



Mémoire de fin d'études

Évaluation du potentiel de leviers de gestion culturaux
dans la lutte contre la mouche des fruits *Bactrocera*
dorsalis (Hendel) sur manguier.



Verger de manguier Cogshall à La Réunion (Brunet-Lecomte, 2018)

BRUNET-LECOMTE, Constance Maeva Marie
Promotion 104

Stage effectué à Saint-Pierre, La Réunion
du 15/10/18 au 12/04/19
au sein de : CIRAD Réunion

Maître de stage : Ratnadass, Alain
Tuteur pédagogique : Bruez, Emilie

Résumé

En 2019, la production de mangue a toujours une part importante dans la culture et l'économie réunionnaises, malgré les pertes importantes causées par les ravageurs. Un des principaux nuisibles sur l'île est la mouche des fruits. En avril 2017, la mouche *Bactrocera dorsalis* a été détectée sur le territoire réunionnais, causant une série de questionnements sur son comportement, les risques liés à sa présence, et les solutions à mettre en place pour lutter contre ce potentiel fléau. Cette étude, menée au sein du CIRAD, a pour objectif d'évaluer le potentiel de différents leviers de gestion culturaux contre la mouche des fruits, qui sont: la mise en place de couvertures de sol, la récolte précoce, et l'élimination prophylactique des jeunes fruits. Malgré des tendances montrant que l'utilisation des couvertures de sol pourraient être bénéfique, il est nécessaire de combiner ces différentes techniques avec d'autres méthodes de lutte agroécologique, afin de minimiser les pertes au maximum.

Mots-clés : Agroécologie, couverture de sol, mangue, mouche des fruits, prophylaxie, ravageurs, récolte précoce, Ile de La Réunion.

Abstract

In 2019, mango production is still an important part of Reunion's culture and economy, despite massive losses due to pests. One of the main harmful insects on the island is the fruit fly. In April 2017, the fly *Bactrocera dorsalis* was detected on Reunion's territory, leading to different issues about its behavior, risks due to its presence and solutions to set up to fight that potential scourge. This study, conducted within CIRAD, aims to evaluate the potential of different crop management levers against fruit flies, which are: the use of soil covers, early harvesting, and prophylactic harvesting of young fruits. Despite trends showing that the use of land cover could be beneficial, it is necessary to combine these different techniques with other agroecological control methods in order to minimize losses as much as possible.

Key words: Agroecology, early harvest, fruit fly, mango, prophylaxis, pests, soil cover, synthetic mulching, Reunion Island.

Resumen

En el 2019, la producción de mango sigue siendo importante para la cultura y la economía de la isla de la Reunión, pesar de las importantes pérdidas causadas por las plagas. Una de las principales plagas que se pueden encontrar en la isla es la mosca de la fruta. En abril 2017, la mosca *Bactrocera dorsalis* ha sido detectada en el territorio reunitenses, causando una serie de cuestionamientos sobre su comportamiento, los riesgos relacionados con su presencia y las soluciones que deben establecerse para luchar en contra de este potencial flagelo. Este estudio, emprendido en el seno del CIRAD, tiene por objetivo la evaluación del alcance de los diferentes instrumentos de gestión del cultivo de mango en contra de la mosca de la fruta, los cuales son: el establecimiento de coberturas del suelo, la cosecha temprana, y la cosecha profiláctica de los frutos jóvenes. A pesar de que la tendencia muestra beneficios al uso de las coberturas de suelo, es necesario combinar estas diferentes técnicas con otros procedimientos de lucha agroecológica para minimizar las pérdidas.

Palabras claves : Agroecología, cobertura del suelo, cosecha temprana, mango, mosca de frutas, profilaxis, plagas, Isla de la Reunión.

TABLE DES MATIERES

Introduction	11
I- Contexte de l'étude	12
1- <i>Le CIRAD</i>	12
1-1 Histoire et organisation du CIRAD	12
1-2 Le CIRAD à la Réunion	13
2- <i>La Réunion</i>	14
2-1 Situation géographique et climatique	14
2-2 Contexte agricole	16
3- <i>Le Manguier</i>	16
3-1 Filière mangue dans le monde	16
3-2 Filière réunionnaise	17
3-3 Point agronomique	18
3-4 Itinéraire technique réunionnais	21
3-5 Ravageurs réunionnais	22
4- <i>La mouche des fruits Bactrocera dorsalis (Hendel)</i>	26
4-1 Caractéristiques	26
4-2 Moyens de lutte	28
5- <i>Problématique</i>	32
II- Matériels et méthodes	34
1- <i>Démarche générale</i>	34
1-1 Objectifs	34
1-2 Chronologie	34
2- <i>Essai 1 et 2 : infestation naturelle</i>	35
2-1 Dispositifs expérimentaux	35
2-2 Protocole expérimental des essais 1 et 2	41
3- <i>Essai 3 : Infestation artificielle</i>	45
3-1 Dispositif expérimental	45
3-2 Mesures et observations	47
3- <i>Analyse statistique</i>	49
III- Résultats	50
1- <i>Essai 1: Infestation naturelle avec couvertures de sol:</i>	50
1-1 Analyse descriptive	50
1-2 Analyse statistique	55
2- <i>Essai 2: Infestation naturelle sans couverture de sol:</i>	58
3- <i>Essai 3 : Infestation artificielle</i>	60
3-1 Analyse descriptive	61
3-2 Analyse statistique	66
IV- Discussion	69
1- <i>Rappel des résultats</i>	69
2- <i>Confrontation des résultats avec la bibliographie</i>	70

2-1 Couvertures de sol	70
2-2 Récolte précoce	70
2-3 Conclusion	72
<i>3- Limites et portée</i>	72
3-1 Essai 1	72
3-2 Essai 2	74
3-3 Essai 3	75
<i>4- Perspectives de recherche à venir</i>	76
<i>6- Applications concrètes possibles</i>	76
Conclusion générale	78
Bibliographie	79

Table des illustrations

FIGURE 1 : ORGANIGRAMME DU CIRAD (CIRAD, 2018)	13
FIGURE 2 : CARTE DES IMPLANTATIONS DU CIRAD À LA RÉUNION (CIRAD, 2018B)	13
FIGURE 3: CARTE DU RELIEF DE L'ÎLE DE LA RÉUNION (ACTUALITIX, 2019)	15
FIGURE 4: CARTE DES NORMALES SAISONNIÈRES DES PRINCIPALES COMMUNES DE LA RÉUNION (HABITER LA RÉUNION, 2018)	15
FIGURE 5: NIVEAUX DE PRODUCTION DES PRINCIPAUX PRODUCTEURS MONDIAUX DE MANGUE (FAO, 2019)	16
FIGURE 6 : SURFACES EN PRODUCTION FRUITIÈRE À LA RÉUNION.....	17
FIGURE 7: MANGUIER DU CULTIVAR COGSHALL (A) AVEC SES FEUILLES (B), SES INFLORESCENCES (C) ET SES FRUITS (D)	18
FIGURE 8: CYCLE PHÉNOLOGIQUE DU MANGUIER (AMOUROUX, ET AL., 2009)	19
FIGURE 9: DESCRIPTEURS DE LA MANGUE (AMOUROUX, ET AL., 2009)	21
FIGURE 10 : CALENDRIER D'ACTION DES RAVAGEURS DU MANGUIER À LA RÉUNION (AMOUROUX, ET AL., 2009).....	22
FIGURE 11 : CYCLE DE DÉVELOPPEMENT D'UNE MOUCHE DES FRUITS (OUEDRAOGO, 2011)	25
FIGURE 12: PHOTO DE LA MOUCHE DES FRUITS BACTROCERA DORSALIS (HENDEL) (C) A. FRANCK – CIRAD.....	26
FIGURE 13 : ÉVOLUTION DES CARACTÉRISTIQUES D'UN FRUIT EN FONCTION DE SA CROISSANCE ET DE SA MATURATION. (VINCENOT, ET AL., 2009).....	30
FIGURE 14: CYCLE DE DÉVELOPPEMENT DU PARASITOÏDE FOPIUS ARISANUS. D'APRÈS EKESI & BILLAH (2006).....	31
FIGURE 15 : SCHÉMA MÉTHODOLOGIQUE DE L'ÉTUDE	33
FIGURE 16 : SCHÉMA CHRONOLOGIQUE DU DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE.....	35
FIGURE 17 : SCHÉMA DE LA PARCELLE DU CPEA (SITE 1).....	36
FIGURE 18 : SCHÉMA DE LA PARCELLE DE CLAUDY ROBERT (SITE 2)	37
FIGURE 19 : COUVERTURE DE SOL EN POLYPROPYLENE TISSÉ AU CPEA (SITE 1) (AMÉLIE BRIANDY, 2018).....	38
FIGURE 20 : MANGUE VERTE SUR ENHERBEMENT RAS (C. BRUNET-LECOMTE, 2018).....	38
FIGURE 21: MODALITÉS "COUVERTURE DE SOL" ET "ENHERBEMENT RAS" AU CPEA (SITE 1) (CONSTANCE BRUNET-LECOMTE, 2018).....	39
FIGURE 22 : MODALITÉS "COUVERTURE DE SOL" ET "ENHERBEMENT RAS" CHEZ CLAUDY ROBERT (SITE 2) (CONSTANCE BRUNET-LECOMTE, 2018).....	39
FIGURE 23: ENHERBEMENT HAUT CHEZ C. ROBERT (AMÉLIE BRIANDY, 2018).....	39
FIGURE 24 : CATÉGORIES DE TRI DES ÉCHANTILLONS DE MANGUE SUR LA MODALITÉ ER DE L'ESSAI 1.....	42
FIGURE 25 : ECHELLE VISUELLE DE MATURITÉ DE LA MANGUE COGSHALL (CAILLAT, 2016).....	43
FIGURE 26 : PUPES ET MOUCHES RÉSULTANT DU TAMISAGE DU SABLE D'UN TEST D'INFESTATION. (C. BRUNET-LECOMTE, 2018)	44
FIGURE 27 : DISSECTION D'UNE MANGUE À LA FIN D'UN TEST D'INFESTATION (C. BRUNET-LECOMTE, 2018).....	44
FIGURE 28 : SCHÉMA DU DÉROULEMENT D'UN TEST D'INFESTATION POUR LES ESSAIS 1 ET 2.	45
FIGURE 29 : MANGUIER DONT LES FRUITS SONT ENSACHÉS (CONSTANCE BRUNET-LECOMTE, 2018)	46
FIGURE 30: SCHÉMA DU DÉROULEMENT DE L'EXPÉRIENCE D'INFESTATION ARTIFICIELLE (ESSAI 3)	48
FIGURE 31: DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE SAINT-PAUL SUR LA PÉRIODE DE JUIN À DÉCEMBRE 2018 (FRANCE, 2019)	51
FIGURE 32: MOYENNE DES TEMPÉRATURES AU SOL EN FONCTION DES TROIS DIFFÉRENTS TRAITEMENTS. (BRIANDY, 2019)	51
FIGURE 33: POURCENTAGE D'INFESTATION DES FRUITS AU SOL EN FONCTION DE LEUR DÉTÉRIORATION.....	54
FIGURE 34: POURCENTAGE D'INFESTATION EN FONCTION DU STADE DE MATURITÉ DES MANGUES RÉCOLTÉES SUR ARBRE..	55
FIGURE 35: ÉVOLUTION DE LA QUANTITÉ DE PUPES ET DE LARVES EN FONCTION DE LA DATE D'ÉCHANTILLONNAGE AINSI QUE DES TRAITEMENTS ET DE LA MATURITÉ DES FRUITS.....	56
FIGURE 36: POURCENTAGES D'INFESTATION EN FONCTION DU TYPE DE FRUIT.....	59
FIGURE 37: POURCENTAGE D'INFESTATION EN FONCTION DU STADE DE MATURITÉ DES MANGUES SUR L'ESSAI 3.	67
FIGURE 38: VARIABILITÉ À L'INTERCEPT ENTRE LES CAGES DES TROIS RÉPÉTITIONS.	68

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : DURÉE DES ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT D'UNE MOUCHE BACTROCERA DORSALIS (T°= 28°C) (EKESI, ET AL., 2006)	27
TABLEAU 2 : TAUX DE RECOUVREMENT ET POIDS EN MATIÈRE SÈCHE POUR L'ENHERBEMENT HAUT (EH) ET L'ENHERBEMENT RAS (ER) (BRIANDY, 2019)	40
TABLEAU 3 : PLANNING DE L'ESSAI 3.....	48
TABLEAU 4 : EFFECTIFS DES ÉCHANTILLONS DE L'ESSAI 1	52
TABLEAU 5: EFFECTIFS DES FRUITS ÉCHANTILLONNÉS DANS LE PREMIER ESSAI.....	55
TABLEAU 6 : RÉSULTAT D'ANOVA SUR UN MODÈLE BINOMIAL COMPORTANT LES FACTEURS TRAITEMENT, POSITION, ÉTAT ET POIDS DES FRUITS.....	57
TABLEAU 7 : RÉSULTAT D'ANOVA SUR UN MODÈLE BINOMIAL COMPORTANT LES FACTEURS TRAITEMENT, POSITION ET ÉTAT DES FRUITS.....	57
TABLEAU 8 : RÉSULTAT D'UN TEST DE FISHER SUR MODÈLE DE QUASIPoisson COMPORTANT LES FACTEURS TRAITEMENT, ÉTAT ET POIDS DES FRUITS.....	58
TABLEAU 9 : RÉSULTAT D'UN TEST DE FISHER SUR MODÈLE DE QUASIPoisson COMPORTANT LES FACTEURS TRAITEMENT ET ÉTAT, CONCERNANT UNIQUEMENT LES FRUITS AU SOL.	58
TABLEAU 10 : EFFECTIFS DE L'ÉCHANTILLONNAGE DE L'ESSAI EN CONDITIONS NATURELLES SANS COUVERTURES DE SOL ..	59
TABLEAU 11: RÉPARTITION DES STADES DE MATURITÉ DES MANGUES DE LA PREMIÈRE RÉPÉTITION DE L'INFESTATION ARTIFICIELLE.....	61
TABLEAU 12: RÉSULTATS DU TEST D'INFESTATION DES CAGES 1, 2, 3 ET 4 DE L'I1.....	61
TABLEAU 13: RÉSULTATS DU TEST D'INFESTATION DES CAGES 5 ET 8 DE L'I1.....	62
TABLEAU 14 : RÉPARTITION DES STADES DE MATURITÉ DES MANGUES DE LA DEUXIÈME RÉPÉTITION DE L'INFESTATION ARTIFICIELLE.....	63
TABLEAU 15: RÉSULTATS DU TEST D'INFESTATION DES CAGES 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11 ET 12 DE L'I2.....	64
TABLEAU 16 : RÉSULTATS DU TEST D'INFESTATION DE LA CAGE 8 DE L'I2.....	65
TABLEAU 17: RÉPARTITION DES STADES DE MATURITÉ DES MANGUES DE LA TROISIÈME RÉPÉTITION DE L'INFESTATION ARTIFICIELLE.....	65
TABLEAU 18: RÉSULTATS DU TEST D'INFESTATION DES CAGES 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11 ET 12 DE L'I3.....	65
TABLEAU 19: RÉSULTATS DU TEST D'INFESTATION DES CAGES 4, 6 ET 10 DE L'I3.....	66
TABLEAU 20: RÉSULTATS DU TEST DE FISHER SUR L'ESSAI 3.....	66
TABLEAU 21: TABLEAU DE COMPARAISON RÉSULTANT D'UN TEST DE TUKEY.....	68
TABLEAU 22: EFFECTIFS DES FRUITS POUR CHAQUE STADE, À CHAQUE RÉPÉTITION.	68
TABLEAU 23 : TAUX D'INFESTATION DES MANGUES EN FONCTION DU STADE DE MATURITÉ EN CONDITIONS NATURELLES. (PRETERRE, 2017)	71

Liste des abréviations et des sigles

ARMEFLHOR : Association Réunionnaise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière, Légumière et HORTicole
Bios : Systèmes biologiques (Département du Cirad)
CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
COSAQ : Co-conception de Systèmes Agro-alimentaires de Qualité (DPP du CIRAD)
CPEA : Centre de Production et d'Expérimentation Agricole
DPP : Dispositif de Programmation de la recherche en Partenariat
EH : Enherbement Haut
EPIC : Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial
ER : Enherbement Ras
ES : Environnements et Sociétés (Département du Cirad)
FARRE : Forum de l'Agriculture Raisonnée Respectueuse de l'Environnement
FDGDON : Fédération Départementale des Groupements de Défense contre les Organismes Nuisibles
FEDER : Fonds Européen de Développement Régional
FEADER : Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural
GAB : Groupement des Agriculteurs Biologiques
GLM: Modèle Linéaire Généralisé
HortSys : Fonctionnement agroécologique et performances des Systèmes de cultures Horticoles
Persyst : Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (Département du Cirad)
TS : Tapis de Sol
UMR : Unité Mixte de Recherche
UPR : Unité Propre de Recherche
VSC : Volontaire de Service Civique

Ce stage a été réalisé dans le cadre des projets COSAQ et Ecoverger, qui est une 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.

Avec la contribution de producteurs et des partenaires suivants :



Remerciements

Je remercie, tout d'abord, mon maître de stage Alain Ratnadass, pour son encadrement et pour l'apprentissage effectué à ses côtés.

Je remercie également l'ensemble de l'ISTOM, pour l'organisation et l'aide qu'ils m'ont prodigué, ainsi que ma tutrice Emilie Bruez pour ses suggestions avisées.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance envers le CIRAD, pour m'avoir accueillie en stage, et principalement tous les chercheurs, techniciens et thésards de la station de Bassin Plat, pour leur aide et leur gentillesse hors du commun.

Merci également à Sylvie Hospital pour son travail titanesque et à Rose-My Payet pour ses sages conseils.

Merci à l'équipe statistique du CIRAD, Frederic Chiroleu et Anna Doisy, pour la formation sur R et les analyses statistiques, ainsi qu'aux chercheurs Hélène Delatte et Jean-Philippe Deguine pour m'avoir poussée à la réflexion.

J'adresse ma reconnaissance au CPEA en la personne de Mylène Wilt, ainsi qu'à Claudy Robert qui m'ont tous les deux permis de mener à bien mes expérimentations sur leurs parcelles.

Je remercie sincèrement toutes les personnes qui ont pris part à ce mémoire, principalement Amélie Briandy, Marine Le Porho, Asma Chemlal, Gwenvaël Le Guicher et Camille Fillon Bernou.

Merci à mes collègues stagiaires et thésards, qui ont fait de ce stage une expérience extraordinaire, de par leur joie de vivre et leur soutien.

Special thanks to Celeste for her incredible help.

Merci à mes amis, qui malgré la distance ont toujours été présents.

Et pour finir, merci, à mes merveilleuses sœurs et surtout à mes parents, sans quoi rien n'aurait été possible, pour leur soutien indéfectible et leur amour inconditionnel.

Introduction

La mangue, fruit originaire de la région Indo-Birmane, est une des principales productions fruitières mondiales, avec plus de 33 millions de tonnes produites chaque année. C'est un fruit apprécié pour ses qualités gustatives et nutritionnelles, et qui constitue une ressource nutritive intéressante. A La Réunion, il s'agit d'un fruit ancré dans la culture et l'économie réunionnaise, qui concerne 383 exploitations pour une production s'élevant à 3000 tonnes par an.

Cependant, les producteurs de mangue font face à une forte pression sanitaire, et ont parfois recours à des produits phytosanitaires afin de contrer les ravageurs. Or ces produits, en plus d'être dangereux pour l'homme, ont un impact non négligeable sur l'environnement, tout en ayant une efficacité modérée.

C'est pourquoi la mission de l'unité HortSys du CIRAD, à travers le projet Ecophyto « Ecoverger », est 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. Une des voies d'amélioration est la protection agroécologique des vergers de manguiers réunionnais.

C'est dans ce contexte que s'ancore cette étude, dont l'objectif principal est de déterminer le potentiel de leviers culturels de gestion des mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) sur le manguier. Trois outils ont été choisis dans cette optique :

- ❖ l'utilisation de couvertures de sol dans le but de rompre le cycle de vie de la mouche,
- ❖ la mise en place d'une récolte précoce permettant d'éviter la période d'infestation,
- ❖ l'élaboration d'une démarche d'élimination prophylactique de fruits proches de l'abscission afin de réduire l'infestation.

Les objectifs secondaires de ce travail sont de fournir des informations sur :

- la composition spécifique des populations de mouches des fruits infestant les mangues ;
- les taux et niveaux d'infestation des fruits ;
- la nature et la prévalence du parasitisme des mouches par les parasitoïdes.

Pour ce faire, ce mémoire est divisé en plusieurs parties. La première pose le contexte réunionnais et permet de comprendre les enjeux de l'étude. Ensuite, une synthèse bibliographique sur la mouche des fruits et sur les moyens de lutte existants est présentée, permettant d'introduire la problématique de l'étude. Pour répondre à celle-ci, la partie Matériels et méthodes décrit les expérimentations réalisées, qui mènent à la présentation des résultats. Dans la dernière partie, nous discutons de ces résultats, et des perspectives qu'ils ouvrent en termes de recherches futures.

I- Contexte de l'étude

1- Le CIRAD

1-1 Histoire et organisation du CIRAD

Le Cirad, ou Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), dont l'objectif est de "bâtir une agriculture durable, adaptée aux changements climatiques, capable de nourrir 10 milliards d'êtres humains en 2050, tout en préservant l'environnement" (Cirad,2019). Basé à Montpellier, il est placé sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère des Affaires étrangères et européennes.

Sa création, en 1984, est issue du regroupement de neuf instituts de recherche agronomique, dont le but était à la fois la recherche spécialisée et la coopération technique et scientifique avec les pays producteurs. Ces associations sans but lucratif étaient l'IRHO (Institut de recherche pour les huiles et oléagineux), l'IRFA (Institut de recherche sur les fruits et agrumes), l'Irca (Institut de recherche sur le caoutchouc), l'IEMVT (Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux), le CTFT (Centre technique forestier tropical), l'Ircet (Institut de recherche du coton et des textiles exotiques), l'IFCC (Institut français du café, du cacao et autres plantes stimulantes), l'IRAT (Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières) et le CEEMAT (Centre d'études et d'expérimentation du machinisme agricole tropical),

D'abord rassemblés en 1958 en tant que Comité de liaison des organismes de recherches agricoles spécialisés outre-mer, ces instituts furent réunis en 1970 pour former le Groupement d'étude et de recherche pour le développement de l'agronomie tropicale (Gerdat) qui précéda le Cirad.

A la suite de nombreux remaniements, le Cirad atteint son organisation actuelle, comprenant trois départements scientifiques, qui sont Bios (Systèmes biologiques), Persyst (Performances des systèmes de production) et ES (Environnement et Sociétés). Ceux-ci regroupent en leur sein 33 Unités de recherches comprenant plus de 1650 employés dont 800 chercheurs, dont le travail suit les axes suivants:

- la sécurité alimentaire,
- l'agro-écologie,
- l'agriculture familiale,
- les territoires vivants,
- le changement climatique et l'agriculture,
- la biodiversité et le développement.

