudiées à l'UR HortSys qui soutiennent la diversité. Ça permet aux producteurs d'aiguiser leurs besoins. (Précocité, variétés tardives etc.) Diversifier la production dans les vergers est un souhait émanant des producteurs et formateurs (plusieurs variétés dans le même verger) tout en cherchant les cultivars qui ont le meilleur rendement et une production précoce. Exemple : adoption de nouvelles variétés comme la mangue thaïlandaise (Nam Doc Mai) très appréciée des consommateurs locaux et intéressante pour l'export. En plus comme la Cogshall, elle a une production précoce lui permettant d'arriver sur le marché quand les prix sont encore élevés. Mise en production depuis 7/8 ans, elle est présente sur le marché de la mangue depuis 4 ans.</p>	<p>Il a été constaté que dans l'Ouest de nouveaux vergers sont plantés car la demande reste supérieure à l'offre (technicien coopérative, comm. pers., 2017). C'est une zone historique de production qui s'est beaucoup intensifiée sur les 30 dernières années, quant au Sud il n'a jamais été une zone très productrice. Il n'y a que des petits producteurs qui ont des systèmes diversifiés.</p>
<p>L'adoption de l'enherbement : L'enherbement est une technique qui a été beaucoup adoptée par les producteurs de mangues, cette pratique permet de limiter les herbicides, la gestion des auxiliaires, et du coup gérer la cécidomyie des fleurs. Certains agriculteurs observent que depuis qu'il y a un couvert dense sous la frondaison des arbres, il y a peu de problèmes avec la cécidomyie. Les agriculteurs qui adoptent l'enherbement font un lien entre le couvert et deux choses :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La réduction de dégâts de bio agresseurs - La présence d'ennemis naturels plus importante (e.g. contre les trips, les mouches des fruits, la cécidomyie) <p>Gestion de l'enherbement : La mise en place de couverts végétaux ou de bande fleurie est intéressante si</p>	<p>L'adoption de l'enherbement dépend du terrain, ce couvert semble peu adapté sur sols caillouteux et en plus ce type de sol limite la poussée des adventices et donc demande peu ou pas de désherbage chimique. « Depuis qu'on a mis en place des couvertures dans nos vergers on n'utilise plus d'herbicide et on a moins de problème de cécidomyie. Sur fleur et sur feuille » (Agriculteur, comm. pers., 2017). Or, certains disent qu'un enherbement ne suffit pas à contrôler les bioagresseurs, il faut le coupler à d'autres pratiques comme les piégeages ou le paillage synthétique car l'adoption de pratiques agroécologiques nécessite une reconception de l'agrosystème.</p>