Ces unités de recherche (UR) peuvent être propres au Cirad (UPR) ou mixtes, i.e. communes à un ou plusieurs établissements de recherche et au minimum un établissement d'enseignement supérieur (UMR).

Le Cirad est implanté dans le monde entier à travers 13 directions régionales situées en Afrique (orientale, centrale, de l'Ouest, australe et Madagascar), Asie (du Sud Est continentale, du Sud-Est insulaire), Amérique latine et centrale, France métropolitaine (Ile-de-France, Occitanie) et DROM (Antilles-Guyane et Réunion-Mayotte). Ce déploiement permet à l'institut d'intervenir dans plus d'une centaine de pays.

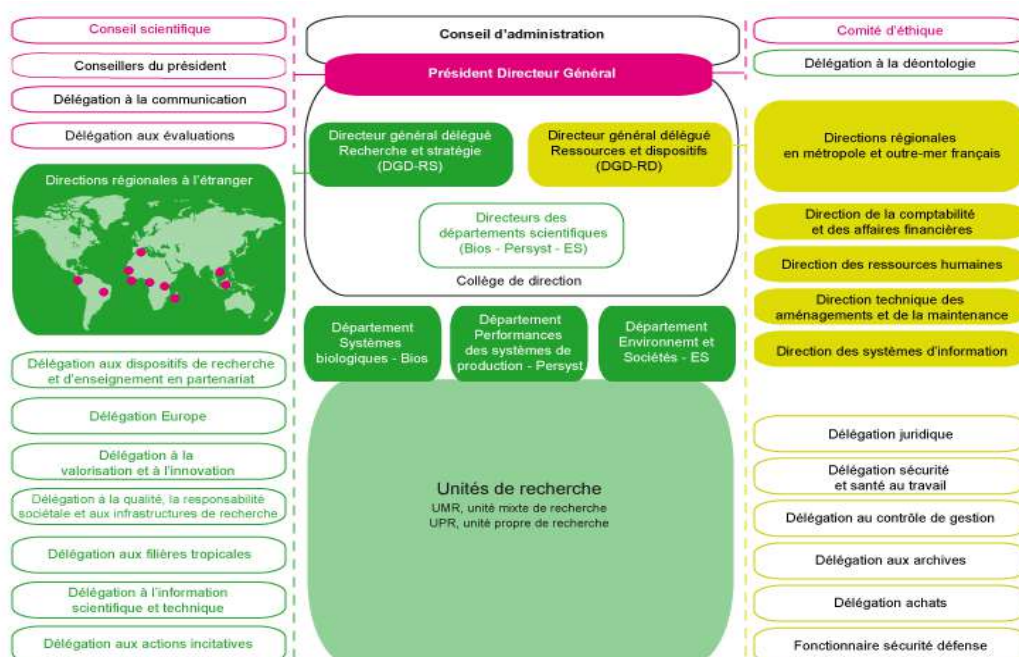


Figure 1 : Organigramme du CIRAD (CIRAD, 2018)

1-2 Le CIRAD à la Réunion

L'antenne CIRAD à la Réunion fait partie de la direction régionale "Réunion Mayotte". Celle-ci comporte 180 salariés permanents, dont 55 chercheurs, 125 techniciens et employés basés à la Réunion, plus un chercheur à Mayotte ainsi que des stagiaires et des VSC.

A la Réunion, le CIRAD est présent à travers trois principales stations expérimentales: La Bretagne (Saint Denis), Bassin Plat et Ligne Paradis (commune de Saint Pierre). L'organisme possède également 35 hectares de terrains d'expérimentation sur l'ensemble de l'île (Figure 2).

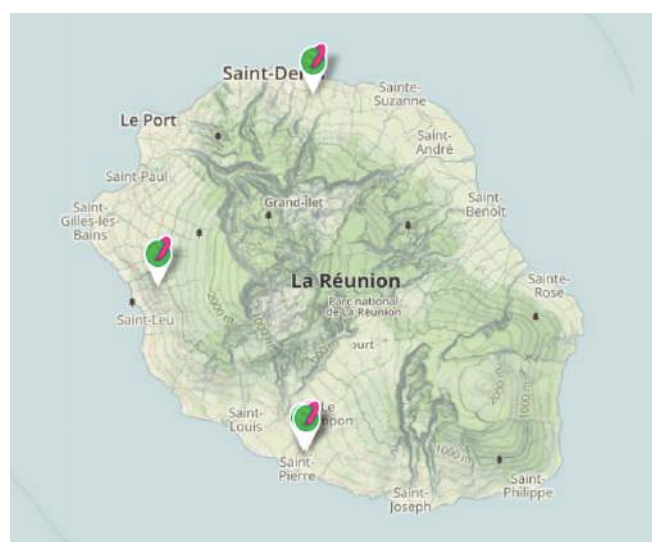


Figure 2 : Carte des implantations du CIRAD à La Réunion (CIRAD, 2018b)

Les recherches sont programmées et financées pour six ans, de 2015 à 2020. Le budget est apporté à presque 60 % par le Cirad et l'Etat, 20 % par l'Union Européenne (Feader, Feder) et plus de 20 % par la Région Réunion.

Le travail de l'antenne est ordonné en quatre dispositifs de programmation de la recherche en partenariat (DPPs), dont le dispositif CO-construction de Systèmes Agroalimentaires de Qualité (Cosaq). Ce DDP comporte deux objectifs: Cosaq 1 qui s'intéresse aux bases biologiques et techniques pour la co-conception de systèmes agroalimentaires de qualité, et Cosaq 2 qui étudie les bases agroéconomiques de la conception de systèmes agro-alimentaires et de modes de valorisation innovants. Cosaq regroupe cinq unités de recherche, dont l'UPR « Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles » (HortSys) au sein de laquelle j'effectue mon stage.

Cette UPR est rattachée au département scientifique Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (Persyst). HortSys travaille sur la conception des "principes de l'agroécologie des systèmes horticoles tropicaux afin d'élaborer des systèmes de culture durables". Ces recherches sont réalisées tant en France métropolitaine que dans les DOMs (Martinique, Mayotte et Réunion, ainsi qu'en Côte d'Ivoire, au Kenya, à Madagascar, au Sénégal et en Tanzanie (CIRAD, 2018).

Ce mémoire s'inscrit dans la continuité de différents stages. Ceux d'Aude Caillat et d'Anne-Laure Preterre ont été réalisés respectivement en 2016 et 2017, sous le tutorat d'Isabelle Grechi et Alain Ratnadass. Un des objectifs de ces deux stages a été d'évaluer le niveau d'infestation des mangues par les mouches des fruits en fonction de leur stade de maturité. La mouche qui était alors majoritaire sur mangue était *Bactrocera zonata*.

En 2017-2018, Lucie Brustel a effectué un stage de fin d'études sur l'évaluation de l'effet des pratiques culturales (couvertures de sol et élimination prophylactique précoce) en vergers de manguiers sur la régulation de bioagresseurs. Son mémoire porte principalement sur la cécidomyie des fleurs, mais un petit essai a été effectué sur l'infestation par la mouche. A cette période, *Bactrocera zonata* était encore l'espèce dominante.

En 2018, Amélie Briandy a entrepris des essais similaires, dans le but de confirmer les résultats obtenus par Lucie Brustel. Ces expériences ont donc été conduites en amont et en même temps que celles qui sont décrites dans ce mémoire, et ont eu lieu sur les mêmes parcelles, avec des traitements identiques.

2- La Réunion

2-1 Situation géographique et climatique

Emergée de l'océan Indien il y a 2 à 3 millions d'années, La Réunion est une île volcanique basaltique de 2512 km² faisant partie de l'archipel des Mascareignes. Elle est située 700 km à l'est de Madagascar et à 170 km au sud-ouest de l'île Maurice. Découverte en 1545 par le navigateur portugais Mascarenhas, elle fut occupée à partir de 1642 par les Français. C'est aujourd'hui à la fois un département d'outre-mer et une région française. Son chef-lieu est la préfecture de Saint-Denis au Nord. L'île est découpée en 5 communautés d'agglomération, qui contiennent au total 24 communes.

L'île présente une topographie particulière (Figure 3), combinant des reliefs montagneux, avec des sommets culminant à 3070m d'altitude (Piton des Neiges), et des plages. Au centre de l'île se situent trois cirques qui sont Mafate, Salazie et Cilaos. Une grande part du centre est par ailleurs inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO en tant que parc national depuis 2010, c'est pourquoi le littoral concentre une majeure partie des activités humaines.

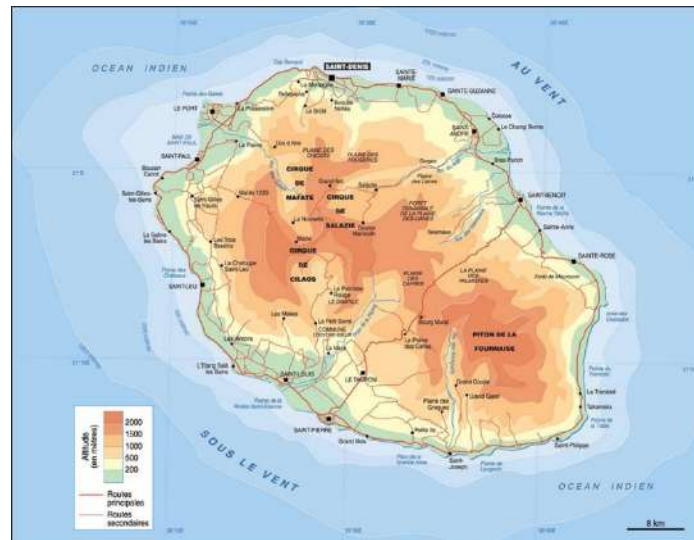


Figure 3: Carte du relief de l'île de La Réunion (Actualitix, 2019)

Cette topographie particulière, combinée à la proximité avec l'océan, génère un grand nombre de micro-climats sur l'ensemble de l'île. Pour généraliser, on distingue la côte au vent, à l'Est, et la côte sous le vent, à l'Ouest. Tout au long de l'année, la façade Est subit les alizés, qui apportent des précipitations. Celles-ci sont bloquées par les reliefs, protégeant la côte Ouest. Il y a donc une pluviométrie très élevée à l'Est, et un climat très chaud et sec à l'Ouest (Figure 4).

Le climat reste cependant marqué par deux saisons, qui sont l'hiver (avril à octobre) et l'été austral (novembre à mars). L'été, aussi appelé saison des pluies, est caractérisé par une forte hausse de la pluviométrie et des températures (environ 30°C sur les côtes), ainsi que par l'apparition de phénomènes cycloniques, qui causent des dégâts importants (inondations, glissements de terrains..) notamment au niveau agricole. L'hiver correspond à une saison sèche, avec des températures en baisse. Celles-ci sont en général autour de 22 degrés, mais peuvent être négatives sur les sommets de l'île.

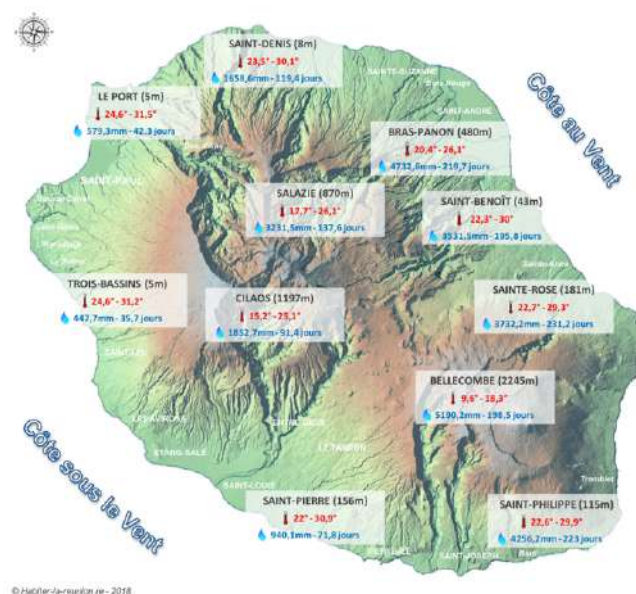


Figure 4: Carte des normales saisonnières des principales communes de La Réunion (Habiter La Réunion, 2018)

2-2 Contexte agricole

A partir de l'introduction de plants de café en 1717, l'île prit le rôle de grenier agricole. Ses cultures phares furent le café, le tabac, le coton, la cannelle, la vanille... Largement basée sur l'esclavage, l'économie réunionnaise commença son déclin à partir de l'abolition de cette pratique en 1848.

De nos jours, l'agriculture a toujours une place importante au sein de la culture réunionnaise, et de l'économie en termes de création d'emploi. Elle contribue au PIB de la Réunion à hauteur de 1,1% (INSEE, 2016) et concerne plus de 7000 exploitations dont la SAU moyenne est de 6,0 hectares (Agreste, 2018). La superficie agricole est restreinte par deux facteurs : l'urbanisation et le contexte naturel. La majorité des terres arables est en basse altitude : cela concerne principalement la canne à sucre et les exploitations maraîchères et les vergers. L'élevage et les prairies sont souvent dans les hauts, où le climat est froid en hiver et doux en été.

Aujourd'hui, les principales cultures sont la canne à sucre (2984 exploitations en 2013), ainsi que le maraîchage et l'horticulture (tomates, ananas, agrumes, salades...) (Agreste, 2018).

3- Le Manguier

3-1 Filière mangue dans le monde

Avec une production mondiale de presque 20 millions de tonnes, le manguier est la 6ème espèce fruitière la plus cultivée. En 2019, les principaux pays producteurs étaient l'Inde, avec une production de presque 20 millions de tonnes, la Chine, la Thaïlande, l'Indonésie, le Mexique, le Pakistan, le Brésil, le Bangladesh, l'Égypte et le Malawi (Figure 5) (FAO, 2019).

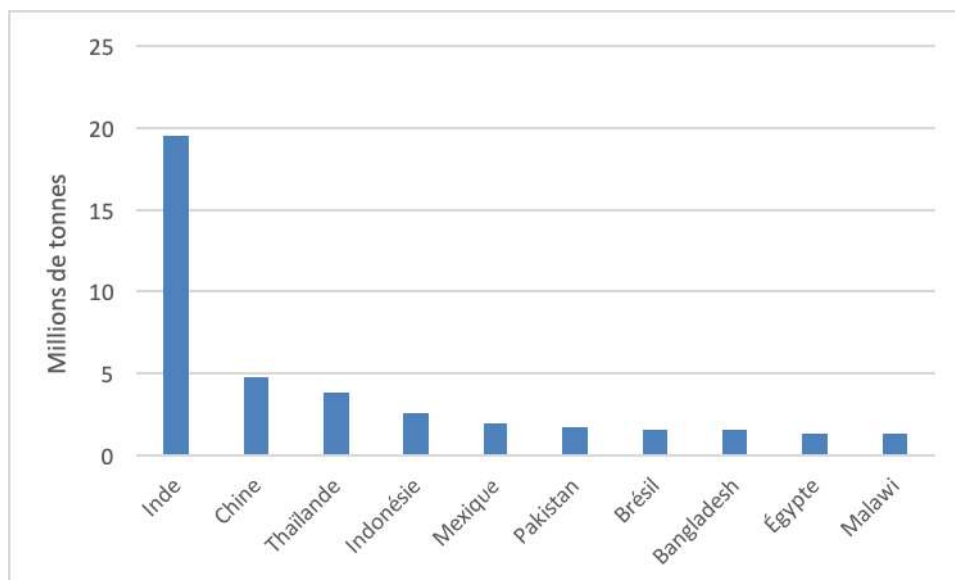


Figure 5: Niveaux de production des principaux producteurs mondiaux de mangue (FAO, 2019)

En 2012, les exportations ne concernaient que 3,4% de la production mondiale, il y a donc une forte autoconsommation chez les pays producteurs. Les importateurs les plus importants sont l'Asie, les États-Unis et l'Union Européenne (Market Information Database CBI, 2014).

Les exigences qualitatives sur la mangue à l'exportation sont définies par le Codex Alimentarius, le « code alimentaire » de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), dans la norme Codex pour les mangues (Codex Stan 184-1993).

3-2 Filière réunionnaise

Le manguier, originaire de la région Indo-birmane a été introduit à La Réunion en 1770. Sa culture s'est intensifiée à partir de 1970, notamment du fait de l'encadrement réalisé par le CIRAD, qui a introduit diverses variétés d'origine floridienne. Cela a permis d'étendre la gamme variétale et d'obtenir la Cogshall, qui est une des variétés les plus cultivées de l'île. L'implantation de variétés plus ou moins précoces ou tardives a aussi donné lieu à un étalement temporel de la production. En effet, la récolte s'effectue dès le mois de décembre, jusqu'au mois de février. La précocité de ce phénomène est tant liée à la variété, qu'à l'altitude, aux conditions pédo-climatiques et au nombre de floraisons (Amouroux, *et al.*, 2009).

La culture de la mangue représente ici une surface de 386 hectares, répartie sur 383 exploitations (Agreste, 2014). Celles-ci sont principalement situées sur la côte Ouest de l'île (le Nord-Ouest représentant 70% des surfaces en vergers), de la Possession à Petite Ile (Figure 6). En effet, comme expliqué précédemment, la côte Ouest est la côte dite « sous le vent » ce qui provoque un climat chaud et sec, avec une saison sèche marquée. Ces conditions climatiques sont idéales pour cette culture. La production de mangues varie en fonction des années, mais elle atteint le plus souvent les 3000 tonnes, ce qui représente un pourcentage minime de la production mondiale, et fait de La Réunion le 69ème producteur mondial (Agreste, 2018).

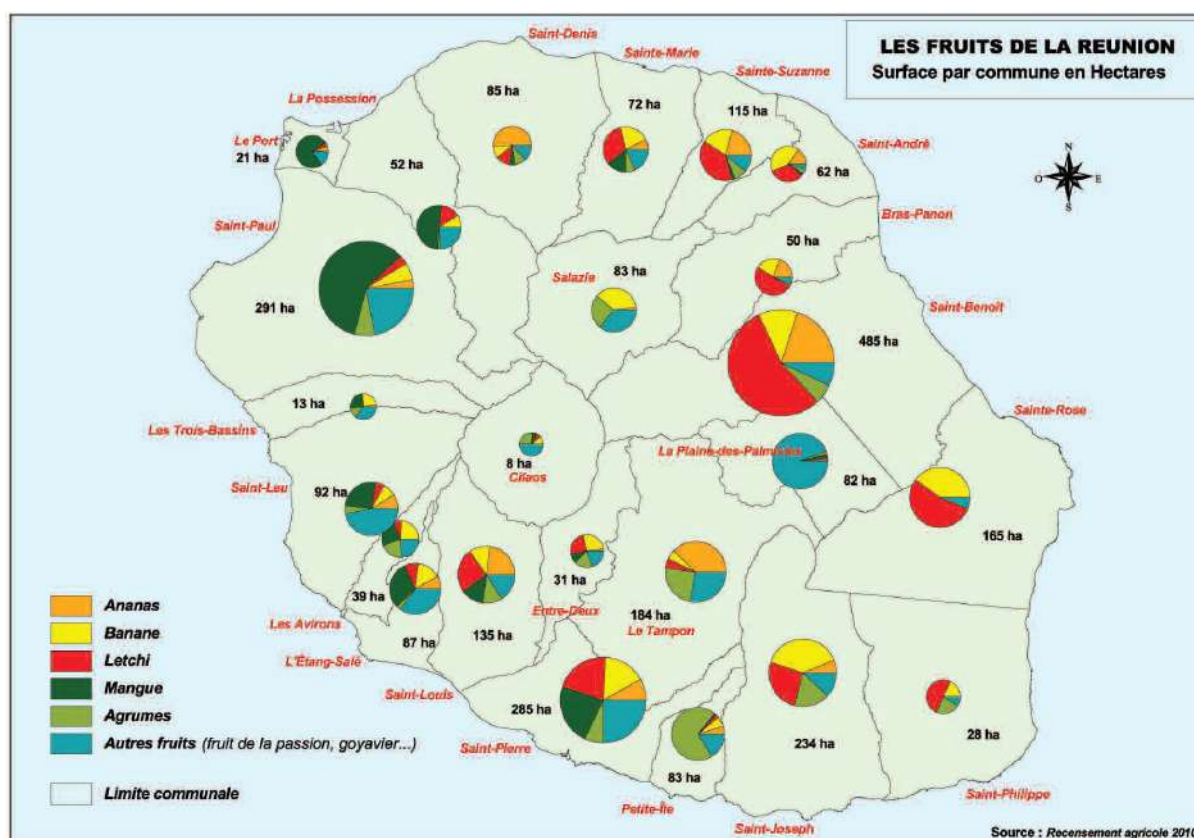


Figure 6 : Surfaces en production fruitière à La Réunion (Agreste 2014, d'après le recensement agricole de 2010)

Plus de 60% des exploitations ont une SAU qui ne dépasse pas 3ha, et seulement 19% sont exclusivement dédiées à la mangue. En effet, une majorité des exploitations a une production diversifiée (principalement avec d'autres cultures fruitières, puis du maraîchage, de l'élevage, et de la canne à sucre). La mangue constitue néanmoins le revenu principal de 50% des exploitations qui en produisent (Lemarié, 2008).

Les principales variétés cultivées à la Réunion sont la José, Cogshall, Heidi, Auguste, Lise, Caro, Léonard et Carotte. La José (mangue “réunionnaise”), qui donne des fruits fragiles, de forme arrondie et très sucrés, représente plus de 50% des surfaces cultivées. Il s’agit d’une variété locale, exclusivement réservée au marché réunionnais, car elle ne correspond pas aux critères d’exportations. La seconde variété la plus importante est la Cogshall (mangue “américaine” ou “floridienne”), qui correspond à plus de 30% de la surface en manguiers. Également vendue sur le marché réunionnais, elle est toutefois plus souvent destinée à l’export (Amouroux, *et al.*, 2009), car les fruits se rapprochent plus des standards internationaux, de par leur couleur (rouge-violacée), leur calibre (de 350 à 750g), et leur goût (Nordey, 2014). Concernant le marché local, les fruits sont distribués par le biais de différents acteurs. En grande majorité, ceux-ci sont des bazardeurs qui achètent directement en bord champ ou au marché de gros. Les autres acheteurs sont des grandes surfaces, des organisations de producteurs et des unités de transformation (Lemarié, 2008). De par son importance à la fois économique et culturelle, la mangue représente une culture ancrée dans le patrimoine réunionnais. Il est donc nécessaire de la préserver.

3-3 Point agronomique

3-3-1 L’arbre

Le manguiier, ou *Mangifera indica* L. est un arbre à grand développement (30 à 50m de hauteur), de la famille des Anacardiaceae. Son port est plus ou moins étalé, et varie en fonction de la variété (érigé, globulaire ou en gobelet) (Figure 7, A).

Le bois du manguiier est cassant, mais couramment utilisé en ébénisterie. L’arbre est ancré dans le sol grâce à l’action d’une ou de plusieurs racines pivotantes, dont le second rôle est de puiser de l’eau en profondeur. De grosses racines horizontales aident à la stabilité du plant, et se ramifient en un chevelu racinaire qui absorbe l’eau et les éléments minéraux.

Les feuilles, oblongues et lancéolées, sont d’une couleur vert sombre, et peuvent mesurer de 15 à 40cm. Tout au long du cycle végétatif (Figure 8), celles-ci tombent et se renouvellent, ce qui donne un feuillage abondant et persistant (Figure 7, B).

Les fleurs, caractérisées par une couleur jaunâtre ou rougeâtre, sont de très petite taille (5 à 10 mm) et sont groupées le long de panicules d’environ 30cm de longueur pour former des inflorescences de forme pyramidale (Figure 7, C) (Amouroux, *et al.*, 2009).



Figure 7: Manguiier du cultivar Cogshall (A) avec ses feuilles (B), ses inflorescences (C) et ses fruits (D)

Cet arbre apprécie un climat de zone tropicale semi-aride avec une alternance de saison sèche et de saison humide pour un développement optimal. En effet, la baisse de température et de la pluviométrie en saison sèche engendre le repos végétatif, et l'induction florale (Amouroux, *et al.*, 2009)

Concernant le sol, le manguiier préfère un sol assez profond (>2m), bien drainé et aéré, avec une faible pente.

Pour assurer une bonne production, un apport d'eau compris entre 700 et 800mm par an est nécessaire, et devra être réparti de façon précise sur l'année. Pour faciliter l'induction florale, il est nécessaire de réduire l'irrigation de 50% entre le mois d'avril et le mois de juillet (Amouroux, *et al.*, 2009).

Le manguiier est caractérisé par un certain asynchronisme de croissance ainsi qu'une forte alternance de floraison, c'est-à-dire une variabilité de la quantité de fleurs d'une année sur l'autre. Ceci implique une alternance de production, donc une variabilité de la charge en fruit de l'arbre.

Les rendements sont donc très fluctuants, et il existe une grande hétérogénéité au sein même des parcelles. Par ailleurs, on observe une disparité importante de la rapidité de maturation des fruits au sein même de l'arbre, ce qui rend complexe la récolte, car il est nécessaire de contrôler et d'effectuer une récolte quotidienne en période de maturation.

La floraison est sous influence de plusieurs paramètres : les facteurs climatiques, comme la température et la pluviométrie ; les facteurs endogènes, comme la charge en fruit de l'année précédente ; ainsi que les pratiques culturales, dont la taille.

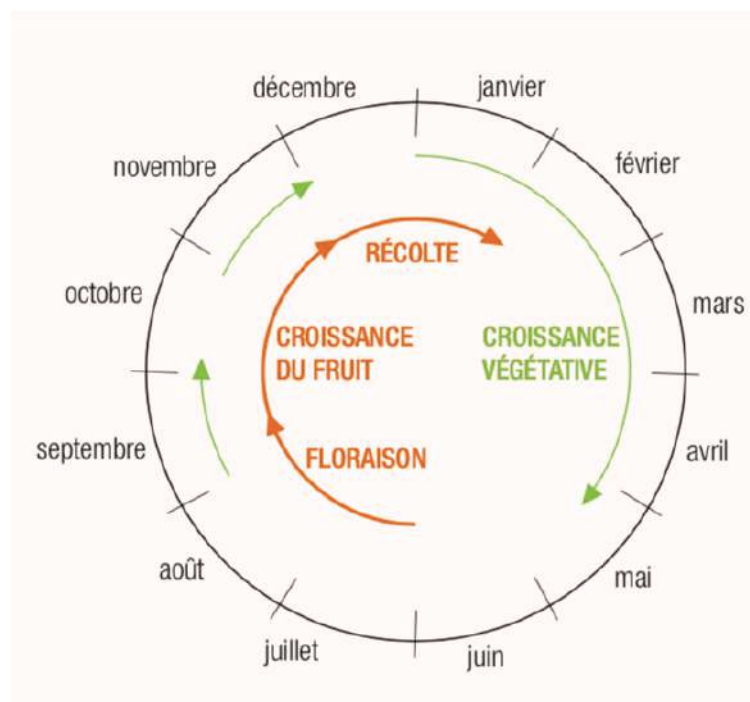


Figure 8: Cycle phénologique du manguiier (Amouroux, *et al.*, 2009)

3-3-2 Le fruit

La mangue est une drupe dont la forme, la couleur et les qualités organoleptiques varient en fonction des variétés. Elle peut mesurer de 7 à 12 cm de diamètre, avec une largeur variable, et peser de moins de 100g à 1kg. Elle est composée d'un noyau, ou endocarpe, ainsi que de pulpe ou mésocarpe, et de la peau ou épicarpe. Le fruit est rattaché à l'arbre par un pédoncule de longueur de 10 à 25cm. La couleur de la peau est initialement verte, puis évolue généralement vers le jaune à maturité, mais peut prendre des teintes de violet, rouge ou orange. La chair est d'une coloration fluctuant du jaune à l'orange, et a un goût sucré, avec une saveur plus ou moins prononcée de térébenthine (Amouroux, *et al.*, 2009).

La croissance et la maturation durent entre trois et six mois après la fin de la floraison, en fonction de la variété et des conditions climatiques. Cette phase peut être divisée en quatre stades :

- La première étape est le stade juvénile, pendant lequel les cellules se multiplient pour former le fruit. Il commence à la fécondation et s'écoule sur 21 jours.
- Ensuite, dans la phase de croissance qui dure 28 jours, les cellules s'allongent, l'activité respiratoire s'accroît modérément et le rapport carbone/azote (C/N) augmente.
- Au cours du stade climactérique (ou stade critique), l'activité respiratoire et le rapport C/N sont élevés et il y a une accumulation des réserves sous forme d'amidon, pendant environ 80 jours. Les pigments chlorophylliens verts de la peau se dégradent peu à peu, laissant place à l'apparition de jaune et de rouge.
- La dernière phase est celle de la maturation, où il se présente différentes transformations physico-chimiques, comme la transformation de l'amidon en sucre, la diminution de l'acidité, la disparition des pigments verts et l'apparition de la couleur du fruit mûr, du parfum et du goût caractéristiques de la mangue (Ouedraogo, 2011).

Il s'agit donc d'un fruit climactérique, c'est-à-dire qu'il subit une crise climactérique, autrement définie par une « série de modifications biochimiques initiée par une production auto catalytique d'éthylène » qui conduit à la maturation (Rhodes, 1970). Cette particularité lui assure la capacité de mûrir après la récolte, ce qui nous donne l'opportunité de réaliser des récoltes précoces, qui minimiseront les pertes liées aux ravageurs. Afin d'assurer une qualité optimale pour la commercialisation, il est conseillé d'effectuer la récolte au début de la maturation. Cela permet au fruit de subir au mieux les différentes étapes de la commercialisation, tout en ayant les qualités organoleptiques et nutritionnelles attendues.

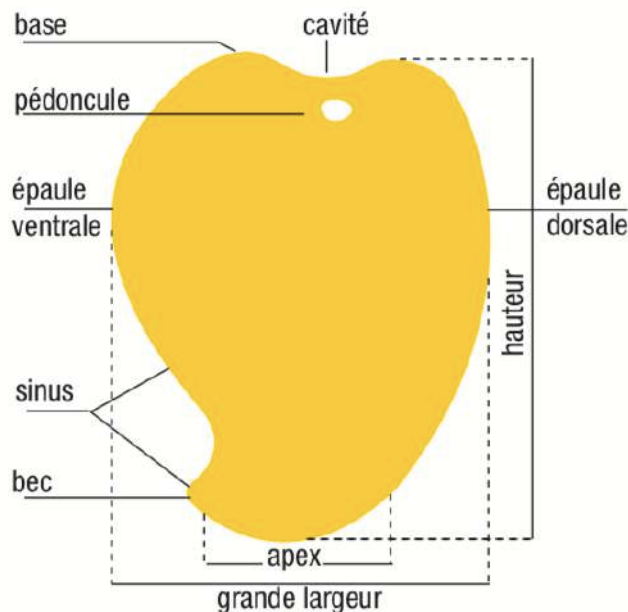


Figure 9: Descripteurs de la mangue (Amouroux, et al., 2009)

Cependant, la totalité des fruits n'atteint pas le stade de maturation. En effet, lorsque les fruits sont encore au stade vert, l'arbre réalise un éclaircissage, qui est tout à fait naturel. Ce processus peut intervenir lorsqu'il y a un trop grand nombre de fruits sur une branche, par exemple. L'alimentation en eau et en nutriments est alors coupée envers certains fruits. Un cercle noir apparaît sur le pédoncule, signe que la chute est imminente. Le fruit se ramollit, et tombe au sol. Ce procédé est appelé abscission (Le Bellec, 1997).

3-4 Itinéraire technique réunionnais

La taille est réalisée tous les deux ans, après la récolte, au mois de mars. C'est une étape essentielle afin d'optimiser la circulation de l'air dans le verger, et donc réduire le taux d'humidité et les attaques fongiques. C'est pourquoi on coupe les branches de la canopée obstruant la lumière, ainsi que des branches de l'inter-rang si celles-ci empêchent le passage. Les résidus sont souvent broyés et restitués au sol.

Pour le contrôle de l'enherbement, qui est préféré ras, différentes méthodes sont mises en œuvre. Les plus courantes sont l'utilisation de produits chimiques comme le glyphosate, ou bien d'un gyrobroyeur tracté ou d'une débroussailleuse. Les pratiques du producteur, les conditions pédo-climatiques et l'irrigation influent la fréquence de cette pratique.

L'irrigation est généralement apportée à travers un système de goutte à goutte, à partir du mois de mars jusqu'au mois de juin. L'apport d'eau est ensuite interrompu, afin d'engendrer un stress hydrique qui permettra l'induction florale.

L'emploi de produits phytosanitaires contre les ravageurs est cantonné à une période précise : de la floraison à la fin de la récolte. Les différents produits sont cités dans la partie « Ravageurs » ci-dessous.

La maturation des fruits étant complètement hétérogène, il est nécessaire de procéder à une récolte quotidienne. Le stade de récolte préconisé par le CIRAD est le stade de maturité « point jaune ». Bien sûr, cela dépend de l'usage réservé au fruit. En effet, des mangues destinées à l'exportation seront cueillies à un stade de maturité moins avancé que des mangues vendues sur le marché local, afin d'avoir une durée de conservation plus longue (Amouroux, *et al.*, 2009).

3-5 Ravageurs réunionnais

Il existe une importante diversité des bioagresseurs du manguier sur l'île de La Réunion, présentée dans le tableau ci-dessous (Figure 10). Il peut s'agir tant de maladies cryptogamiques ou bactériennes, que de ravageurs comme les insectes ou les acariens. Parmi la vingtaine de bioagresseurs recensés, seuls les sept principaux sont présentés dans la partie suivante. Le tableau ci-dessous indique leurs périodes d'activité respectives en lien avec le cycle phénologique du manguier.

Mois	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05
Stades phénologiques	Floraison 			Croissance des fruits 			Maturité production croissance végétative 			Repos 		
Cécidomyie des fleurs												
Cécidomyie des feuilles												
Punaise												
Thrips												
Cochenilles												
Mouches des fruits												
Oïdium												
Anthraxnose												
Bactériose												

Figure 10: Calendrier d'action des ravageurs du manguier à La Réunion (Amouroux, *et al.*, 2009)

En raison de l'asynchronisme de croissance du manguier (cf I-3-3-1, p.18), les ravageurs peuvent trouver des stades sensibles qui leur permettent de se nourrir et de se reproduire tout au long de l'année, ce qui rend la lutte contre ces pestes particulièrement difficile.

3-5-1 Maladies

a) Anthracnose

L'anthraxnose est une maladie fongique très répandue sur différents arbres fruitiers (olivier, avocatier, caféier), provoquée par des champignons ascomycètes de la famille des Glomerellaceae. L'anthraxnose du manguier est causée par le champignon *Colletotrichum gloeosporioides*. Celui-ci se propage par l'action du vent ou de la pluie, et est favorisé par des températures modérées (entre 18 et 28°C) et une forte humidité (>97%). La maladie s'attaque

aux fleurs, feuilles, rameaux et fruits. Elle se manifeste par l'apparition de taches brunes à noires sur les feuilles et les rameaux, qui progressent et se nécrosent. Sur les fruits, des points noirs apparaissent près du pédoncule, et se développent en des taches larges. Les symptômes peuvent également se manifester sous forme de « coulées de larme » dans le cas où la contamination se fait par le ruissellement.

Afin de lutter contre l'anthracnose, il est recommandé d'utiliser des méthodes préventives, comme la taille des arbres, le ramassage des déchets végétaux. Il existe aussi des fongicides biologiques (à base de *Bacillus subtilis*) ou des fongicides chimiques contenant des sulfates de cuivre, de l'azoxystrobine ou du chlorothalonil.

b) Oïdium

Cette maladie fongique est occasionnée par des champignons ascomycètes de l'ordre des érysiphales appartenant à la famille des Erysiphaceae. L'oïdium du manguiier, causé par *Oidium mangiferae*, se déclare en période de floraison et de nouaison, et atteint les fleurs, pédoncules et jeunes fruits. Elle se traduit par un feutrage mycélien blanc, qui s'alimente en pénétrant dans les cellules de la couche épidermique. Ceci fait faner les fleurs, et chuter les fruits qui présentent un aspect liégeux.

Afin de combattre ce phénomène, il est recommandé d'utiliser un fongicide de contact à base de soufre micronisé, qui est homologué en agriculture biologique (Amouroux, *et al.*, 2009).

c) Bactériose

Déclenchée par la bactérie *Xanthomonas campestris* pv. *Mangiferaeindicae*, la bactériose touche tant les rameaux, que les feuilles et les fruits. Au niveau du feuillage, il y a un développement de taches sombres, anguleuses et huileuses, avec des auréoles jaunâtres qui causent, à terme, le dessèchement des feuilles. Sur les fruits, on observe l'apparition de chancres et plaies purulentes. La bactérie étant favorisée par l'humidité et la chaleur, il est intéressant de mettre en place des techniques de gestion de l'humidité dans le verger (taille). Il faut également ramasser les organes atteints et les éliminer (Amouroux, *et al.*, 2009). On peut utiliser un produit à base de cuivre pour freiner la maladie, mais il n'existe à ce jour aucun traitement curatif.

3-5-2 Ravageurs

a) Cécidomyie des fleurs (*Procontarinia mangiferae*)

Ce petit moucheron d'environ 2mm fait partie de la famille des Cecidomyiidae, appartenant à l'ordre des diptères. A La Réunion, on retrouve deux insectes de cette famille, qui sont la cécidomyie des fleurs et la cécidomyie des feuilles. C'est la première qui cause les dommages les plus importants, car les femelles adultes pondent sur les parties tendres comme le pédoncule floral des inflorescences ou bien les boutons floraux. Les larves pénètrent alors l'inflorescence et forment des galls qui entraînent sa destruction. Cela leur permet de se nourrir tout au long de leur développement, en les protégeant de leurs ennemis naturels. Au terme d'une période de 7 à 12 jours, les larves s'éjectent pour s'enfouir dans le sol, où elles se nymphosent, passant alors du stade larve au stade adulte. Les adultes ainsi émergés peuvent continuer le cycle. Les dégâts causés sur les inflorescences peuvent être considérables, et donc affecter le rendement des manguiers (Amouroux, *et al.*, 2009).

En termes de lutte, il est possible d'utiliser le Movento ® de la firme Bayer, contenant du spirotetramat, qui est un insecticide homologué depuis 2017. Des études sont conduites sur la recherche de méthodes de lutte préventive, comme les couvertures de sol.

b) Punaises (*Orthops palus*)

Cette punaise, qui fait partie de l'ordre des hémiptères, du sous-ordre des hétéroptères et de la famille des *Miridae*, se nourrit du contenu cellulaire des inflorescences, jeunes pousses et bourgeons en les piquant, ce qui provoque une déformation et un dessèchement des parties attaquées. C'est un ravageur dévastateur pour la culture, recensé sur l'île depuis 1974. Les attaques ne sont pas systématiques, mais lorsqu'elles ont lieu, peuvent détruire une grosse partie des vergers. C'est pourquoi un seuil de nuisibilité a été déterminé.

Lorsque celui-ci est atteint, il est recommandé d'appliquer un traitement curatif à base de lambda-cyhalothrine (Karaté-Zéon®). En effet, il n'existe pas de mesure prophylactique contre cet insecte (Amouroux, *et al.*, 2009).

c) Thrips (*Selenothrips rubrocinctus*)

Les thrips sont très utiles pour la fécondation des fleurs, mais il s'agit d'un ravageur non négligeable dans le cas où la population est trop nombreuse. La période d'affluence coïncide avec la période de floraison et de nouaison du manguiier, soit d'août à novembre. La croissance de la population est favorisée par des conditions climatiques sèches. Ils sont très mobiles, et peuvent être déplacés par le vent sur de grandes distances. Leur piquûre occasionne une défoliation importante et la chute des petits fruits qui se recouvrent d'une couche liégeuse.

Comme pour la punaise, un traitement à base de lambda-cyhalothrine est envisageable, mais il risque de décimer la faune auxiliaire (Amouroux, *et al.*, 2009).

d) Mouches des fruits

Les mouches des fruits, principal sujet d'étude de ce mémoire, font partie du genre *Bactrocera*, lui-même appartenant à la classe des insectes, de l'ordre des Diptères, du sous ordre des brachycères, et de la famille des Tephritidae. La famille des Tephritidae comporte 6 sous familles et 27 tribus, dont la sous famille des Dacinae, avec la tribu des Ceratidini et celle des Dacini qui contiennent de nombreuses espèces de mouches des fruits, dont certaines ont été signalées en Afrique de l'Ouest (Vayssières *et al.*, 2005). La tribu des Dacini quant à elle compte 765 espèces, dont le genre *Bactrocera* qui compte 29 sous-genres et 520 espèces.

Ces insectes pondent dans les mangues à l'aide de leur ovipositeur qui leur permet de forer l'épiderme du fruit, pour déposer les œufs à quelques millimètres de la surface. Cela se traduit par une décoloration de l'épiderme, puis par la pourriture du fruit (Duyck, 2005). Les larves issues des œufs se nourrissent de la chair des fruits, avant de s'éjecter et de s'empurger dans le sol à une profondeur de 2 à 15cm. Une fois leur nymphose accomplie, la deuxième génération d'adultes peut s'accoupler dès la maturité sexuelle, et de nouveau pondre dans des fruits (Figure 11) (Sterlin, 2002).

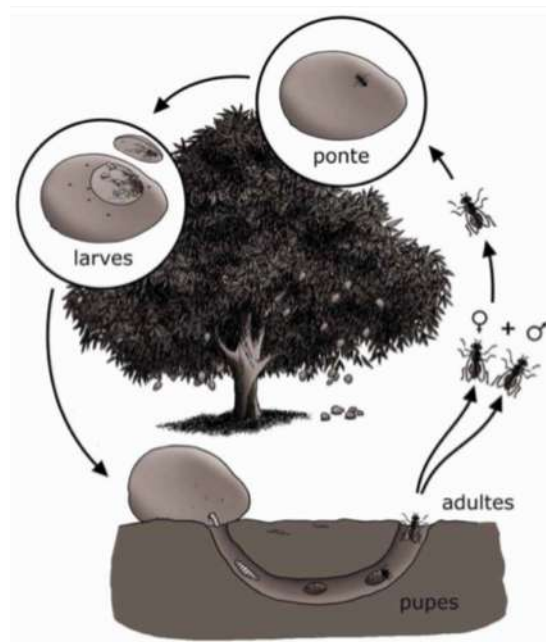


Figure 11 : Cycle de développement d'une mouche des fruits (Ouedraogo, 2011)

Les mouches des fruits sont différenciées de par leur gamme d'hôtes, qui est plus ou moins diversifiée. Certaines espèces sont monophages, tandis que d'autres sont polyphages. Ces fruits hôtes assurent l'alimentation des larves, et ont une forte influence sur plusieurs facteurs. En effet, la polyphagie d'une mouche lui permet de ne pas restreindre sa période de reproduction à la période de maturation d'un seul fruit. Par ailleurs, elle peut soit générer plusieurs générations par an, donc être multivoltine, soit n'en générer qu'une, et être univoltine. La polyphagie et la faculté de générer plusieurs générations en une année sont des facteurs très importants dans la capacité d'une espèce à coloniser un milieu.

Les qualités nutritives du fruit hôte ont également des conséquences sur le taux de survie, le développement larvaire et la fécondité des adultes (Duyck, 2005). Le choix du fruit dépend de nombreux critères, dont des stimuli olfactifs et visuels générés par le fruit (Brévault, *et al.*, 1999). Ces critères vont jouer un rôle essentiel dans le choix du site de ponte effectué par les femelles, qui est donc intrinsèquement lié aux stades de maturité des fruits hôtes. En effet, chez la plupart des fruits, dont notamment la mangue, la maturation produit différents changements physico chimiques qui vont affecter les stimuli olfactifs et visuels transmis à la femelle.

La température et l'humidité sont aussi des facteurs qui affectent une population de mouches des fruits. La température agit à la fois sur le développement et la survie des mouches, ainsi que sur la durée de leur cycle de vie et leur fécondité (Duyck, 2005).

L'ensemble de ces facteurs a donc un fort effet sur la répartition et la dynamique des populations de mouches des fruits, car les différentes espèces sont plus ou moins adaptées aux conditions climatiques d'un milieu. On remarque donc l'existence d'un gradient de répartition en fonction de l'altitude, de la latitude, de la température et de la pluviométrie. A la Réunion, il apparaît que la mouche méditerranéenne (*Ceratitis capitata*) est principalement confinée dans une zone de température comprise entre 24 et 26°C, avec une pluviométrie de 1000mm par an. *Ceratitis*

quilicii à hauteur de 3000 à 3500mm (Duyck, *et al.*, 2006). Quant à la mouche de la pêche, (*Bactrocera zonata*) celle-ci serait présente et majoritaire en basse altitude.

Jusqu'en 2017, les trois espèces citées précédemment ont été recensées comme ravageurs de la mangue (Amouroux, *et al.*, 2009). En avril 2017, la mouche orientale *Bactrocera dorsalis* a été détectée sur l'île par la FDGDON (Fontaine, *et al.*, 2017). Etant donné son arrivée récente dans le contexte réunionnais, de nombreuses questions se posent quant à son comportement, vis-à-vis des conditions climatiques de l'île, ainsi que des différentes plantes hôtes qui pourraient être touchées, et plus particulièrement des variétés et cultivars réunionnais de ces plantes.

Les mouches des fruits causent d'importantes pertes en fruit, car la piqûre par ovipositeur induit une décoloration au point de piqûre, qui évolue en pourriture. Cela provoque un mûrissement précoce et donc la chute de nombreux fruits, ainsi que des dégâts directs lorsque les larves consomment la chair. Par ailleurs, au-delà de la diminution des rendements, ce phénomène peut également entraîner des pertes de part de marché à l'exportation, dues à la possible mise en quarantaine d'un pays ou d'une région (Ndiaye, 2009).