<p>la gestion de l'enherbement coïncide avec le cycle des ravageurs (cécidomyies, mouches des fruits).</p> <p>Certains débroussaillent mécaniquement dès que la floraison est passée pour faciliter la récolte. D'autres maintiennent un couvert moins haut mais toute l'année sans intervenir.</p>	<p>Suivant l'observation : « Dès la première attaque de punaise ou de cécidomyie on laisse l'herbe pousser puis on débroussaille pour la récolte pour pouvoir ramasser les fruits piqués ».</p> <p>Quelle vision à long terme ? « A long terme, la problématique c'est l'entretien de l'enherbement. Avec la débroussailleuse c'est long » (Agriculteurs pratiquant l'enherbement depuis quelques années, comm. pers., 2017).</p>
<p>Vision de l'étude 2017, les premiers résultats et perspectives pour l'étude 2018</p>	
<p><u>La vision des agriculteurs sur les techniques innovantes :</u> La vision des producteurs sur les techniques qu'ils mettent en œuvre ou qu'ils pourraient mettre en œuvre dépend des conditions pédoclimatiques et aussi de leurs visions des modes et stratégie de production. Une innovation ne va pas forcément convenir à un producteur mais peut convenir à un panel. Exemple du paillage : Faire un travail de compréhension : quelle innovation pour quel producteur ?</p> <p>Pour identifier les besoins des producteurs on peut établir une modélisation.</p>	<p>Les stratégies sont à la fois sous l'influence du pédoclimatique, où se situe l'exploitation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gros producteur au Nord-Ouest) : sa stratégie est orientée pour la précocité (Cogshall). Précocité qui amène à une rémunération plus intéressante et permet d'éviter les cyclones « la cécidomyie n'est pas mon problème principal » • Petit producteur au Sud, variété locale, José, précipitations, permet beaucoup moins de jouer sur la précocité, plusieurs floraisons, donc elle ne vise pas du tout la précocité. Elle va plutôt apprécier d'étaler sa production dans le temps.
<p><u>Avis mitigés pour le paillage synthétique :</u> émanant de différents acteurs de la filière, le paillage n'est peut-être pas la meilleure solution (technicien Chambre d'Agriculture, coopérative, certains agriculteurs), parce que ce n'est pas une technique écologique, sa mise en place n'est pas simple (coût, temps, main d'œuvre) alors que l'adoption du couvert végétal est plus facile et des agriculteurs l'ont déjà adopté.</p> <p><u>Ce qui peut poser problème pour l'adoption du paillage</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Le niveau d'investissement ; - La main d'œuvre ; - La priorisation du producteur sur les problèmes phytosanitaires et donc une sensibilisation à ces pratiques limitée. <p>(technicien Chambre d'Agriculture, chercheurs et techniciens Cirad, comm. pers., 2017).</p> <p>Difficile si c'est un paillage synthétique avec une « toile lourde ». Difficile pour les petits producteurs, orienter plus vers des producteurs qui n'ont pas une grosse sensibilité environnementale.</p>	<p>Ce n'est pas parce que le besoin n'est pas présent aujourd'hui qu'il ne sera pas présent d'ici quelques années mais les producteurs auront un regard critique sur ce qu'on va leur proposer (technicien Chambre d'Agriculture et technicien coopérative, comm. pers., 2017).</p> <p>Avec le paillage synthétique on montre qu'une barrière physique fonctionne, après il faut trouver une autre solution à coupler avec pour plaire aux producteurs. (Hormis le fait que ça rompe le cycle, ça augmente la prédation, donc toutes les larves qui tombent, grillent, meurent, ou autre. La seule source d'infestation serait par les autres populations qui viennent)</p> <p><u>Donc ça doit être fait sur un verger isolé.</u></p> <p>Si un producteur décide d'investir dans le bâchage, s'il décide d'investir juste sur une partie de la parcelle, pas sûr que ça serve à grand-chose, parce qu'il y a toujours le risque que d'autres populations arrivent. Ça peut être une limite, par contre ça annule le risque de réinfestation mais pas le risque de première infestation (chercheur UR HortSys, comm. pers., 2017).</p> <p><u>Certains agriculteurs pourraient l'envisager dans leurs pratiques :</u> Pour les agriculteurs rencontrés si certains sont partisans de l'enherbement d'autres souhaitent que leurs vergers restent « propres » sous la frondaison des arbres et « à la limite » pourquoi pas laisser un enherbement sur l'inter-rang. Ils veulent un sol nu sous la canopée afin de faciliter le ramassage des fruits avortés avant et pendant la récolte (Agriculteurs, comm. pers., 2017).</p>