4- La mouche des fruits *Bactrocera dorsalis* (Hendel)

4-1 Caractéristiques

Également appelée mouche orientale des fruits, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) est originaire d'Asie. Découverte à Taïwan en 1912 par Hendel, une séparation fut faite entre *Bactrocera dorsalis* (Hendel) et *Bactrocera invadens* (Drew, Tsuruta & White), avant que les deux souches soient réunies sous le nom de *Bactrocera dorsalis* (Vargas, *et al.*, 2015). Cette mouche est responsable d'énormes pertes de rendement en horticulture tout autour du monde (Asie, Afrique, Pacifique et Amérique du Sud). Elle a été détectée en Afrique de l'Est pour la première fois en février 2003, puis a atteint la côte ouest en octobre 2004.

C'est une mouche d'en moyenne 8,0 mm de longueur, avec des ailes hyalines mesurant approximativement 7,3mm en longueur. Les nervures costales de celles-ci sont noires. Le scutum comporte deux bandes latérales jaunes, et le scutellum, également jaune, a une bande noire à sa base. L'abdomen est rayé d'une bande noire en forme de T, ce qui facilite son identification (Figure 12).



Figure 12: Photo de la mouche des fruits *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (c) A. Franck – Cirad

Bactrocera dorsalis (Hendel) a une durée moyenne de développement de 25 jours à une température de 28°C, avec un taux de survie des œufs de 55% (Ekesi, *et al.*, 2006). La longueur du cycle de développement de la mouche est largement influencée par les températures. En effet, à 15°C ce cycle dure 76 jours, tandis qu'à 30°C, il n'est que de 18 jours (Rwomushana, *et al.*, 2008). Après l'émergence des adultes, il faut au minimum 7 jours avant la ponte. Le taux moyen de ponte est estimé à 18,2 œufs par jour si la température est de 18°C. Le temps de génération moyen est de 31 jours (Ekesi, *et al.*, 2006).

L'altitude et l'hygrométrie semblent avoir une forte influence sur les densités de population. En effet, *B. dorsalis* aurait tendance à se reproduire en basse altitude, entre 300 et 400m. Il a été observé que les populations diminuent au cours de la saison sèche, et sont plus élevées en saison humide: la pluviométrie a une influence positive sur la rapidité de développement des populations (Ekesi, *et al.*, 2006) (Konta, *et al.*, 2015). De plus, le taux d'humidité du sol a une forte influence sur le développement pupal des Tephritidae (Duyck, 2005).

Le tableau suivant (Tableau 1) exprime les durées et taux de survie des œufs pour chaque étape de croissance.

Tableau 1 : Durée des étapes du développement d'une mouche Bactrocera dorsalis (T°= 28°C) (Ekesi, et al., 2006)

Etape	Durée (jours)	Taux de survie (%)
Œufs	1,2 +/- 0.02	90.0
Larves	11.1 +/- 3.12	75.6
Pupes	12.4 +/- 2.15	80.9
Œufs à adulte	24.6	55

Bactrocera dorsalis est extrêmement polyphage, avec une gamme de 124 plantes hôtes parmi 42 familles de plantes (Clarke, *et al.*, 2005). En Afrique de l'Ouest, ses préférences se tournent vers le manguier (*Mangifera indica*), le goyavier (*Psidium guajava*), les agrumes (*Citrus* spp.), la papaye (*Carica papaya*), l'avocatier (*Persea americana*), le bananier (*Musa* spp.) et le badamier (*Terminalia catappa*) (Ekesi, *et al.*, 2006). L'ensemble de ces hôtes sont cultivés à La Réunion, et la présence de la mouche est confirmée sur mangue, goyavier, goyave de Chine ou goyavier-fraise, badamier, banane ainsi que sur jamrosat (*Syzygium jambos*) et jamalac (*Syzygium samarangense*), d'après les travaux en cours de Laura Mocquet (CIRAD). Ayant des cycles phénologiques décalés dans le temps, ces plantes offrent à *Bactrocera dorsalis* la possibilité de se nourrir et de se reproduire tout au long de l'année.

Des mécanismes aussi bien olfactifs que visuels sont impliqués dans la localisation des fruits adaptés pour l'oviposition par les femelles. Une fois que le fruit indiqué a été repéré, la femelle explore systématiquement le fruit entièrement avant de déterminer le point d'oviposition, choisi en fonction de la dureté, de la rugosité et de l'état de l'épicarpe. En effet, une zone abîmée par des craquelures, d'anciens trous d'oviposition ou des taches ramollies par l'anthracnose (cf I-3-5-1-a, p.22) offrent une solution de facilité à la femelle. C'est pourquoi, au cours de notre

expérimentation en laboratoire, il est essentiel de choisir des fruits exempts de toute trace de maladie car cela fausserait les résultats.

Au cours de l'invasion d'une nouvelle espèce, une compétition interspécifique se met en place. Ceci se traduit par la réduction de la fécondité individuelle, des taux de survie ou de la croissance de la population, résultant de l'exploitation des ressources par des individus d'une autre espèce, ou de l'interférence avec ceux-ci.

Il apparaît que *Bactrocera dorsalis* soit une espèce très invasive (Duyck, *et al.*, 2004).

4-2 Moyens de lutte

4-2-1 Généralités

La lutte chimique conventionnelle, qui se traduit par l'utilisation d'insecticides, ne parvient à éliminer que les adultes. En effet, les œufs et différents stades larvaires se trouvant à l'intérieur des fruits, ne sont pas atteints par le produit. Par ailleurs, ces produits représentent un danger à la fois pour le producteur, le consommateur et la faune auxiliaire. Il ne s'agit donc pas d'une solution durable et efficace (Ouedraogo, 2011).

C'est pourquoi il est préférable de se tourner vers une gestion agroécologique des populations de ravageurs. Celle-ci se construit autour de différentes stratégies, qui sont la prophylaxie, la lutte biologique par conservation et la gestion des habitats (Franck, *et al.*, 2018).

4-2-2 Elimination prophylactique

Dans un système géré en agroécologie, les mesures préventives sont centrales. Il est notamment recommandé de mettre en place une récolte sanitaire, c'est-à-dire de ramasser et détruire les fruits infestés qui constituent une source de ré-infestation des vergers, ainsi que les résidus de récolte (De Souza, *et al.*, 2016).

Cette technique peut être associée à l'utilisation d'un augmentorium, outil mis au point par le projet GAMOUR développé par le CIRAD et coordonné par la Chambre d'Agriculture. Il s'agit d'une structure semblable à une tente fermée dans laquelle les fruits piqués sont placés. La moustiquaire qui clôture l'augmentorium est réfléchi de sorte à ce que la taille de ses mailles empêche la sortie des adultes qui émergent des fruits piqués, mais permette aux parasitoïdes, insectes de plus petite taille, de s'échapper pour parasiter d'autres œufs de *B. dorsalis*. En résumé, il s'agit d'un outil qui prévient la ré-infestation de l'agrosystème, tout en favorisant la multiplication des parasitoïdes (Deguine, *et al.*, 2011).

Les autres méthodes d'élimination des fruits sont l'enfouissement, et la destruction par la chaleur, qui consiste à enfermer les mangues dans des sacs plastiques noirs qui seront exposés au soleil pendant 48 heures (De Souza, *et al.*, 2016).

L'inconvénient de la récolte sanitaire demeure une augmentation du temps de travail donc un coût certain en main d'œuvre. Cependant, elle permettrait de supprimer en partie la ré-infestation par les nouvelles générations de mouches.

La méthode dont le potentiel va être testé ici est plutôt l'élimination précoce des fruits proches de l'abscission

4-2-3 Ensachage

L'ensachage constitue une autre méthode prophylactique intéressante, à travers l'utilisation de sachets en papier ou de « cages » en maille fine. Les sacs sont disposés de façon individuelle sur chaque fruit, en permettant leur maturation tout en les protégeant des attaques des mouches des fruits ou d'autres ravageurs. Il existe de nombreux types de sachets, et différents niveaux d'efficacité et de praticité. Le choix du dispositif a donc une influence à la fois sur le coût du matériel, ainsi que sur le temps de mise en œuvre, et donc sur le montant global de la procédure. Le type de sachet a également une forte influence sur le développement de la mangue, qu'il s'agisse de la taille ou de la masse du fruit (Kireeti, *et al.*, 2018). Cela intervient également dans la quantité de solubles solides dans la chair et sur la propagation de la bactériose (cf I-3-5-1-c, p. 23). En effet, le sachet agit comme une barrière physique contre le rayonnement lumineux, et est plus ou moins perméable à l'humidité (Sarker, *et al.*, 2009). Il est donc nécessaire d'effectuer un choix le plus pertinent possible, en fonction des caractéristiques du sachet, des besoins commerciaux et du type de ravageur visé. Par exemple, les consommateurs européens ont une certaine attirance pour des mangues présentant un épiderme de couleur rouge, qui est perçue comme un signe de maturité. Un sachet opaque qui filtrerait le rayonnement lumineux diminuerait l'apparition de cette coloration rouge, et donc l'attrait de l'acheteur pour le fruit. Dans notre expérimentation en infestation artificielle, nous allons employer cette méthode afin d'obtenir des fruits sains qui seront ensuite utilisés pour faire des tests d'infestation.

4-2-4 Couvertures de sol

Il existe différents types de couvertures de sol, comme les couverts végétaux, qui peuvent être permanents ou temporaires. Ils permettent à la fois de limiter l'érosion des sols, et les risques de pollution des eaux, ainsi que d'augmenter la biodiversité végétale et donc les habitats disponibles pour l'entomofaune, ce qui favorise les populations d'auxiliaires et de parasitoïdes. Ils créent également une barrière physique, qui peut empêcher les insectes comme la mouche des fruits de s'empurger dans le sol (Deguine, *et al.*, 2016). Par ailleurs, le maintien d'une couverture végétale induit la cessation de l'utilisation de produits herbicides, qui ont une influence néfaste sur la faune du sol.

Le recours à des couvertures de type plastique est également envisageable. En 2015, une étude a été menée dans le cadre du projet Ecofrut par l'Armefflor, afin de déterminer le potentiel de l'utilisation d'un tapis de sol dans la lutte contre la cécidomyie des fleurs (cf I-3-5-2-a, p.23). Le principe de cette utilisation est d'introduire une barrière physique qui empêcherait les larves de cécidomyie de s'empurger dans le sol, et d'être à la merci des ravageurs comme les fourmis. Un stage a été réalisé sur l'évaluation de l'effet de ces deux types de couvertures de sol sur la cécidomyie, par Lucie Brustel en 2017, puis par Amélie Briandy en 2018, sous la responsabilité d'Alain Ratnadass (CIRAD). C'est dans la continuité de ces stages que l'on se pose aujourd'hui la question de l'effet de cette méthode sur la mouche des fruits.

L'étude menée par Lucie Brustel a montré que les différentes couvertures de sol ont un impact sur la floraison des manguiers, et donc sur le rendement. Ainsi, dans son essai, 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. L'activité

biologique et la température du sol étaient plus fortes sous le tapis de sol, en comparaison de l'enherbement ras, et de l'enherbement haut.

4-2-5 Récolte précoce

Il est recommandé dans le Guide de production intégrée de la mangue à La Réunion d'effectuer la récolte des fruits au début de la maturation. En effet, étant donné son caractère climactérique, la mangue continuera à mûrir (Figure 13), et c'est à ce stade de récolte qu'elle offrira les meilleures qualités organoleptiques et nutritionnelles. En revanche, il est difficile d'évaluer le stade de maturité avec exactitude. En effet, cela est généralement basé sur une observation visuelle de l'épicarpe, qui change de couleur au cours de la maturation. Par ailleurs, cela confère une durée de conservation limitée au fruit.

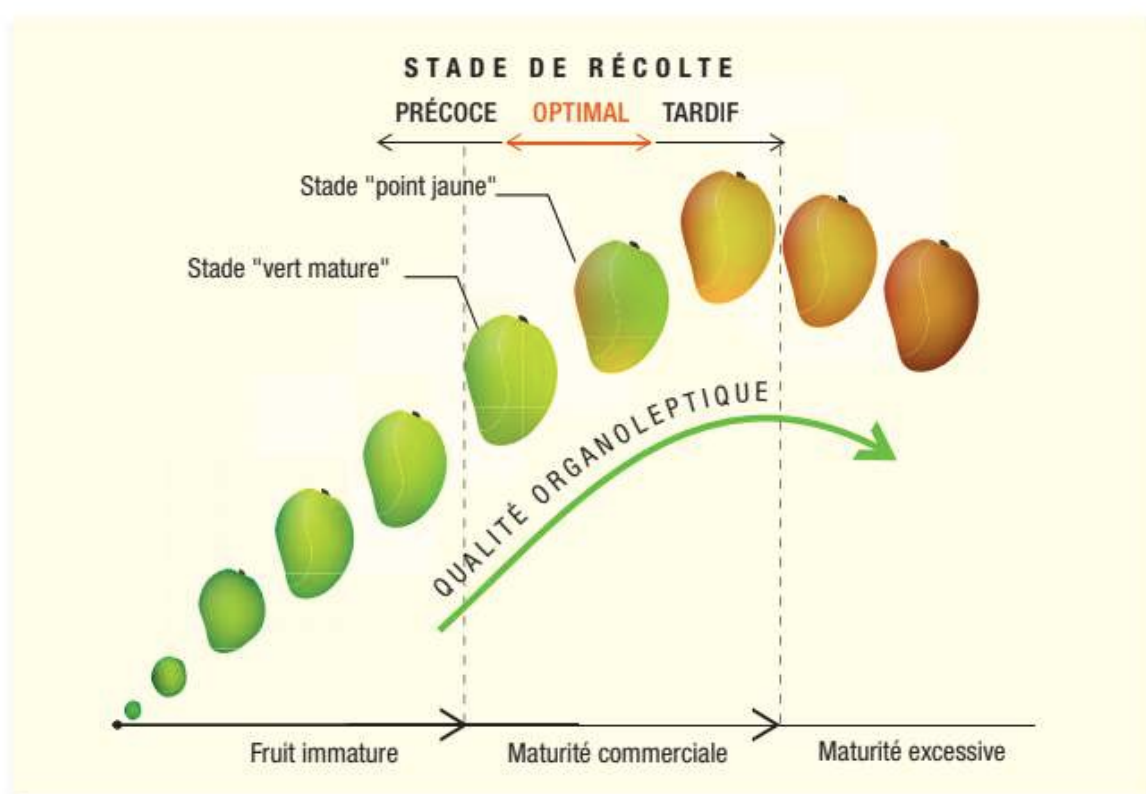


Figure 13 : Évolution des caractéristiques d'un fruit en fonction de sa croissance et de sa maturation. (Vincenot, et al., 2009)

Comme expliqué précédemment, la mouche des fruits réalise une sélection des fruits en fonction de leur qualité en tant que site de ponte. Ce mécanisme est basé sur des critères visuels, olfactifs et de dureté de l'épicarpe. La maturation induisant des changements au niveau de la couleur, de l'odeur et de la fermeté des fruits, il apparaît que cela a un impact sur l'attraction des mouches. Les stades plus avancés de maturité ont donc un risque plus élevé d'être piqués (Preterre, 2017).

Une récolte précoce consiste donc à effectuer la récolte au stade de maturité le plus approprié, qui maximise les qualités organoleptiques et minimise le risque de piqure. Il est donc essentiel

de déterminer quel est le premier stade sensible à l'infestation, afin de choisir le stade de récolte idéal.

4-2-6 Lutte biologique

La lutte biologique par conservation permet d'entretenir voir d'augmenter les populations des ennemis naturels des ravageurs, appelés insectes auxiliaires. En 2003, un parasitoïde appelé *Fopius arisanus* (Sonan) a été introduit à La Réunion, dans le cadre de la lutte contre *Bactrocera zonata* (Saunders). Cette micro-guêpe est initialement un ennemi naturel de *Bactrocera dorsalis* (Hendel). En pondant ses propres œufs dans les œufs de la mouche (Figure 14), elle empêche son développement.

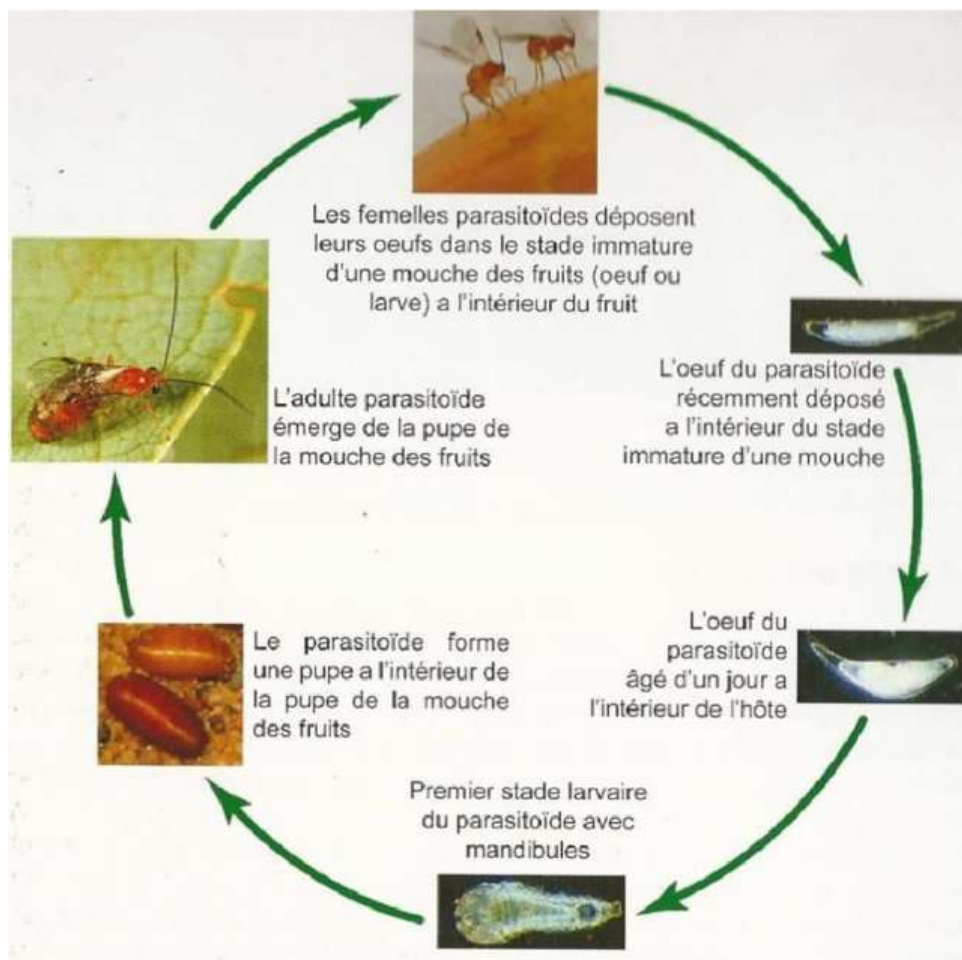


Figure 14: Cycle de développement du parasitoïde *Fopius arisanus*. D'après Ekesi & Billah (2006)

Il s'agit donc de protéger l'habitat de cet insecte, afin d'augmenter ses populations, et donc d'exercer un contrôle sur les populations de ravageurs. Pour cela, il est nécessaire de réduire au maximum l'application d'insecticide, de créer ou de conserver des habitats comme des bandes enherbées et fleuries, et donc d'interrompre l'utilisation d'herbicides aux abords de la parcelles.

En plus de la lutte biologique par conservation, il est possible d'effectuer une lutte par introduction ou par augmentation des populations d'auxiliaires (Franck, *et al.*, 2018).

4-2-7 Autres stratégies

Il est également courant d'employer des attractifs de type « Attract & Kill », qui sont des appâts adulticides, comme le Synéïs-Appat®. Celui-ci contient des protéines alimentaires ainsi qu'une dose d'insecticide biologique. Le produit est pulvérisé en taches, directement sur le feuillage des arbres, pendant la période de floraison et de maturation des fruits. Les mouches, attirées par l'appât, le consomment et sont empoisonnées par l'insecticide (Franck, *et al.*, 2018).

Les producteurs ont également recours au piégeage de masse des mâles (MAT ou Male Annihilation Technique), à l'aide de pièges contenant des paraphéromones (méthyl eugénol). Ces phéromones attirent les mouches mâles à l'intérieur des pièges, qui sont conçus pour les empêcher de sortir (Franck, *et al.*, 2018).

5- Problématique

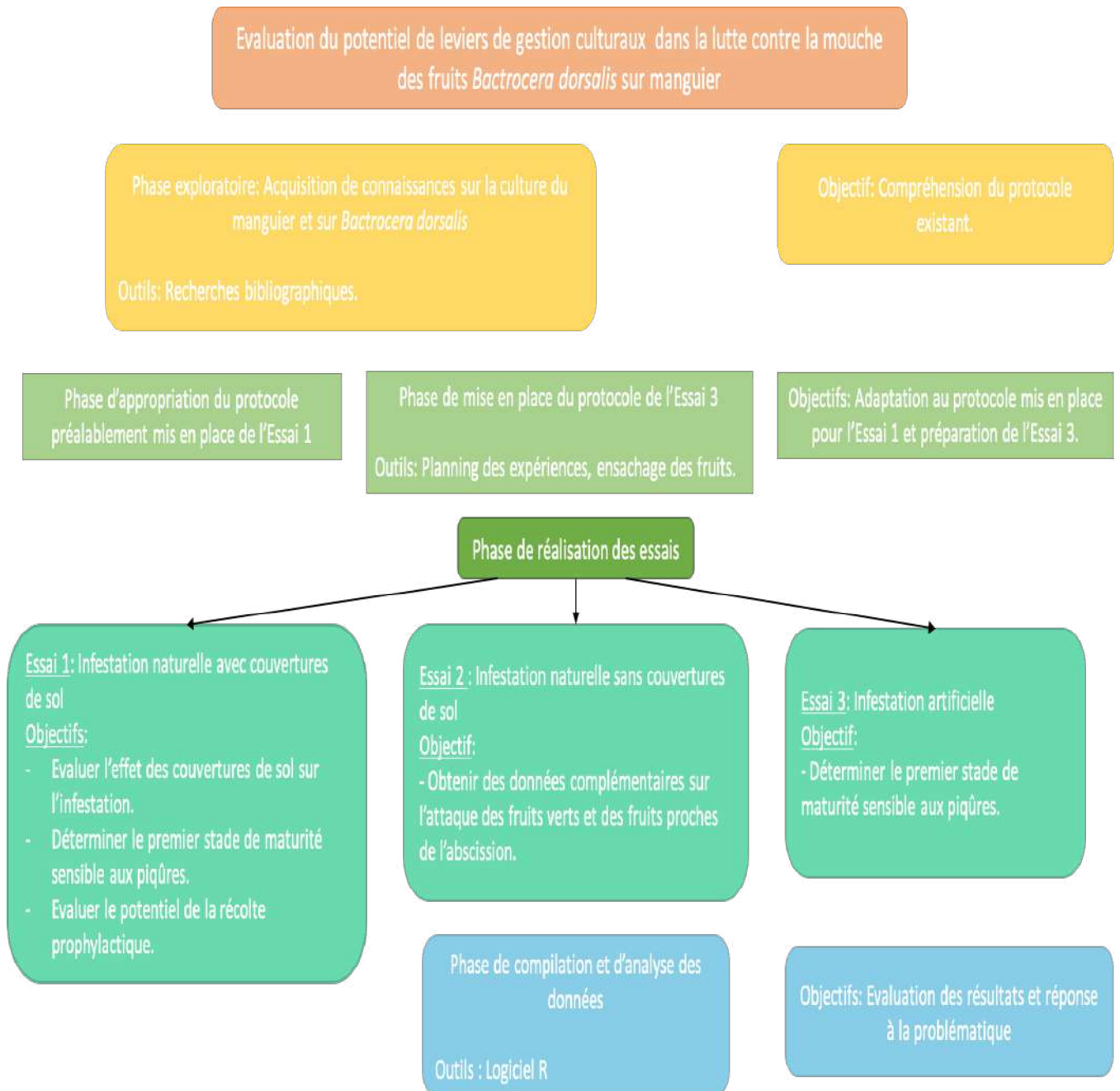
C'est donc du fait d'une inquiétude grandissante des producteurs réunionnais, en quête de solutions pour lutter contre le fléau que semble être *Bactrocera dorsalis*, que cette étude a été menée. En effet, on dit que cette mouche serait capable de piquer les fruits au stade vert, donc à un stade de maturité bien plus précoce que ses congénères. On se questionne donc sur l'influence de cette caractéristique sur les dommages causés, ainsi que de la véracité de cette information. De plus, il est connu que *B. dorsalis* est une mouche extrêmement invasive. Or, les travaux de Laura Mocquet (non publié, 2019) ont montré que sa gamme d'hôte est très variée, et lui permettent de se reproduire tout au long de l'année sur l'ensemble de l'île. Par ailleurs, certains producteurs ont parlé de pertes extrêmement importantes sur leur récolte (jusqu'à 80%).

Il est donc aujourd'hui essentiel de pouvoir caractériser le comportement de la mouche, concernant sa capacité à pondre sur des fruits verts; ainsi que de déterminer le potentiel de différents leviers cultureux de gestion, qui sont:

- L'utilisation de couvertures de sol,
- La mise en place d'une récolte précoce,
- L'élaboration d'une démarche d'élimination prophylactique des petits fruits piqués.

Le schéma ci-dessous présente la méthodologie de l'étude (Figure 15).

Figure 15 : Schéma méthodologique de l'étude



II- Matériels et méthodes

1- Démarche générale

1-1 Objectifs

Pour rappel, l'objectif principal de cette étude est de déterminer le potentiel de leviers cultureux de gestion des mouches des fruits sur le manguiers. Trois outils ont été choisis dans cette optique :

- ❖ l'utilisation de couvertures de sol dans le but de rompre le cycle de vie de la mouche,
- ❖ la mise en place d'une récolte précoce permettant d'éviter la période d'infestation,
- ❖ l'élaboration d'une démarche d'élimination prophylactique de fruits proches de l'abscission afin de réduire l'infestation par les mouches des fruits en maturation.

Cette expérimentation a été divisée en trois phases expérimentales, ayant pour but d'évaluer l'effet de ces techniques.

Dans le premier essai, trois modalités de couverture de sol sont mises en place : l'enherbement haut, l'enherbement ras et le tapis de sol. Des fruits sont récoltés pendant plusieurs mois, dans chaque modalité, puis incubés afin de quantifier l'infestation.

A travers cette expérience, on cherche à évaluer l'effet des couvertures de sol dans des conditions naturelles. De plus, il est possible de déterminer le stade optimal de récolte en observant l'infestation des mangues en fonction de leur maturité. Par ailleurs, la récolte des fruits tombés au sol permet de mesurer leur infestation et donc d'émettre une hypothèse quant à l'efficacité d'une élimination prophylactique.

Le deuxième essai suit le même déroulement, sans l'utilisation de couvertures de sol. On se concentre donc sur la détermination du stade optimal de récolte et du potentiel de l'élimination prophylactique.

Finalement, le troisième essai permet de confirmer l'hypothèse du stade optimal de récolte en mettant des mouches d'élevage en présence de mangues à différents niveaux de maturité (test de choix).

1-2 Chronologie

Cette étude s'est déroulée entre le mois d'août 2018 et le mois de février 2019 (Figure 16). Ceci correspond à la fin de la floraison et à une large partie de la période de fructification.

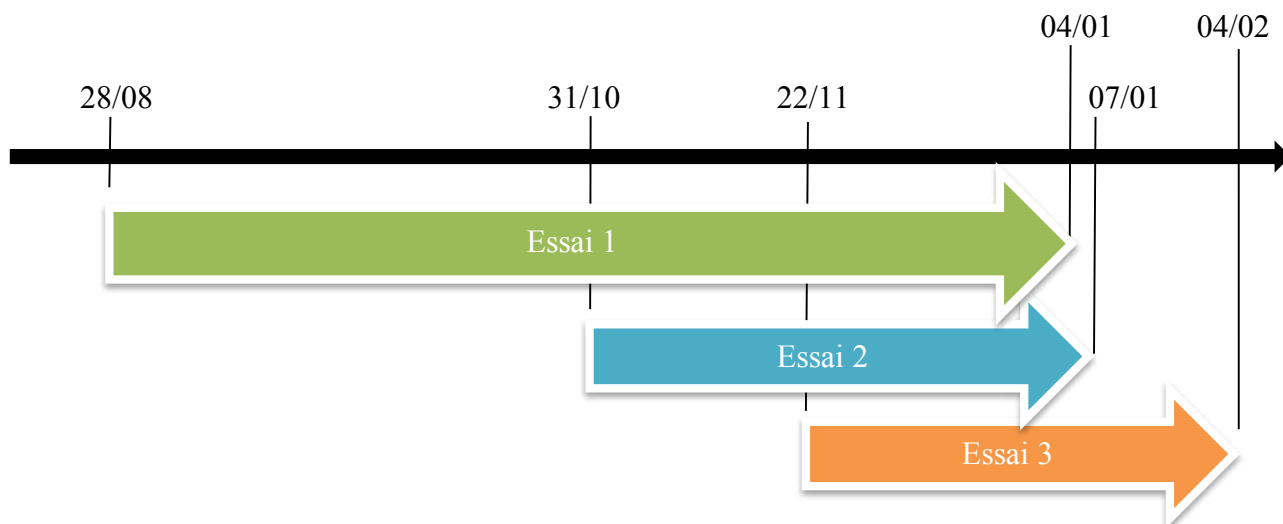


Figure 16 : Schéma chronologique du déroulement de l'étude

2- Essai 1 et 2 : infestation naturelle

Pour l'essai 1 et l'essai 2, les fruits utilisés ont été prélevés dans des vergers, où il n'y a pas de lutte contre les ravageurs. L'infestation mesurée est donc une infestation naturelle.

Bien que les objectifs des deux essais ainsi que les dispositifs expérimentaux diffèrent, notamment au niveau des caractéristiques des parcelles, le protocole de caractérisation de l'infestation reste identique.

2-1 Dispositifs expérimentaux

2-1-1 Essai 1 : Infestation naturelle avec couvertures de sol

a) Localisation de l'étude

❖ Les vergers

Le dispositif expérimental est séparé en deux parcelles comportant chacune les trois traitements suivants :

- Traitement tapis de sol,
- Traitement enherbement haut,
- Traitement enherbement ras.

Les vergers concernés sont un verger de l'exploitation (CPEA ou Centre de Production et d'Expérimentation Agricole) du lycée agricole de Saint Paul (20°58'S, 55°18'E), ainsi qu'un verger de M. Claudy Robert, qui est producteur (20°57'48.8''S 55°18'30.2''E). Ils sont situés à Saint-Paul, dans le Nord-Ouest de l'île.

Dans les deux cas, le cultivar planté est le Cogshall (greffé sur Maison Rouge).

La parcelle du CPEA (Site 1) (Figure 17) fait une surface de 0,33 hectares, avec une densité d'environ 460 arbres/ha. Les arbres ont été plantés en 2000.

La parcelle étudiée a été divisée en trois, afin d'accueillir les trois différents traitements. Chaque emplacement contient approximativement 50 arbres.

Le verger est équipé d'un système d'irrigation en goutte à goutte, et est traité au soufre micronisé, afin de lutter contre l'oïdium en période de floraison. Un traitement au Karaté Zéon® a également été effectué contre les punaises, à cette même période.

Autour de cette parcelle, se situent plusieurs vergers de manguier, ainsi que des cultures de pitaya. Ces fruits peuvent représenter une source d'infestation exogène à la parcelle d'expérimentation, ou bien être plus appétants pour les mouches que les mangues de notre essai. Le pitaya, ou fruit du dragon est notamment cité comme un fruit hôte de *B. dorsalis* au Vietnam, par un rapport de la FAO de 2014 (FAO, 2014). Cela signifie que leur présence peut influencer positivement ou négativement l'infestation de nos mangues.

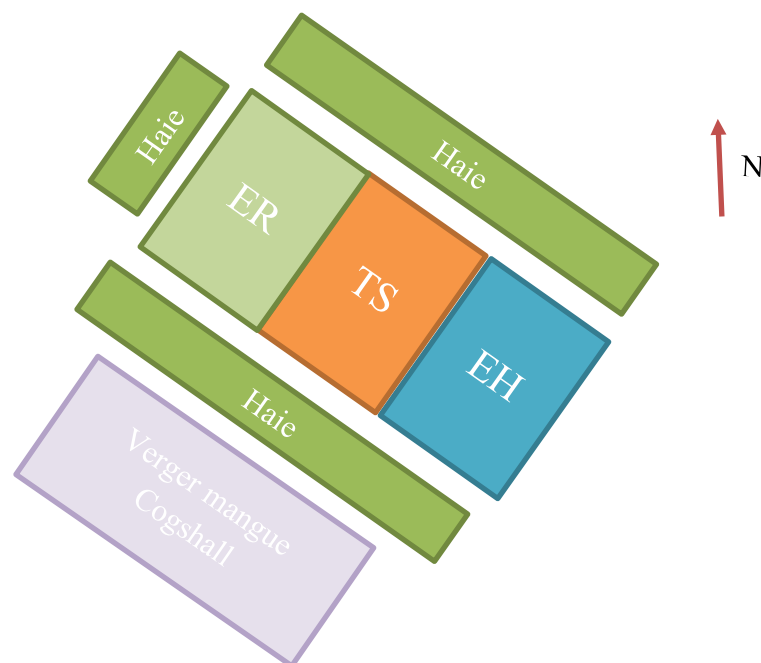


Figure 17 : Schéma de la parcelle du CPEA (Site 1)

Claudy Robert est exploitant à Piton Defaud depuis 1997, où il a 12ha en fermage et 5ha en propriété. Sur cette surface, il cultive des manguiers et du maraîchage (citrouille péi, pipangaille et piments). La parcelle où l'étude est réalisée est d'une surface de 4ha (Site 2), et a été plantée en 2014. En raison de la jeunesse des arbres, la première récolte a seulement été effectuée lors de la dernière saison (2017-2018) et a été plutôt faible (500kg).

Les manguiers ont été taillés pour la première fois en avril. Etant en agriculture conventionnelle, M. Robert a traité le verger deux fois au soufre (contre l'oïdium) et une fois au Karaté Zéon® (contre les thrips et les punaises) lors de la floraison de 2018.

La surface dédiée à l'essai mesure environ 2000m², et concerne trois rangées d'arbre : une pour chaque traitement (Figure 18).

Comme pour la parcelle du CPEA (Site 1), ce site d'expérimentation est entouré de vergers de manguiers plus âgés, ainsi que de cultures maraîchères. Il est également possible que différentes plantes hôtes de *B. dorsalis* soient présentes de manière sauvage.



Figure 18 : Schéma de la parcelle de Claudy Robert (Site 2)

❖ Le laboratoire

La partie post-récolte de l'essai se déroule au laboratoire d'agronomie de la station CIRAD de Bassin Plat. Dans ce laboratoire se trouve une pièce principale qui contient des paillasses, ainsi qu'une loupe binoculaire qui sert à identifier les mouches, et le matériel utilisé pour faire les dissections de mangue (boîtes et couteaux en plastique), le tamisage du sable (seau et tamis) ainsi que le comptage et la conservation des mouches (pinces, compteur, flacons). Il contient également une petite pièce fermée utilisée pour l'incubation des mangues. Un enregistrement horaire de la température et du taux d'humidité de cette pièce est réalisé à l'aide de capteurs (Hygro Boutons¹), afin de vérifier que les conditions dans lesquelles sont effectuées les expérimentations ne varient pas.

b) Les traitements : Couvertures de sol

❖ Les différentes couvertures de sol

Mises en place en amont du stage pour une étude sur la cécidomyie des fleurs du manguiier (cf I- 3-5-2-a, p.23), les différents types de couvertures de sol sont au nombre de trois.

1- Le traitement « tapis de sol » correspond à la pose d'un paillage synthétique noir ou vert foncé au pied des manguiers. Ce tapis étant constitué de polypropylène tissé, il est perméable, et permet l'infiltration de l'eau et l'aération du sol. Au CPEA (Site 1), du fait d'un inter rang de seulement 4m, la totalité du sol est recouverte par la bâche. Celle-ci est maintenue

¹ Hygro Bouton : enregistreur de la marque Proges, mesure de température et d'humidité et archive des relevés. Ceux-ci sont ensuite lisibles sur ordinateur à l'aide d'un logiciel (Thermotrack).

au sol par des pierres (Figure 18). Chez Claudy Robert (Site 2), ce sont des « agrafes » en métal qui la fixent (Figure 20).



Figure 19 : Couverture de sol en polypropylène tissé au CPEA (Site 1) (Amélie Briandy, 2018)

2- Afin d'obtenir l'« enherbement ras », la couverture végétale spontanée (Figure 20) devait être contrôlée mécaniquement, à l'aide d'un gyrobroyeur.



Figure 20 : Mangue verte sur enherbement ras (C. Brunet-Lecomte, 2018)

Sur la parcelle de M. Robert, le couvert n'a pas été entretenu et cette modalité s'est transformée en « enherbement haut » au fur et à mesure de l'expérimentation (Figure 21). Au CPEA (Site 1), l'enherbement est resté ras jusqu'à la remise en marche de l'irrigation fin novembre (Figure 22).

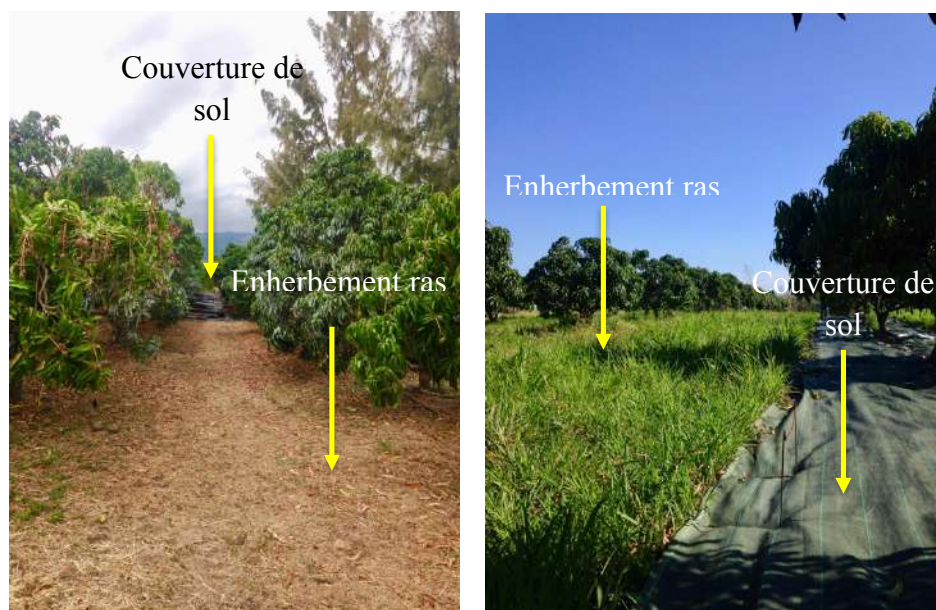


Figure 21 (gauche) : Modalités "couverture de sol" et "enherbement ras" au CPEA (Site 1) (Constance Brunet-Lecomte, 2018)

Figure 22 (droite) : Modalités "couverture de sol" et "enherbement ras" chez Claudy Robert (Site 2) (Constance Brunet-Lecomte, 2018)

L'enherbement ras a été, jusqu'à récemment, la méthode la plus couramment utilisée par les producteurs de mangue réunionnais (cf I-3-4, p.21), car elle assure une facilité dans la mise en œuvre d'autres opérations culturales comme la récolte. Cette modalité est donc notre traitement de référence.

3- Enfin, l'« enherbement haut » est une couverture végétale spontanée supérieure à 20cm de hauteur, qui n'est pas contrôlée chimiquement ou mécaniquement. Chez M. Robert, le couvert est majoritairement herbacé (Figure 23), tandis qu'au CPEA (Site 1), il est plutôt ligneux, donc d'une hauteur peu homogène.



Figure 23: Enherbement haut chez C. Robert (Amélie Briandy, 2018)

❖ Caractérisation de l'enherbement

Au cours du stage d'Amélie Briandy, une caractérisation de la flore des modalités d'enherbement haut et ras a été réalisée au CPEA (site 1). Pour cela, quatre quadrats ont été déposés par modalité, ce qui a permis d'identifier les espèces présentes, ainsi que le taux de recouvrement et le poids de matière sèche (Tableau 2).

Les familles botaniques majoritairement présentes sont des Fabacées, des Poacées et des Malvacées. Les espèces recensées sont à plus de 90% similaires entre l'enherbement ras et l'enherbement haut. Le taux de recouvrement n'est pas très élevé, ce qui est lié au fait que deux des espèces présentes dans l'enherbement haut sont des espèces ligneuses (*Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium dulce*).

Tableau 2 : Taux de recouvrement et poids en matière sèche pour l'enherbement haut (EH) et l'enherbement ras (ER) (Briandy, 2019)

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

Malheureusement, ces données ne sont pas disponibles pour l'enherbement chez M. Claudy Robert (Site 2). Néanmoins, il est possible de caractériser cette couverture de sol de façon visuelle. Ainsi, il s'agit d'un couvert herbacé très dense, qui pousse rapidement, avec un taux de recouvrement du sol qui paraît élevé.

2-1-2 Essai 2 : Infestation naturelle sans couvertures de sol

Cet essai a été effectué dans le but d'obtenir des données complémentaires au premier essai, notamment concernant l'attractivité des fruits verts et des fruits proches de l'abscission pour *B. dorsalis*. L'attractivité des fruits verts concerne principalement le levier de récolte précoce et la nécessité de connaître le premier stade de maturité de la mangue qui est sensible aux piqûres. Le risque d'infestation des fruits proches de l'abscission est lié à l'évaluation du potentiel de l'élimination prophylactique précoce.

a) Localisation

❖ Le verger

Le verger concerné par cet essai est situé sur la station CIRAD de Bassin Plat dans le Sud de La Réunion, où se trouvent des bureaux, des laboratoires, des serres ainsi que des parcelles expérimentales. Il s'agit ici du verger MA05 (site 3) (annexe 2).

Le MA05 (site 3) est un verger uniquement constitué du cultivar Cogshall, greffé sur Maison Rouge, dédié à l'expérimentation. Les rangées concernées sont la 16 et la 17. Aucun traitement contre la mouche des fruits n'a été réalisé en amont de notre expérimentation. L'enherbement y est ras, comme cela est courant chez les producteurs réunionnais (cf I- 3-4, p.21). Aux alentours de cette parcelle se trouvent plusieurs vergers de manguiers de différents cultivars (Kent, José...), ainsi que des parcelles d'agrumes et de litchis.

❖ Le laboratoire

L'expérimentation a également été réalisée dans le laboratoire de Bassin Plat (cf II-2-1-1-a, p.35)

2-2 Protocole expérimental des essais 1 et 2

2-2-1 Données météorologiques (essai 1)

Dans l'optique de mesurer l'influence des différents couverts de sol sur la température et l'humidité, des capteurs ont été mis en place sur les vergers au cours du stage d'Amélie Briandy (cf I-1-2, p.13) Au CPEA (Site 1), trois TinyTags² par modalité (tapis de sol, enherbement ras et haut) ont été installés au niveau du sol, dans le but de mesurer la température des premiers centimètres de la couche arable. Trois Hygro Boutons par modalité ont également été positionnés avec les TinyTags, afin de mesurer l'humidité. Par ailleurs, trois autres Hygro Boutons par traitement mesuraient la température et l'humidité de la canopée. Il y avait donc neuf TinyTags et neuf Hygro Boutons au sol, ainsi que neuf Hygro Boutons dans la canopée. Chez Claudy Robert (Site 2), deux Hygro Boutons ont été posés sous la couverture de sol (TS), puis deux au-dessus de la couverture et deux sur le sol pour l'enherbement haut (EH). Il y en avait aussi deux dans la canopée pour chacune de ces deux modalités.

2-2-2 Récolte

a) Essai 1

Pour le premier essai, il y a eu 6 dates d'échantillonnage, qui ont eu lieu les 16 octobre, 07 et 12 novembre, ainsi que les 04, 13 et 14 décembre 2018. Les fruits sont ramassés à différents stades de maturité, au sein de chaque traitement. Au cours des premiers mois, les fruits sélectionnés sont petits, verts et proches de l'abscission. Par la suite, nous avons choisi tant des mangues vertes que des mangues à des stades de maturité plus élevés, comme le stade point jaune ou mûr. Ce choix est effectué en fonction des fruits disponibles sur la parcelle. La quantité d'échantillons et le nombre de fruits par échantillon sont intrinsèquement dépendants de la disponibilité des fruits sur les vergers.

² TinyTag : Enregistreur de la marque Gemini Data Logger, permet de surveiller les températures comprises entre -25 et +85 °C et l'humidité relative entre 0 et 100 % à l'aide de capteurs intégrés. Les données sont ensuite récupérées à l'aide du logiciel TinyTag Explorer.

A la récolte, les fruits sont séparés en fonction de la modalité dont ils proviennent, c'est-à-dire en trois catégories, qui sont « enherbement haut », « enherbement ras » et « tapis de sol ». Les fruits cueillis sur arbre sont répartis en fonction de leur stade de maturité.

Les fruits ramassés au sol sont quant à eux scindés en deux groupes: les mangues tombées récemment, appelés mangues « nouvelles », et les fruits ayant l'air plus vieux, nommés mangues « anciennes ». Les fruits présentant un ramollissement des chairs, un changement de couleur (vers le marron) et des traces de pourriture sont placés dans cette dernière catégorie. Cette distinction est donc visuelle.

Cette classification a été utilisée pour tous les traitements et tous les sites d'expérimentation, et est schématisée dans la figure suivante (Figure 24).