<p>Un couvert végétal spontané ou implanté ? L'importance est d'avoir un couvert végétal diversifié, et dense si possible toute l'année (chercheurs, agriculteurs, techniciens, comm. pers., 2017). Des espèces végétales intéressantes à mettre en place sont (technicienne Cirad, comm. pers., 2017) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Desmanthus virgatus</i> (petit mimosa) ➤ <i>Melochia pyramidata</i> (herbe dure) ➤ <i>Sida acuta</i> (sida aigu, herbe dure) ➤ <i>Malvastrum coromandelianum</i> 	<p>Le point de vue de certains agriculteurs sur les couverts : Les agriculteurs dans leurs pratiques ne voient pas forcément les couverts d'un bon œil. Ils sont souvent contre l'introduction (Agriculteurs et techniciens, comm. pers., 2017) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - De Poacée qui se développent rapidement et qui peuvent devenir des plantes hautes et envahissantes (<i>Panicum maximum</i>, <i>Sorghum</i>, <i>Chloris barbata</i>...) ; - D'espèces lianescentes qui parfois grimpent sur les arbres fruitiers et peuvent les étouffer (<i>Ipomea obscura</i>, <i>Coccinia grandis</i>) ; - D'espèces arbustives (<i>Leucaena leucocephala</i>, <i>Schinus terebinthifolius</i>, <i>Pithecellobium dulce</i>) qui en soi ne posent pas de problème en bordure de champs mais souvent la dissémination des graines par les oiseaux peut les ramener dans la parcelle.
	<p>Enherbement vs mouches des fruits : Beaucoup de plantes peuvent héberger des espèces de mouches des fruits et fournir des réservoirs de nourriture et des habitats en dehors des périodes de production fruitière. Les mouches des fruits sont attirées par les espèces végétales composant l'enherbement ou les bordures de parcelles (e.g. <i>Pithecellobium dulce</i>, <i>Coccinia grandis</i>, <i>Erethia cimosa</i>, <i>Momordica charantia</i>, <i>Sorghum nigrum</i>...). Informer les agriculteurs est important car même si cette ressource est anodine elle peut présenter un risque (technicien UR HortSys, comm. pers., 2017).</p>
	<p>La récolte prophylactique : Certains agriculteurs disent pratiquer la récolte prophylactique (sans donner de nom à leurs pratiques) pour limiter les infestations de mouches des fruits. Les agriculteurs qui disent appliquer ce genre de pratique sont souvent très soucieux de l'environnement dans leur verger, ils maîtrisent la gestion de l'enherbement depuis plusieurs années et ont très peu recours aux pesticides (1x/an contre punaise) (Agriculteurs, comm. pers., 2017).</p>
	<p>Perspectives sur l'enherbement : On cherche le bon compromis entre l'enherbement vivant dans l'interligne et assurer une bonne production de mangues. La conduite de la mangue a des spécificités qui font qu'on ne peut pas irriguer n'importe comment (e.g. corréler l'irrigation de l'enherbement avec celle du manguier car il y a un impact sur l'arbre). Actuellement des travaux de recherche s'intéressent aux différents systèmes d'irrigations par rapport à cet objectif de maintenir un enherbement sans impacter la floraison et la fructification (chercheur et techniciens UR HortSys, comm. pers., 2017).</p>
<p>Futurs essais chez des producteurs : Ils sont très demandeurs d'informations sur l'irrigation ou la taille par exemple. Certains disent que la punaise est un véritable souci qui les obligent à recourir encore aux insecticides alors que certains souhaitent s'en affranchir définitivement pour rétablir un équilibre dans leur système (Agriculteurs, comm. pers., 2017).</p>	

Table des annexes

Annexe 1 : Organigramme global du Cirad (Cirad, 2017)	96
Annexe 2 : Tables de composition nutritionnelle Ciqual 2016 (d'après Anses, 2017)	97
Annexe 3 : Production mondiale de la mangue en quelques chiffres (FAOSTATS, 2014, 2016, 2017)	98
Annexe 4 : Stades végétatifs du manguier (d'après DAMBREVILLE A., 2012)	99
Annexe 5 : Stades reproducteurs du manguier (d'après DAMBREVILLE A., 2012)	100
Annexe 6 : Caractérisation de l'enherbement et de l'entomofaune associée sur les couvertures de sol concernées	101
Annexe 7 : Entretiens auprès de la filière	103
Annexe 8 : Protocole expérimental	105
Annexe 9 : Modalité d'autorisation du Movento® (Anses, 2017) et toxicologie (BAYER, 2018).	108
Annexe 10 : Synthèse des entretiens	109

Ce mémoire a été réalisé dans le cadre du projet Ecoverger et du DPP Cosaq.

- Projet Ecoverger -

Action pilotée par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et le Ministère de la Transition écologique et solidaire, avec l'appui financier de l'Agence française pour la biodiversité dans le cadre de l'APR "Résistance et pesticides" grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto.



- DPP Cosaq -

Programme de recherche agronomique du Cirad (activités 2015-2018) financé par l'Union européenne (fond structurel FEDER) et le Conseil Régional de La Réunion