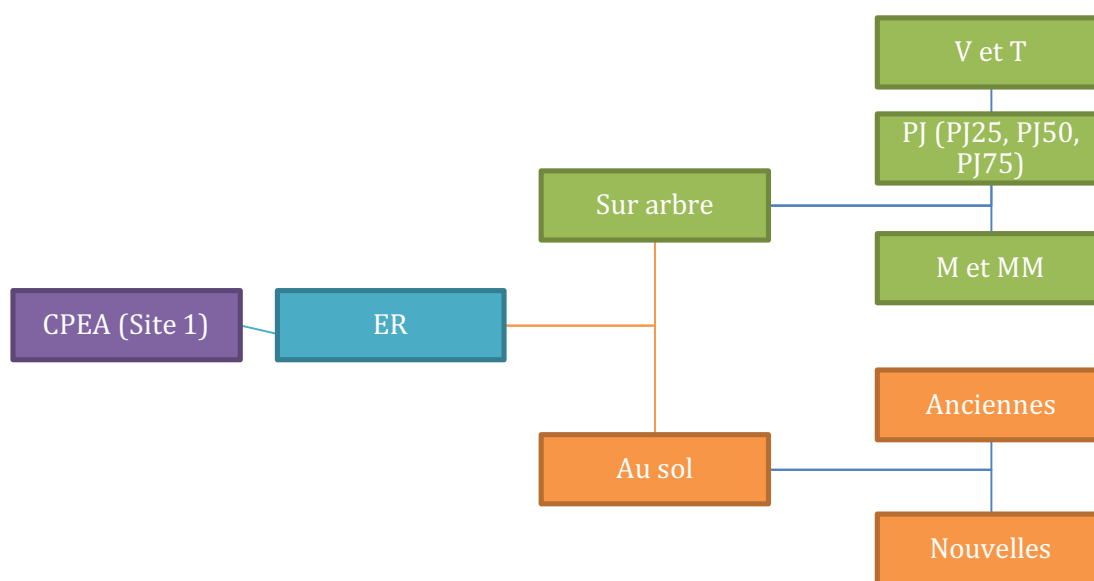


Figure 24 : Catégories de tri des échantillons de mangue sur la modalité ER de l'essai 1
V et T représentent les stades de maturité vert et tournant, PJ est le stade point jaune et ses degrés de progression (25%, 50% et 75%), et M et MM sont les stades mûr et sur-mature.

b) Essai 2

Le principe est le même pour le deuxième essai, à la différence qu'il n'y a eu qu'une seule date de récolte : le 31 octobre 2018. L'échantillon récolté est donc bien plus modeste.

Par ailleurs, les différentes catégories de fruits récoltés sont : des fruits verts, proches de l'abscission, ou bien tombés au sol. Les fruits au sol sont au stade de maturité petit fruit vert.

Après la récolte, les fruits sont immédiatement transportés au laboratoire de Bassin Plat (cf II-2-1-1-a, p.35) et la suite du protocole est alors mise en place.

2-2-3 Caractérisation de la maturité

a) Évaluation visuelle

Pour les deux essais, une évaluation de la maturité du fruit est d'abord réalisée au cours de la récolte, comme décrit précédemment (cf II-2-2-2 p.42). La maturité est observable grâce à l'apparition d'une pigmentation jaune au niveau de l'apex, puis de l'évolution de la proportion

de la zone jaune par rapport à la pigmentation verte initiale. Cette progression est variable en fonction du cultivar ainsi que du fruit. De plus, une pigmentation rouge ou violette peut apparaître du fait de l'exposition au soleil.

Pour la Cogshall, sept stades de maturité ont été déterminés : le stade vert (V), le stade tournant (T), les stades point jaune à 25, 50 et 75% (PJ25/50/75), le stade mûr (M) et le stade sur-mature (MM) (Figure 25).

A. Les sept stades de maturité de la mangue Cogshall

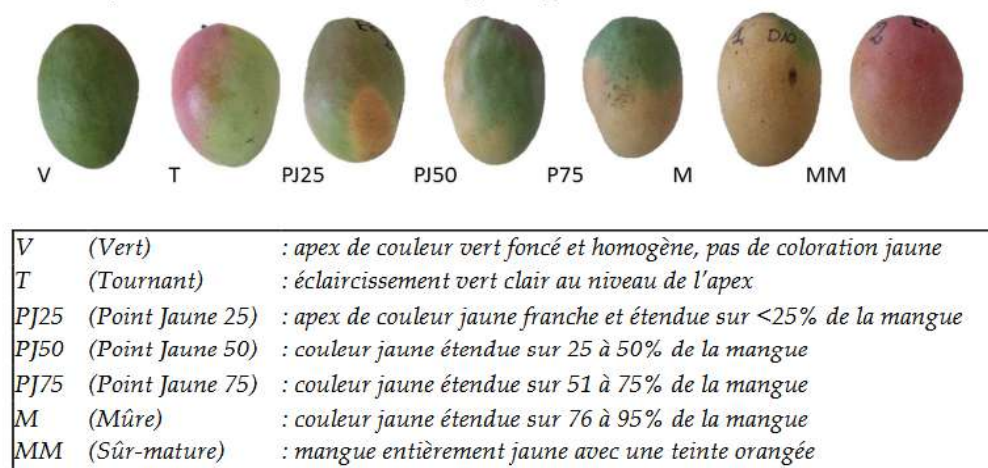


Figure 25 : Echelle visuelle de maturité de la mangue Cogshall (Caillat, 2016)

Cette méthode, dépendant du jugement de chacun, peut comporter une certaine part de subjectivité. C'est pour cela que l'on utilise également la mesure de la fluorescence chlorophyllienne, présentée dans le paragraphe suivant.

b) Mesure de la fluorescence chlorophyllienne

Le déclenchement de la photosynthèse suit un processus d'absorption de l'énergie lumineuse par les pigments (chlorophylles a, b, ab et caroténoïdes), puis un piégeage de cette énergie, déclenchant un transfert d'électron. Cette dernière étape conduit à la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique.

Au cours de cette procédure, les pigments chlorophylliens, lesquels reçoivent des photons, émettent de la chaleur ou bien de la lumière (fluorescence) afin de retrouver leur état fondamental (Eyletters, *et al.*, 2010).

Du fait d'un stress ou bien de la maturation, les pigments chlorophylliens sont dégradés, et remplacés par d'autres pigments, ce qui diminue la fluorescence chlorophyllienne.

La mesure de la fluorescence est donc une méthode non destructive qui permet de détecter les changements de la composition des pigments au niveau cellulaire avant que ceux-ci soient visibles à l'œil nu (Lechaudel, 2010).

Cette mesure est prise avec un fluorimètre PEA portable (Fluorescence Monitoring System FMS 2, Hansatech). Le capteur de l'instrument est positionné au-dessus de l'apex, sur la face "ombre" du fruit (face non exposée au soleil).

L'appareil donne trois mesures différentes : la fluorescence minimale (F_0), la fluorescence maximale, la fluorescence variable ($F_v = F_m - F_0$) ainsi que le rendement quantique maximal du PSII (F_v/F_m). Seule la valeur de fluorescence variable est ici utilisée comme un indicateur de maturité (Lechaudel, 2010).

2-2-3 Caractérisation de l'infestation

Après avoir été pesées, les mangues sont ensuite incubées pendant trois semaines dans des sachets contenant du sable de rivière, lequel permettra la nymphose des larves, qui, dans la nature s'empupent dans le sol (cf I-3-3-1, p.18). Les sachets utilisés sont des sacs d'ensachage en papier microperforé. Le sable est placé dans une étuve pendant 24 heures toutes les deux semaines, ce qui permet de le stériliser.

Le stockage est fait dans une pièce dont la température est mesurée en continu. Les sachets en papier sont marqués de la date et du lieu de récolte ainsi que du traitement, de l'état et du numéro de l'échantillon. Ces informations permettent d'identifier le fruit au cours de l'expérimentation.

Lorsque la période d'incubation est terminée, les sachets sont ouverts, permettant le dénombrement des mouches, larves et pupes. Pour capturer les adultes, un aspirateur à bouche est utilisé. Les mouches sont alors identifiées à l'aide d'une loupe binoculaire et de clés de détermination (annexe 1), puis préservées dans des flacons contenant de l'alcool. Cela permet par la suite d'effectuer une vérification de l'identification.

Le sable est tamisé afin de récupérer et de compter les pupes (Figure 26). Concernant les larves, une dissection attentive des fruits permet de toutes les extraire (Figure 27).



Figure 26 (gauche) : Pupes et mouches résultant du tamisage du sable d'un test d'infestation. (C. Brunet-Lecomte, 2018)

Figure 27 (droite) : Dissection d'une mangue à la fin d'un test d'infestation (C. Brunet-Lecomte, 2018)

Les pupes et les larves sont placées dans des boîtes en plastique dont le couvercle est grillagé, donnant l'opportunité aux adultes et possibles parasitoïdes de se développer. Cela permet donc de dénombrer les adultes et de pouvoir identifier les espèces de mouches, car ce n'est pas possible aux stades pupa et larve. L'émergence de parasitoïdes montre le niveau de parasitisme existant dans les vergers, ainsi que l'espèce des parasitoïdes présents. Ces boîtes sont conservées une semaine dans la pièce dédiée à l'incubation, puis les adultes sont retirés, comptés, identifiés et rangés dans le flacon correspondant.

L'expérience est résumée dans le schéma ci-dessous (Figure 28).

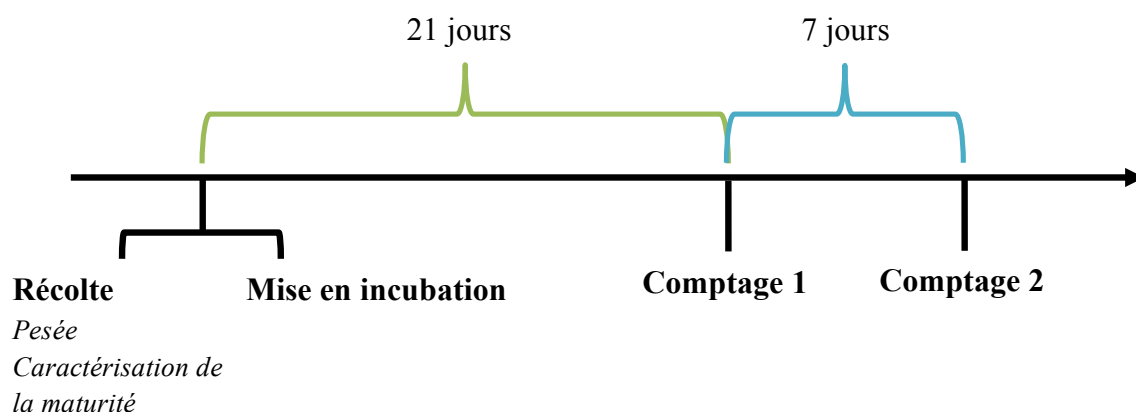


Figure 28 : Schéma du déroulement d'un test d'infestation pour les essais 1 et 2.

En résumé, ce test d'infestation nous permet d'obtenir les données suivantes :

- la composition de la population de mouches (espèces),
- l'existence et la composition de la population de parasitoïdes,
- l'attractivité des différents stades de maturité,
- l'attractivité des fruits proches de l'abscission,
- les taux d'infestation en fonction des modalités de couvertures de sol,
- les taux d'infestation en fonction de l'avancée de la dégradation des fruits.

3- Essai 3 : Infestation artificielle

3-1 Dispositif expérimental

3-1-1 Localisation

a) Le verger

Trois manguiers ont été sélectionnés dans le verger MA02 (Site 4) (annexe 3) sur la station de Bassin Plat. Ce verger rassemble 10 variétés de manguiers dans le but d'évaluer leur comportement agronomique et notamment le rendement. Les arbres sélectionnés sont le A3, A17 et K17. Ce sont des cultivars de Cogshall greffés sur Maison Rouge. Leur localisation dans la parcelle a peu d'importance, car leur rôle est uniquement de fournir des fruits sains.

En revanche, le fait qu'ils soient situés en bordure de parcelle joue un rôle sur leur exposition au soleil, et peut donc influencer sur la rapidité de maturation des fruits. Leur emplacement a donc une influence sur le déroulement de l'expérimentation, en raison de l'importance des stades de maturités des fruits, mais cela n'a pas d'impact direct sur les résultats (cf I-3-3-1, p.18).

b) Le laboratoire

La suite de l'essai est effectuée au laboratoire d'entomologie du Pôle Protection des Plantes (3P, IBiSA) de la station CIRAD de Ligne Paradis.

Différentes salles sont concernées par l'expérimentation : une cellule d'élevage (température : 25°C, humidité : 65%), deux cellules pour l'infestation (température : 25 et 26°C, humidité : 70 et 68%) ainsi que la chambre climatique NS-2 pour l'incubation (température : 25°C, humidité : 90%). Cette chambre contient un système de rotation et est plongée dans l'obscurité. Les autres pièces sont réglées sur une photopériode de 12/12.

3-1-2 Protection des fruits

Pour cet essai, il est essentiel que les fruits utilisés soient sains. C'est pourquoi la totalité des fruits à hauteur d'homme a été ensachée sur les trois arbres concernés (Figure 29), au stade vert afin de réduire au maximum la probabilité d'infestation.

Les sacs utilisés sont des housses à fruits en papier microperforé fermées par des liens, commercialisées par Nortene. Le coût de revient par fruit est de 27 centimes, uniquement en termes d'achat de housses, ce qui pousse à utiliser un sachet pour plusieurs fruits. Or, avec cette technique, en murissant, les fruits grossissent et déchirent le papier. De plus, si un des fruits est touché par l'antracnose (cf I-3-5-1-a, p.22) ou la bactériose (cf I-3-5-1-c, p.23), il risque de contaminer les fruits voisins dans le sachet. Seuls les fruits sains et correctement protégés ont été retenus pour la récolte.



Figure 29 : Manguiers dont les fruits sont ensachés (Constance Brunet-Lecomte, 2018)

3-2 Mesures et observations

3-2-1 Récolte

Pour évaluer le stade de maturité des fruits et choisir ceux qui seront dédiés à l'expérimentation, le papier microperforé des sacs de protection étant relativement opaque, il est possible d'identifier le stade vert et le stade mûr par transparence, mais les stades intermédiaires, dont les changements de couleur sont subtils, ne sont pas identifiables. Il est donc nécessaire d'enlever la housse de chaque fruit, de noter le stade de maturité et de remettre le sachet à chaque contrôle de maturité.

Les fruits sont ensuite sélectionnés de manière aléatoire sur les trois arbres afin d'obtenir douze cages d'infestation contenant chacune trois mangues à différents niveaux de maturité. Cet objectif reste cependant conditionné par la disponibilité en fruits.

Les différences de rapidité de maturation liées à l'exposition au soleil ainsi qu'à l'asynchronisme de croissance du manguier ont provoqué certaines difficultés à cette étape. De plus, au fur et à mesure de l'avancement de la saison, la disponibilité en fruits verts a diminué, tandis que la disponibilité en fruits mûrs a augmenté. Il n'a pas été possible de récolter les mangues selon les objectifs fixés.

3-2-2 Caractérisation de la maturité

Tout comme dans les essais 1 et 2, la maturité des mangues récoltées est évaluée visuellement avec la charte des stades de maturité, puis est mesurée à l'aide de la fluorescence chlorophyllienne (cf II-2-2-3-b, p.43).

3-2-3 Caractérisation de l'infestation

La suite de l'expérimentation se déroule dans le laboratoire d'entomologie du 3P (cf II-3-1-1-b, p.46).

Un test de choix est ensuite effectué : trois mangues à différents niveaux de maturité (idéalement Verte, Point Jaune et Mature) sont sélectionnées en fonction de leur poids, afin d'avoir trois fruits de masses à peu près homogènes entre eux dans les cages. La zone où le pédoncule a été coupé est protégée à l'aide de papier d'aluminium. En effet, il semblerait que les mouches soient particulièrement attirées par cette partie, potentiellement du fait de la formation de microfissures sur l'épiderme à cet endroit, suite à la récolte. Les fruits sont ensuite introduits dans une cage contenant six mouches femelles ayant atteint leur maturité sexuelle et fécondées. Ces mouches ont préalablement été élevées en laboratoire par les techniciens de l'UR PVBMT du Cirad, dans une cellule à 25 °C avec une humidité de 65%.

Chaque cage contient un abreuvoir, un récipient avec du sucre et de l'hydrolysate de protéines, nécessaires à la survie des mouches. Les trois mangues sont disposées sur des boîtes en plastique servant de socles, permettant aux femelles d'avoir accès à l'ensemble du fruit pour trouver leurs sites de pontes idéaux, dans chacune des douze cages d'infestation.

L'infestation dure 24h dans la cellule d'élevage, au terme de laquelle les mangues sont placées à incuber dans des sacs en papier microperforé contenant du sable de rivière stérilisé pour éviter une infestation d'une espèce non désirée. L'incubation se déroule dans la chambre climatique NS-2 sur une durée de 19 jours. Suite à cette étape, le sable est tamisé pour en récupérer les

pupes, les fruits sont disséqués et les mouches capturées. L'identification n'étant pas nécessaire, les insectes sont seulement dénombrés.

La destruction des fruits dans une autoclave est impérative afin d'éviter les risques de libération d'insectes d'élevage dans la nature. Cette machine ne fonctionnant que du lundi au jeudi, le choix des dates d'infestation et de dissection est donc conditionné par sa disponibilité. Le planning défini pour cet essai est présenté dans le tableau suivant (Tableau 3).

Tableau 3 : Planning de l'essai 3

Traitement	Infestation	Incubation	Fin incubation
B. dorsalis / Cogshall I1	18/12/18	19/12/18	07/01/19
B. dorsalis / Cogshall I2	07/01/19	08/01/19	28/01/19
B. dorsalis / Cogshall I3	10/01/19	11/01/19	31/01/19

Des dates avaient été définies au préalable avec les techniciens du CIRAD responsables de l'élevage des mouches, afin que nous ayons des cohortes à disposition avec des femelles à maturité sexuelle et fécondées. Il a donc été nécessaire de coordonner cet impératif avec les contrôles de maturité des fruits et les récoltes. Or une vague de chaleur combinée à une saison des pluies très sèche a précipité la maturité des mangues, c'est pourquoi nous avons avancé la dernière date d'infestation, afin d'assurer la récolte de fruits verts. Le rapprochement des deux dernières dates n'a posé aucun problème logistique, et nous avons suffisamment de femelles issues de la deuxième infestation.

Le schéma ci-dessous résume le déroulement de cet essai (Figure 30), qui est décrit plus tôt.

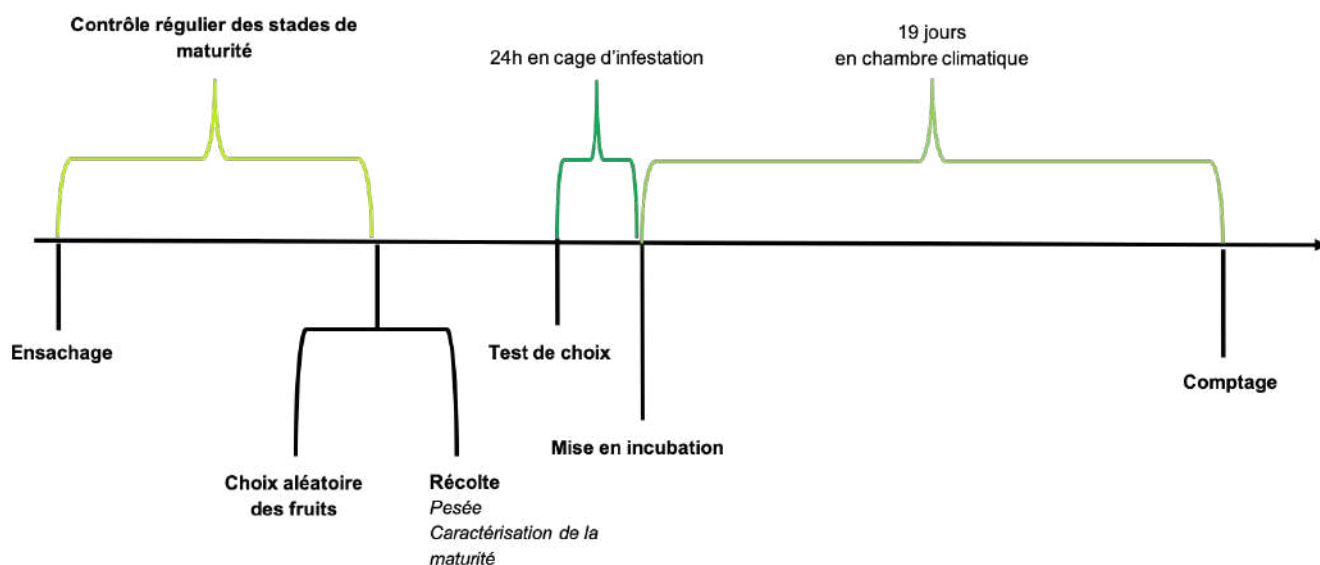


Figure 30: Schéma du déroulement de l'expérience d'infestation artificielle (essai 3)

3- Analyse statistique

Les données obtenues au cours des expérimentations décrites précédemment ont été traitées avec le logiciel statistique R (version 3.5.0), en utilisant l'interface RStudio (version 1.1.463). Il s'agit ici d'évaluer l'effet de variables qualitatives, comme les couvertures de sol et les stades de maturité, sur des variables quantitatives, qui correspondent aux taux d'infestation et aux émergences de mouches.

Les objectifs principaux étaient d'obtenir :

- Une corrélation entre les différents types de couvertures de sol et l'infestation,
- Une corrélation entre les stades de maturité et l'infestation.

Pour tous les tests statistiques réalisés, le seuil de signification est fixé à 5%.

Dans l'essai 1, des modèles de type binomial ou de Poisson ont été utilisés dans le but de chercher l'effet de la maturité des fruits, puis de la position sur les résultats, par traitement.

Il n'y a pas eu d'analyse statistique avec le logiciel R sur l'essai 2, car celui-ci ne comportait qu'un seul échantillon, avec des effectifs faibles, ce qui ne permet pas d'analyser les données.

Pour le troisième essai, on a utilisé un test exact de Fisher qui permet d'analyser des tables de contingence pour calculer des probabilités, puis un modèle mixte à effet aléatoire généralisé (glm), ensuite un Chi2 pour tester la significativité des résultats ; pour finir par un test de Tukey, afin de réaliser des comparaisons multiples.

III- Résultats

Les stades de maturité sur-mature, mûr, point jaune, vert ou très vert seront par la suite mentionnés, respectivement, comme suit: MM, M, PJ, V et VV.

Dans les essais 1 et 2 effectués en conditions naturelles, l'ensemble des mouches émergées identifiées font partie de l'espèce *Bactrocera dorsalis*. Aucune mouche *Bactrocera zonata*, *Ceratitis capitata* ou *Ceratitis quilicii*, préalablement dominantes sur l'île, n'ont été trouvées, ce qui signifie que *B. dorsalis* a eu un comportement invasif, auquel l'on pouvait s'attendre.

Un seul individu de parasitoïde a été trouvé, de l'espèce *Fopius arisanus*, pendant le test d'infestation de l'essai 2.

1- Essai 1: Infestation naturelle avec couvertures de sol:

1-1 Analyse descriptive

1-1-1 Climat

Tout d'abord, il paraît pertinent de s'intéresser au climat que nous avons eu sur nos deux sites expérimentaux, pendant la saison de la mangue. Le diagramme ombrothermique ci-dessous (Figure 31) nous montre les variations de température et de pluviométrie au cours de notre étude, en comparaison avec la moyenne des températures et de la pluie calculées entre 1981 et 2000, sur la région de Saint-Paul. La pluviométrie importante rencontrée en juin, qui correspond pourtant à la saison sèche, a pu retarder le début de la floraison. De même, les fortes pluies d'octobre pourraient être à l'origine de l'apparition d'anthracnose, tandis qu'en décembre la pluviométrie enregistrée est inférieure de plus de 30 mm aux normales de saison. Or il s'agit de la période de maturation et du début de la récolte des mangues. Ces pluies faibles ont potentiellement causé un retard de développement chez certains fruits.

Par ailleurs, étant donné que la pluviométrie a une forte influence positive sur le développement des mouches (cf partie I.4.1 p.26), il est possible que les fortes pluies du mois d'octobre aient participé à l'augmentation des infestations.

Au niveau des températures, les moyennes mensuelles sont restées très proches des températures normales, quoique légèrement plus élevées.

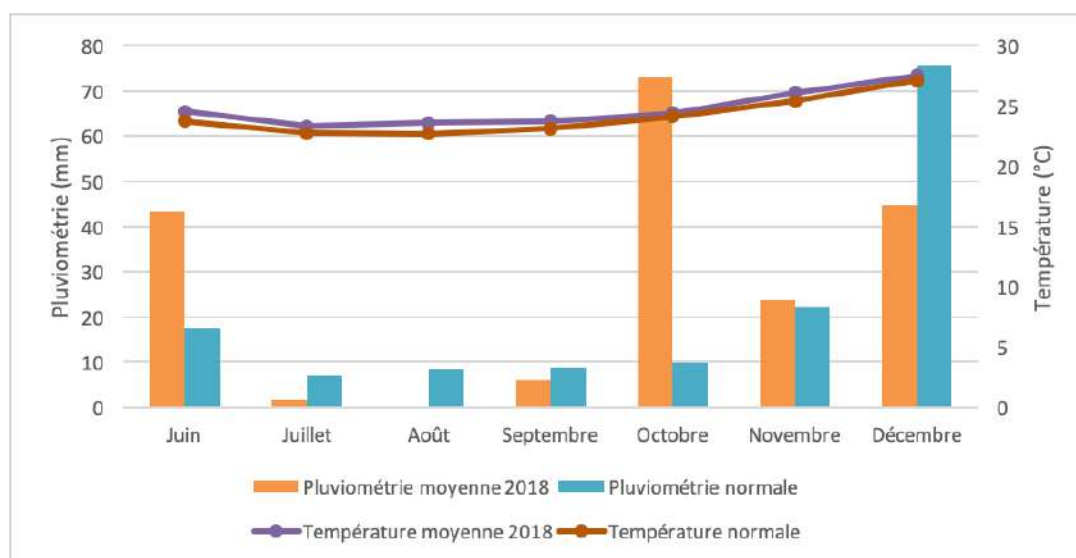


Figure 31: Diagramme ombrothermique de Saint-Paul sur la période de juin à décembre 2018 (France, 2019)

Concernant les relevés effectués sur le terrain (Figure 32), il s'avère qu'il n'y a eu que peu de différence de température au niveau de la canopée en fonction des traitements. Au niveau du sol, les températures moyennes relevées au cours du stage d'Amélie Briandy ne montrent pas de différence significative entre les traitements. La hausse des températures au fur et à mesure des relevés est expliquée par la hausse des températures globales, liée au début de l'été austral. Il semblerait donc que les traitements n'ont pas d'influence sur le micro climat de la parcelle, et donc qu'il n'y aura pas ou peu de conséquences sur les manguiers de ce point de vue.

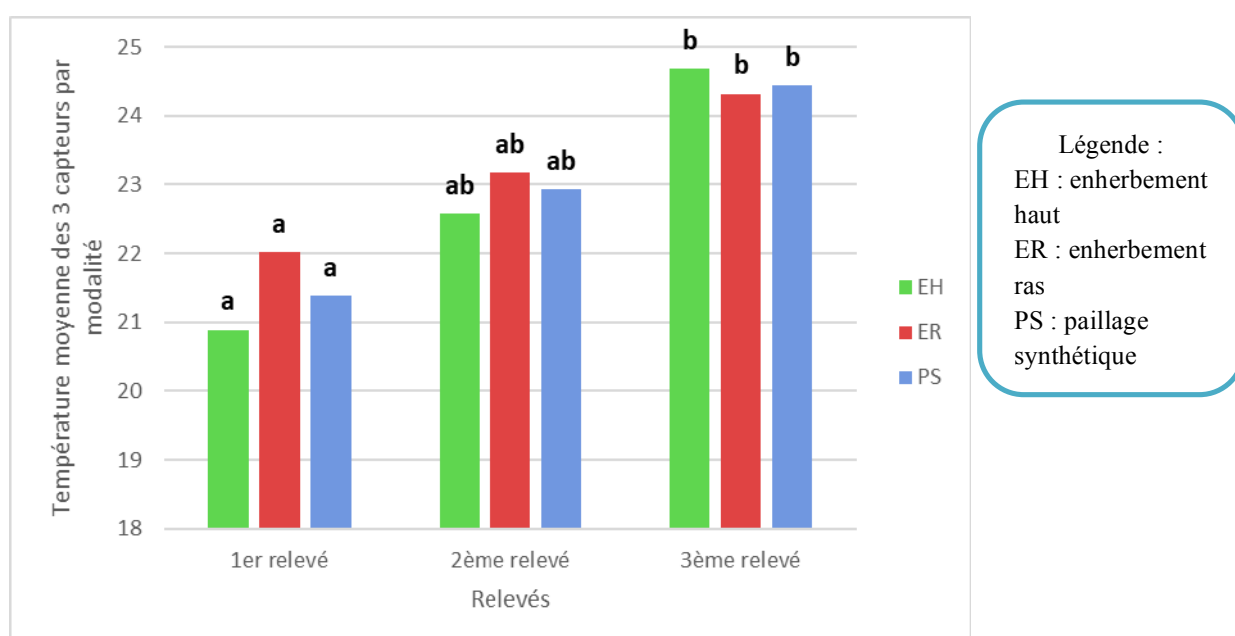


Figure 32: Moyenne des températures au sol en fonction des trois différents traitements. (Briandy, 2019)

Ici, les températures moyennes (annexe 4) de chacun de ces capteurs par période et par modalité ont été comparées par comparaisons multiples au moyen d'un test de Dunn à la suite du test de

Kruskal-Wallis. Les lettres « a » « ab » et « b » montrent qu'il y a une différence significative entre les températures du 1^{er} et du 3^{ème} relevé.

1-1-2 Échantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé entre le 16 octobre et le 14 décembre. Au total, 386 fruits ont été récoltés, mis à incuber puis disséqués, pour un total de 666 larves, 1892 pupes et 1283 adultes comptabilisés et identifiés.

La répartition de ces fruits par catégorie est visible dans le tableau suivant (Tableau 4).

Tableau 4 : Effectifs des échantillons de l'essai 1

Modalité	Position	Etat	Site 1	Site 2
Enherbement haut	Sol	Nouvelle	23	11
		Vieille	12	9
	Arbre	V	7	13
		T	0	0
		PJ25	1	0
		PJ50	2	0
		PJ75	3	0
		M	7	0
		MM	3	0
Enherbement ras	Sol	Nouvelle	25	31
		Vieille	35	34
	Arbre	V	7	28
		T	2	0
		PJ25	0	1
		PJ50	1	0
		PJ75	0	1
		M	0	0
		MM	0	0
Tapis de sol	Sol	Nouvelle	30	35
		Vieille	16	15
	Arbre	V	6	20
		T	2	0
		PJ25	1	0
		PJ50	0	0
		PJ75	2	0
		M	0	0
		MM	1	0

Le Site 1 correspond au verger du CPEA, et le Site 2 à la parcelle du producteur nommé Claudy Robert.

Les lettres utilisées dans ce tableau font référence aux stades de maturité des mangues, comme suit : vert (V), tournant (T), point jaune à 25% (PJ25), point jaune à 50% (PJ50), point jaune à 75% (PJ75), mûr (M), et sur-mature (MM).

On dénombre 27 catégories de fruits par site. Cette complexité est de plus liée aux nombreuses interactions entre les modalités (couvertures de sol), les facteurs endogènes aux parcelles (population globale de mouche et ses variations) ainsi qu'aux caractéristiques mêmes des fruits (stades de maturité), ce qui rend le traitement des données compliqué.

Au CPEA (Site 1), les 6 échantillons ont été prélevés à 6 dates différentes : le 16 octobre, 07 et 12 et novembre, ainsi que le 04, le 13 et le 14 décembre.

Chez Claudy Robert (Site 2), il y a eu 4 dates, qui ont été les: 16 octobre, 07 novembre, 04 et 13 décembre. Comme on peut le voir sur le tableau précédent (Tableau 4), il n'y a pas eu de récolte de fruits sur arbre au-delà du stade vert chez Claudy Robert (Site 2). Nous n'avons donc pas d'observations sur les stades de maturité les plus touchés sur ce site.

Afin d'obtenir un pourcentage d'infestation, il est nécessaire de connaître le nombre de fruits infestés, c'est pourquoi chaque fruit est mis en incubation dans un sachet papier individuel. Or, au début de l'échantillonnage, à la date du 16 octobre, plusieurs fruits avaient été regroupés dans les sacs en papier. Cela donne donc un nombre d'émergence pour la totalité des fruits du sac, et ne permet pas de savoir combien de mangues étaient infestées dans ce groupe.

Par la suite, les fruits ont donc été ensachés de façon individuelle. Les données résultant de l'échantillonnage réalisé à cette date du 16 octobre n'étant pas homogènes avec les autres, elles n'ont pas été prises en compte dans l'analyse statistiques, mais ont cependant fourni des informations qualitatives.

1-1-3 Fruits verts

Au CPEA (Site 1), il n'y a pas eu d'infestation sur les fruits verts qui étaient prélevés sur l'arbre. Cependant, il est possible que les mouches soient attirées par les fruits verts si il n'y a pas d'autres fruits hôtes plus attractifs. L'infestation des jeunes fruits pourrait donc dépendre de la pression des ravageurs sur la parcelle, or nous n'avons aucun dispositif de suivi de la dynamique des populations des mouches, cette pression n'est donc pas mesurée.

Par ailleurs, nous ne pouvons pas savoir si les jeunes fruits ramassés au sol étaient tombés de façon naturelle, dû à un éclaircissage effectué par l'arbre (l'abscission), ou bien si des piqûres ont causé leur murissement précoce et ensuite leur chute (cf I.3-5-2-d p.24). Il est donc possible que leur infestation n'ait pas eu lieu au sol mais sur l'arbre.

1-1-4 Fruits au sol et fruits sur arbre : élimination prophylactique

Au cours de l'expérimentation au CPEA (Site 1), nous avons pu facilement constater une différence d'infestation entre les fruits au sol et les fruits sur arbre. En effet, pour les fruits au sol toutes catégories confondues, 85 sur 277 étaient piqués, soit 30,1%. Concernant les fruits sur arbre, sans différenciation de stade de maturité, seuls 12 fruits sur 109 étaient infestés, soit 11%.

Comme nous pouvons l'observer sur le graphique ci-dessous (Figure 33), ce risque d'attaque augmente avec le temps, en passant de 46,7% pour une mangue récemment tombée, à 75% pour

un fruit tombé depuis plus longtemps, c'est-à-dire une mangue montrant des signes de dégradation (brunissement, pourriture).

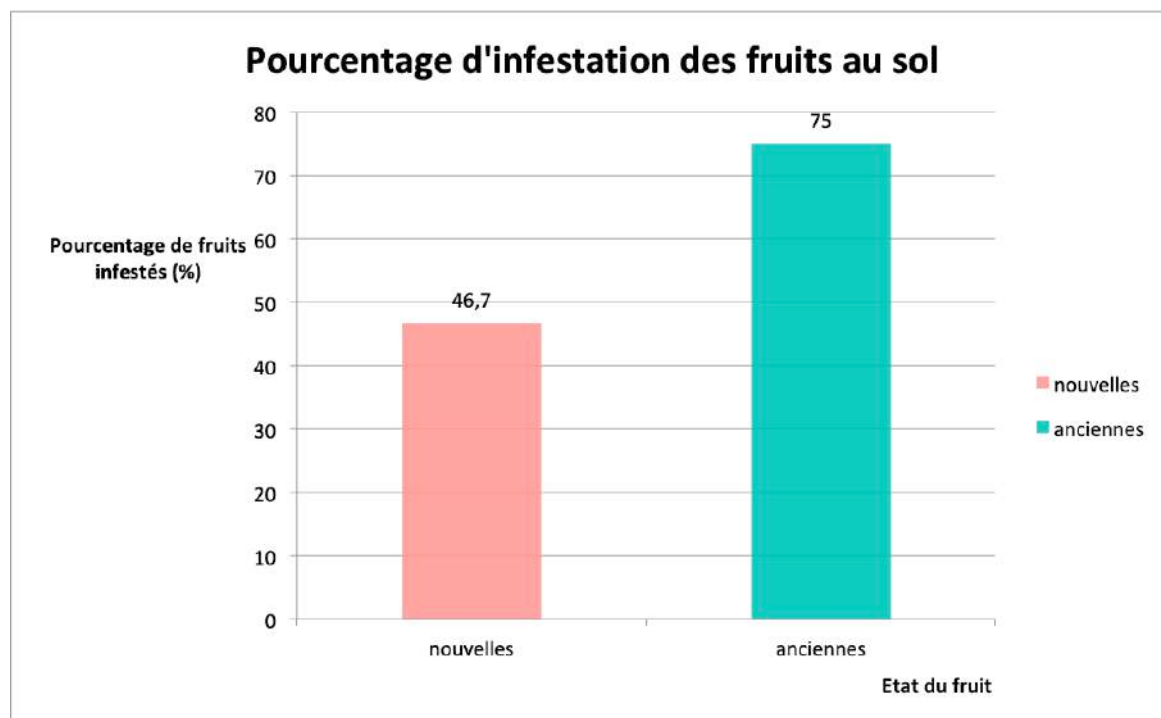


Figure 33: Pourcentage d'infestation des fruits au sol en fonction de leur détérioration.

Par ailleurs, le nombre d'adultes émergés des fruits après incubation nous montre que l'émergence est plus importante pour des fruits plus "anciens" (10,32 adultes émergés par fruit en moyenne) que pour les fruits nouvellement tombés (5,45 adultes émergés par fruit en moyenne). Il y a donc probablement une augmentation de la quantité de piqûres en fonction du temps que les fruits passent au sol. Cela montre l'intérêt d'effectuer une récolte sanitaire le plus régulièrement possible.

1-1-5 Infestation et stades de maturité : récolte précoce

Etant donné qu'il n'y a pas eu de récolte de fruits aux stades point jaune et mûr chez Claudy Robert (site 2), seules les données du CPEA (site 1) ont été utilisées pour étudier l'influence des stades de maturité sur l'infestation.

Nous pouvons ici observer (Figure 34) que les pourcentages d'infestation diffèrent en fonction des stades de maturité pour les fruits récoltés sur arbre. Le stade point jaune 50 (PJ50) apparaît comme étant le plus attaqué, suivi par le stade point jaune 75 (PJ75) et le stade mûr (M). Les stades point jaune 25 (PJ25), tournant (T) et vert (V) ne sont pas du tout touchés.

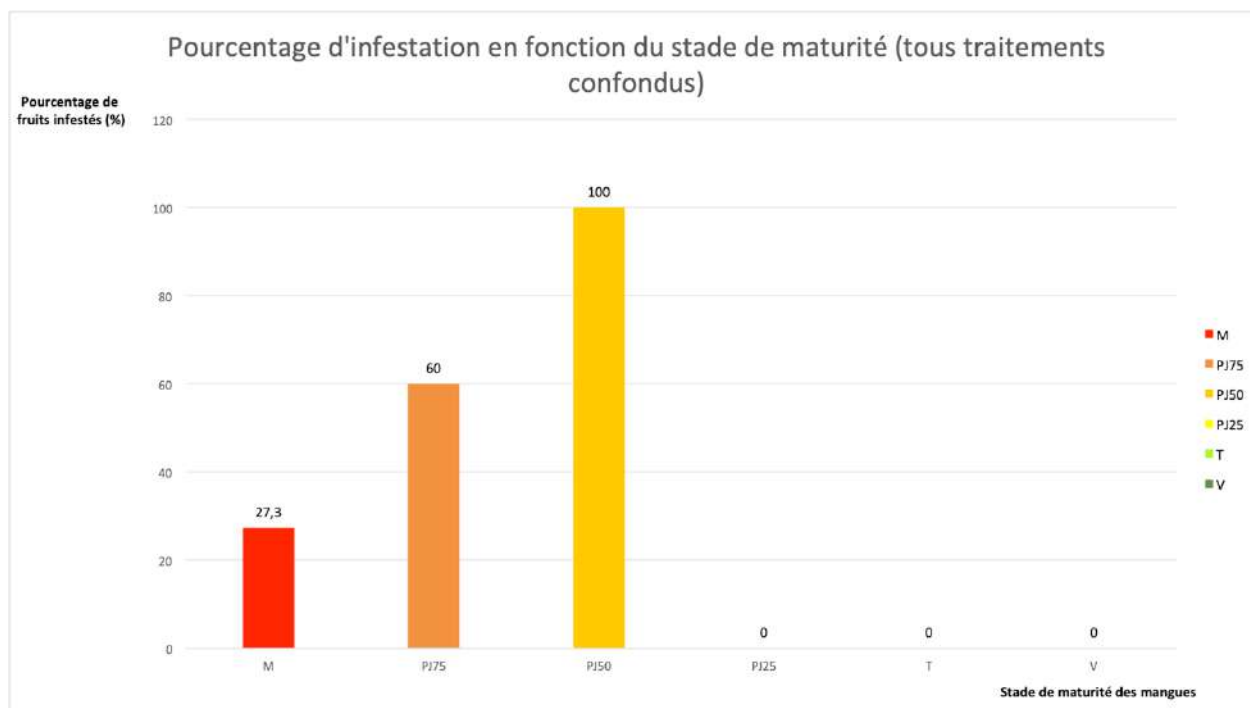


Figure 34: Pourcentage d'infestation en fonction du stade de maturité des mangues récoltées sur arbre.

En revanche, les effectifs des fruits récoltés et testés sont très faibles, comme montré sur le Tableau 4, hormis pour le stade V. Il est donc important de nuancer ces résultats.

1-2 Analyse statistique

Réaliser des moyennes d'infestation en fonction des couvertures de sol n'aurait ici que peu de sens, car il serait nécessaire de prendre en compte les interactions avec les stades de maturité et plus important encore, avec les dates. C'est pourquoi uniquement les données liées à l'évaluation des couvertures de sol ont été traitées avec le logiciel R. Un petit extrait des résultats bruts est inséré en annexe 5, afin d'illustrer ces propos.

Le tableau ci-dessous nous montre les effectifs pris en compte dans l'analyse (Tableau 5).

Tableau 5: Effectifs des fruits échantillonnés dans le premier essai.

Site		CPEA (Site 1)			CR (Site 2)		
Date	Traitement	EH	ER	TS	EH	ER	TS
	07/11	10	10	8	1	3	5
	12/11	10	12	8	0	0	0
	04/12	15	2	7	0	0	31
	13/12	9	1	2	0	15	0
	14/12	8	6	7	0	0	0

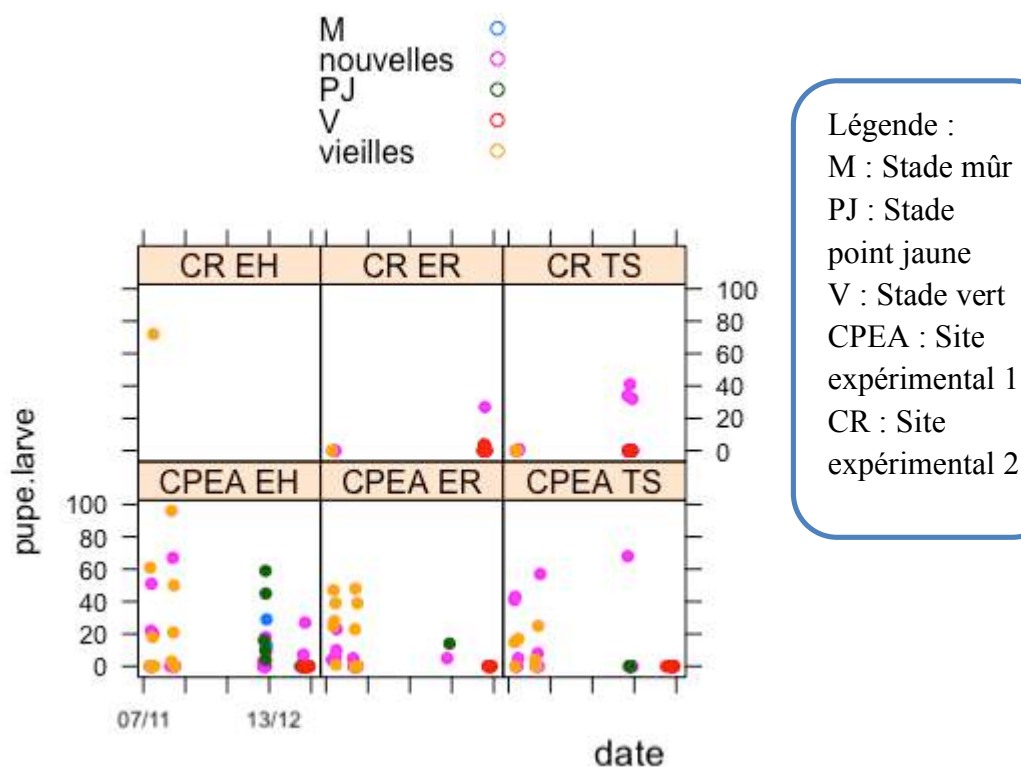


Figure 35: Evolution de la quantité de pupes et de larves en fonction de la date d'échantillonnage ainsi que des traitements et de la maturité des fruits.

Ici, les fruits notés “vieilles” et “nouvelles” correspondent aux mangues tombées au sol depuis plus ou moins longtemps.

Nous pouvons observer que dans le cas des échantillonnages effectués chez Claudy Robert (Site 2) (Figure 35), les effectifs étaient faibles, et inégaux dans le temps. C’est pourquoi nous avons été contraints de ne pas les prendre en compte dans l’analyse.

Par ailleurs, on peut constater une forte influence de la date sur la maturité des fruits échantillonnés, et donc l’existence d’un biais entre le moment de la récolte et la position (sur arbre ou au sol) des fruits récoltés.

Nous avons réalisé une sélection de variables pas à pas en réalisant plusieurs modèles et en enlevant au fur et à mesure les variables qui n’ont pas d’impact significatif.

Tout d’abord, nous avons utilisé un modèle binomial, prenant en compte le traitement, la position des fruits ainsi que leurs poids. Une ANOVA sur ce modèle nous donne les résultats suivants (Tableau 6):

Tableau 6 : Résultat d'ANOVA sur un modèle binomial comportant les facteurs traitement, position, état et poids des fruits.

	Pr(>Chi)
traitement	0.19706
position	5.164e-06***
poids.fruits	0.53270
traitement:position	0.01355 *
traitement:poids.fruits	0.28715
position:poids.fruits	0.24485
position:etat.simpl	3.599e-05 ***
traitement:position:poids.fruits	1.000000

Codes de significativité:

0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Ici, l'état correspond au stade de maturité ou de vieillissement des fruits. La position correspond à la situation « sur arbre » ou « au sol ».

Le facteur poids n'étant pas significatif, il a été supprimé du modèle.

Après une nouvelle ANOVA sur ce modèle on obtient (Tableau 7) :

Tableau 7 : Résultat d'ANOVA sur un modèle binomial comportant les facteurs traitement, position et état des fruits.

	Pr(>Chi)
Traitement	0.2446651
Position	2.2 ^e -05 ***
Traitement:position	0.0235473 *
Position:etat.simpl	0,0002689 ***
Traitement:position:etat.simple	0,9999968

Codes de significativité:

0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

La suppression du facteur poids n'a pas permis de montrer la significativité du facteur traitement.

On cherche ensuite à tester l'effet de l'état, uniquement sur le traitement enherbement haut, car celui-ci contient le plus grand nombre d'échantillons et tendrait donc à montrer le plus de significativité. Un test d'ANOVA nous donne $\text{Pr}(>\text{Chi}) = 0,011$, donc une légère significativité. Le test d'ANOVA visant à tester l'effet de la position, toujours sur le traitement enherbement haut, donne le résultat $\text{Pr}(>\text{Chi}) = 0,141$, donc pas significatif.

Un modèle de quasi Poisson a ensuite été mis en place, qui prend en compte la surdispersion des données (à l'inverse d'un modèle de Poisson).

Un test de Fisher donne le résultat suivant (Tableau 8) :

Tableau 8 : Résultat d'un test de Fisher sur modèle de quasiPoisson comportant les facteurs traitement, état et poids des fruits.

	Pr(>F)
Traitement	0.47159
Poids.fruits	3.65 ^e -05 ***
Etat.simpl	9.563 ^e -05 ***
Traitement:poids.fruits	0.87058
Traitement:etat.simpl	0.14499
Poids.fruits:etat.simpl	0.03261 *
Traitement:poids.fruits :etat.simpl	0.11020

Codes de significativité:

0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Pour finir, on teste une comparaison entre les fruits de catégorie « nouvelle » et « vieille », en sélectionnant uniquement les fruits au sol.

Un test de Fisher résulte en le tableau ci-dessous (Tableau 9):

Tableau 9 : Résultat d'un test de Fisher sur modèle de quasiPoisson comportant les facteurs traitement et état, concernant uniquement les fruits au sol.

	Pr(>F)
Traitement	0.87995
Etat.simpl	0.03371 *
Traitement :etat.simpl	0.11406

Codes de significativité:

0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Après avoir effectué ces différents modèles, il s'est avéré que le traitement "couverture de sol" n'a pas d'impact significatif, au vu de sa p-value >0,05.

En résumé:

- Il n'y a aucune infestation sur les fruits verts échantillonnés sur arbre.
- On observe une augmentation du risque d'infestation lorsque les fruits restent au sol.
- Les résultats actuels ne permettent pas de conclure quant à l'effet des couvertures de sol sur l'infestation.

2- Essai 2: Infestation naturelle sans couverture de sol:

Comme précisé en amont, cette expérimentation a été réalisée afin de collecter des données supplémentaires sur le comportement de la mouche *Bactrocera dorsalis*, dans un milieu naturel, sans traitement "couverture de sol".

C'est pourquoi cet essai concerne une seule date, et uniquement des fruits verts, qu'ils soient proches de l'abscission, au sol ou cueillis sur l'arbre.

Trois catégories de fruits ont été testées au cours de cet essai. Les effectifs par catégorie sont présentées dans le tableau ci-dessous (Tableau 10).

Tableau 10 : Effectifs de l'échantillonnage de l'essai en conditions naturelles sans couvertures de sol

Position	Etat	Effectif
Sol	Nouvelle	11
Arbre	Proche de l'abscission	15
	V	30

- Premièrement, nous avons ramassé 11 petits fruits au sol, qui, d'après leur aspect non dégradé, étaient tombés récemment. Sur ces 11 fruits, 5 étaient infestés.
- En second lieu, 15 petits fruits verts proche de l'abscission (sur arbre) ont été testés. Sur ce total, 3 seulement ont été infestés.
- Pour finir, 30 fruits verts ont été cueillis sur arbre, et aucun de ces fruits n'a présenté de signe d'infestation.

Ces résultats nous donnent les taux d'infestations suivants : 45% des fruits au sol, 20% des fruits proches de l'abscission et 0% des fruits verts ont été piqués, comme cela est visible sur le graphique ci-dessous (Figure 36).

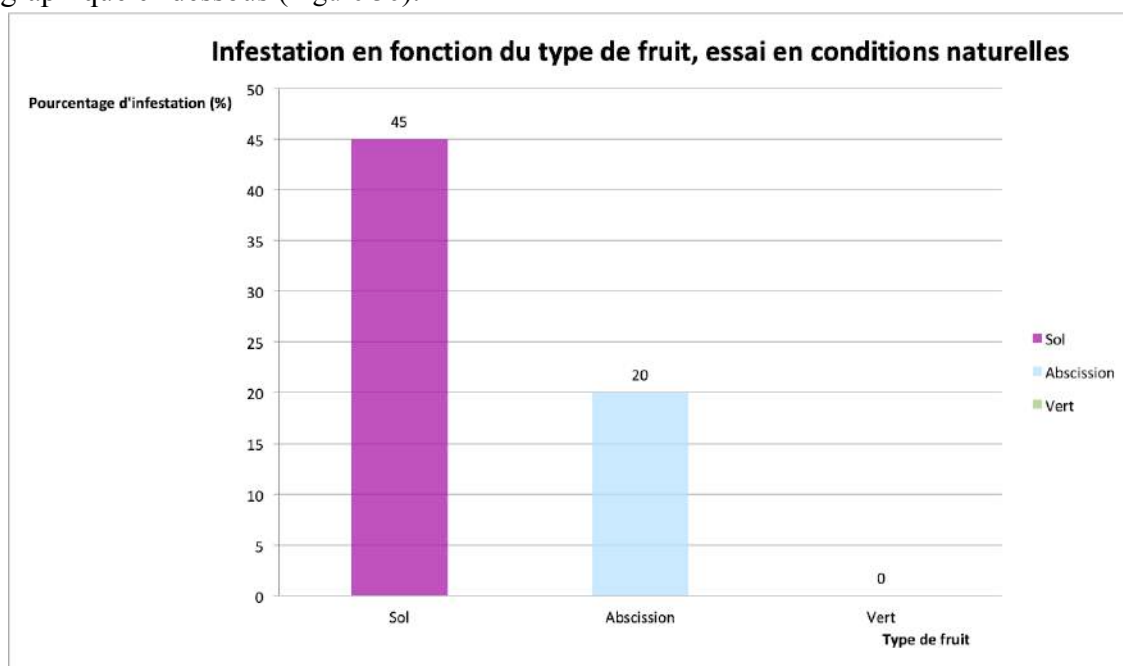


Figure 36: Pourcentages d'infestation en fonction du type de fruit.

Cela nous permet de confirmer que, même sans traitement, les fruits verts ne sont pas pris pour cible par *B. dorsalis*, à l'inverse des fruits proches de l'abscission, et des fruits tombés au sol (Figure 37).

On remarque une nette différence entre l'infestation issue des fruits proches de l'abscission et les fruits au sol. Malgré leur petite taille (53,3g en moyenne), les fruits tombés au sol permettent une obtention d'en moyenne 0,25 pupes par gramme de fruit, ce qui correspond à une moyenne de plus de 13 pupes par fruit. Pour les fruits proches de l'abscission, la somme moyenne des pupes et des larves dénombrées est de 0,29 par gramme de mangue. Ceci correspond à un peu plus de 32 mouches (au stade pupes et larve) par fruit, en moyenne (avec un écart-type de 30). Ces quantités par fruit restent très variables.

Pour les fruits proches de l'abscission, le pourcentage d'émergence des adultes varie entre 10 et 69%.

Au cours de cette expérimentation, nous avons pu trouver un parasitoïde, qui, après identification, s'est révélé être un individu de *Fopius arisanus* (cf I-4-2-6, p.31). La faiblesse du nombre de parasitoïdes indique que la population ne s'était pas encore développée à ce moment.

En résumé:

- Aucune attaque sur fruits verts.
- L'infestation la plus élevée est relevée sur les fruits nouvellement tombés au sol, puis sur les fruits proches de l'abscission.
- Les taux d'émergence sont extrêmement variables en fonction des fruits, mais démontrent que les mouches peuvent réaliser tout leur cycle larvaire sur des petits fruits verts proches de l'abscission.

3- Essai 3 : Infestation artificielle

La principale difficulté rencontrée au cours de cette expérimentation a été d'obtenir, pour chaque date d'expérimentation prévue, 12 fruits à chaque stade (mûr, point jaune et vert).

Tout d'abord, il était complexe d'effectuer un suivi de la maturation des fruits, en raison de l'opacité des sacs d'ensachage. En effet, ceux-ci permettaient de voir la couleur des mangues au stade vert et mûr, mais il n'était pas possible d'observer les changements de coloration des stades intermédiaires. Il était donc nécessaire de désacher chaque fruit, et de noter son stade de maturité, ce qui était très chronophage. Cette évaluation n'a pas été très précise, car elle a été uniquement visuelle, l'utilisation du fluorimètre sur le verger étant trop compliquée, en raison de la fragilité de l'équipement.

Par ailleurs, comme précisé dans la partie "Point agronomique" (cf I-3-3, p.18) sur le manguier, la maturation des mangues est très hétérogène, et ce facteur n'est pas contrôlable. C'est pourquoi il n'était pas possible de prévoir l'avancée de la maturation des fruits, et il a été difficile à la première date de trouver des fruits mûrs, tandis que les fruits verts se faisaient plus rares lors de la dernière date. Nous n'avons donc pas pu obtenir trois fruits respectivement de stade mûr, point jaune et vert pour douze cages pour chaque date.

C'est pourquoi nous avons différentes configurations des fruits dans les cages:

- Soit mûr (M) ou sur-mature (MM), point jaune à 25, 50 ou 75% (PJ 25, 50 ou 75) et vert (V) ou très vert (VV),
- Soit point jaune à 50 ou 75 % (PJ 50 ou 75), vert (V) et très vert (VV),
- Soit mûr (M) ou sur-mature (MM), point jaune à 75 ou 50% (PJ 75 ou 50), et point jaune à 25% (PJ25).

Les différences entre ces configurations auraient pu causer une différence de comportement des mouches, donc ne sont pas comparables et seront traitées séparément. Rappelons que le comportement attendu de la part des mouches serait une attirance plus forte pour les fruits mûrs, qui présentent une chair plus molle, et devraient exsuder des composants plus attractifs que les mangues moins matures.

3-1 Analyse descriptive

3-1-1 Première répétition

Pour la première répétition (I1), qui a eu lieu entre le 18/12/18 et le 07/01/19, la composition des cages a été la suivante (Tableau 11).³

Tableau 11: Répartition des stades de maturité des mangues de la première répétition de l'infestation artificielle.

Numéro cage	Fruit 1	Fruit 2	Fruit 3
	Stade	Stade	Stade
1	M	PJ25	VV
2	M	PJ25	V
3	M	PJ25	V
4	M	PJ25	V
5	PJ75	V	VV
6	PJ75		VV
7	PJ75		VV
8	PJ50	V	VV

Ces différentes modalités peuvent être séparées en trois groupes.

- ❖ Tout d'abord, nous avons quatre cages avec les stades de maturité M, PJ25 et V. Au sein de ces cages, les résultats d'infestation sont les suivants :

Tableau 12: Résultats du test d'infestation des cages 1, 2, 3 et 4 de l'I1.

Cage	MM	M	PJ75	PJ50	PJ25	V	VV
1		0			12		0
2		3			0	0	
3		20			0	36	
4		0			0	0	

³ NB : Dans ces tableaux, une case grisée signifie qu'il n'y a pas de fruit ou pas de mangue à ce stade de maturité.

Dans ce tableau (Tableau 12), les résultats présentés sont la somme des larves et des pupes récupérés après incubation. En effet, ce chiffre représente l'ensemble des œufs qui auront éclos et se seront développés.

En termes de pourcentage, nous avons obtenu 50% de fruits mûrs infestés, et 25 % d'infestation pour les fruits au stade PJ25 et au stade V.

- Dans la cage 1, seule la mangue au stade PJ25 a été piquée.
 - Dans la cage 2, la mangue au stade M a été infestée, avec cependant une émergence plutôt faible, de seulement trois individus.
 - Dans la cage 3, la mangue V a été infestée, bien que la mangue M ait également été piquée. Les émergences sont beaucoup plus élevées que dans la cage 2, avec une émergence plus forte sur le fruit V que sur le fruit M. Dans le fruit V, les larves ne se sont pas limitées à une seule zone, mais ont consommé la chair dans l'ensemble du fruit.
 - La cage 4 n'a donné aucune émergence. Pour expliquer ceci, on émet l'hypothèse que les mouches n'aient pas été fécondées. Il est également possible que les femelles aient pondu mais qu'aucun œuf n'ait survécu.
- ❖ Les cages 6 et 7, ne comportant que 2 mangues, ne sont pas prises en compte car ce n'est pas comparable.
- ❖ La dernière modalité concerne les cages 5 et 8, qui contiennent chacune une mangue au stade PJ (25 ou 50), V et VV (Tableau 13).

Tableau 13: Résultats du test d'infestation des cages 5 et 8 de l'I1.

Cage	MM	M	PJ75	PJ50	PJ25	V	VV
5					0	0	0
8				0		32	11

- Dans la cage 5, il n'y a eu aucune infestation, ce qui est le résultat attendu, en vue de l'absence d'infestation sur des fruits verts en conditions naturelles.
- Dans la cage 8, contrairement à nos attentes, les fruits V et VV ont été infestés, mais pas le fruit PJ50, pourtant plus mûr. Sur le fruit VV, il a été remarqué que l'infestation était localisée au niveau du noyau, alors que sur des fruits mûrs, la présence des larves n'est en général pas limitée à une seule zone.

Comme on l'attendait, les fruits les plus souvent infestés sont au stade mûr. Cependant il y a également des infestations sur des fruits verts et au stade point jaune, mais uniquement quand ceux-ci sont en présence de fruits mûrs, comme dans les cages 1 et 3.

En effet, la cage 5, où il n'y a eu aucune émergence, est la seule où les fruits sont tous à un stade de maturité très précoce (très vert, vert et stade point jaune 25). Il est possible qu'aucune de ces mangues n'ait été attirante pour les mouches. Cependant, cela n'explique pas pourquoi des fruits aux mêmes stades (vert et point jaune 25) ont été piqués dans les cages 1 et 3.

On peut émettre l'hypothèse que la proximité des fruits mûrs pourrait perturber les mouches dans leur recherche des sites de pontes, notamment au niveau olfactif.

Pour mieux comprendre ce phénomène, il serait intéressant d'étudier le comportement de ponte des mouches dans la situation de la cage 5, ou bien d'effectuer un test de non choix.

3-1-2 Deuxième répétition

Concernant la deuxième répétition (I2), qui a eu lieu du 07/01/18 au 28/01/18, nous avons eu moins de difficultés à trouver les trois stades de maturité en quantité suffisante. Voici donc la composition des cages (Tableau 14)

Tableau 14 : Répartition des stades de maturité des mangues de la deuxième répétition de l'infestation artificielle.

Numéro cage	Fruit 1	Fruit 2	Fruit 2
	Stade	Stade	Stade
1	M	PJ50	V
2	MM	PJ75	V
3	MM	PJ75	V
4	MM	PJ75	V
5	MM	PJ75	V
6	MM	PJ75	V
7	MM	PJ75	V
8	MM	PJ75	PJ25
9	MM	PJ50	V
10	MM	PJ75	V
11	MM	PJ50	V
12	M	PJ75	V

Nous avons ici deux types de modalités.

- ❖ Premièrement, nous avons pu former 11 cages avec les stades de maturité MM ou M, PJ (75 ou 50), et V (Tableau 15).

Tableau 15: Résultats du test d'infestation des cages 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11 et 12 de l'I2.

Cage	MM	M	PJ75	PJ50	PJ25	V	VV
1		0		0		0	
2	26		21			0	
3	0		3			0	
4	0		14			0	
5	0		3			0	
6	19		13			0	
7	23		1			14	
9	60		6			0	
10	37		8			0	
11	45			0		0	
12		37	0			0	

- La cage 1 ne contient aucune infestation. Une fois encore, il est possible que les femelles n'aient pas été fécondées, ou que les œufs n'aient pas survécu.
- Dans les cages 11 et 12, seulement les mangues au stade mûr (MM ou M) ont été piquées, ce qui est le résultat attendu.
- Dans les cages 3, 4 et 5, seuls les fruits au stade PJ75 ont été attaqués. Ce stade de maturité est régulièrement attaqué en conditions naturelles, ce n'est donc pas étonnant. En revanche, nous ne pouvons pas expliquer pourquoi les mangues plus mûres ont été délaissées.
- Dans les cages 2, 6, 9 et 10, nous avons eu une infestation sur les fruits au stade MM et PJ75.
- Pour finir, la seule cage où un fruit vert a été infesté est la cage 7, dans laquelle la totalité des fruits ont été piqués. Il est intéressant de remarquer ici que les émergences issues de ce fruit vert sont plus nombreuses que sur le fruit au stade point jaune 75 (PJ75). Cela signifie peut être que le nombre de piqûres de ponte a été plus élevé sur le fruit vert, ou bien que la mortalité des œufs a été plus importante sur le fruit PJ75.

En résumé, seuls 9% des fruits verts ont été piqués, dans une situation où tous les fruits de la cage étaient attaqués. Il est possible que les mouches aient été perturbées par la proximité des fruits mûrs, ou bien que ce fruit vert ait été légèrement abimé, offrant ainsi des sites de pontes plus faciles.

En revanche, plus de 63% des fruits mûrs et plus de 72% des fruits au stade point jaune (PJ) ont été attaqués, avec trois cas où les fruits mûrs n'ont pas subi d'attaque alors que les fruits PJ étaient pris pour cible, ce qui n'est pas explicable.

- ❖ La dernière cage, numéro 8, contenait trois fruits, aux stades MM, PJ75 et PJ25 (Tableau 16).

Tableau 16 : Résultats du test d'infestation de la cage 8 de l'I2.

Cage	MM	M	PJ75	PJ50	PJ25	V	VV
8	28		5		0		

Nous avons ici une attaque sur le fruit MM et le fruit PJ50, avec une plus forte émergence sur le fruit MM.

3-1-3 Troisième répétition

Pour finir, la maturation des fruits ayant encore progressé au cours de la dernière répétition (I3), qui a eu lieu du 10/01/19 au 31/01/19, il a été plus compliqué de trouver 12 fruits étant encore au stade vert. C'est pourquoi, 3 fruits semblant verts en apparence au moment de la récolte, se sont révélés être au stade point jaune 25 (PJ25) au cours de la mesure de la fluorescence chlorophyllienne. La composition des cages est donc la suivante (Tableau 17).

Tableau 17: Répartition des stades de maturité des mangues de la troisième répétition de l'infestation artificielle.

Numéro cage	Fruit 1	Fruit 2	Fruit 3
	Stade	Stade	Stade
1	MM	PJ50	V
2	M	PJ75	V
3	MM	PJ50	V
4	M	PJ50	PJ25
5	M	PJ25	V
6	M	PJ50	PJ25
7	MM	PJ25	V
8	MM	PJ50	V
9	M	PJ50	V
10	MM	PJ75	PJ25
11	M	PJ75	V
12	M	PJ75	V

- ❖ Nous avons tout d'abord la configuration M ou MM, PJ et V, dont les résultats d'infestation sont présentés ci-dessous (Tableau 18).

Tableau 18: Résultats du test d'infestation des cages 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11 et 12 de l'I3.

Cage	MM	M	PJ75	PJ50	PJ25	V	VV
1	6			10		0	
2		5	0			0	
3	34			10		0	
5		13			0	13	
7	0				16	0	
8	22			0		0	
9		8		0		0	
11		17	17			21	
12		4	35			0	

- Dans les cages 2, 8 et 9, seules les mangues MM ou M ont été attaquées.
- Dans la cage 7, seule la mangue au stade PJ25 a été infestée, alors qu'elle est la mangue la moins mûre.
- Dans les cages 1,3 et 12, les fruits M et PJ ont été conjointement piqués.
- Dans la cage 5, la mangue M mais aussi la mangue V ont été ciblées.
- Seule la cage 11 contenait des fruits qui ont tous été infestés.

En résumé, seuls 22% des fruits verts ont été piqués, mais 89% des fruits mûrs et 56% des fruits point jaune ont été attaqués. Il n'y a pas eu de cage où les fruits M ou PJ étaient complètement délaissés au profit des fruits verts.

- ❖ Pour finir, nous avons trois cages (4, 6 et 10) avec une configuration M, PJ75 ou 50, PJ25 (Tableau 19).

Tableau 19: Résultats du test d'infestation des cages 4, 6 et 10 de l'I3.

Cage	MM	M	PJ75	PJ50	PJ25	V	VV
4		8		0	0		
6		1		7	0		
10	12		9		32		

- Dans la cage 4, seule la mangue M a été infestée.
- Dans la cage 6, les mangues M et PJ50 ont été attaquées.
- Dans la cage 10, tous les fruits ont été piqués, avec une émergence bien plus élevée pour le fruit le moins mûr (PJ25).

3-2 Analyse statistique

Afin d'analyser les données à l'aide du logiciel R Studio, les modalités MM et M, VV et V ont été assemblées deux à deux, car les effectifs étaient trop faibles.

Tout d'abord, nous avons réalisé un test de Fisher sur les trois répétitions, dont les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau 20).

Tableau 20: Résultats du test de Fisher sur l'essai 3.

Stade	Fruits infestés	0	1
V		0.80	0.20
PJ25		0.73	0.27
PJ50		0.60	0.40
PJ75		0.20	0.80
M		0.25	0.75

Ce test nous donne les résultats d'infestation par stade de maturité, visualisables sur la figure suivante (Figure 37).

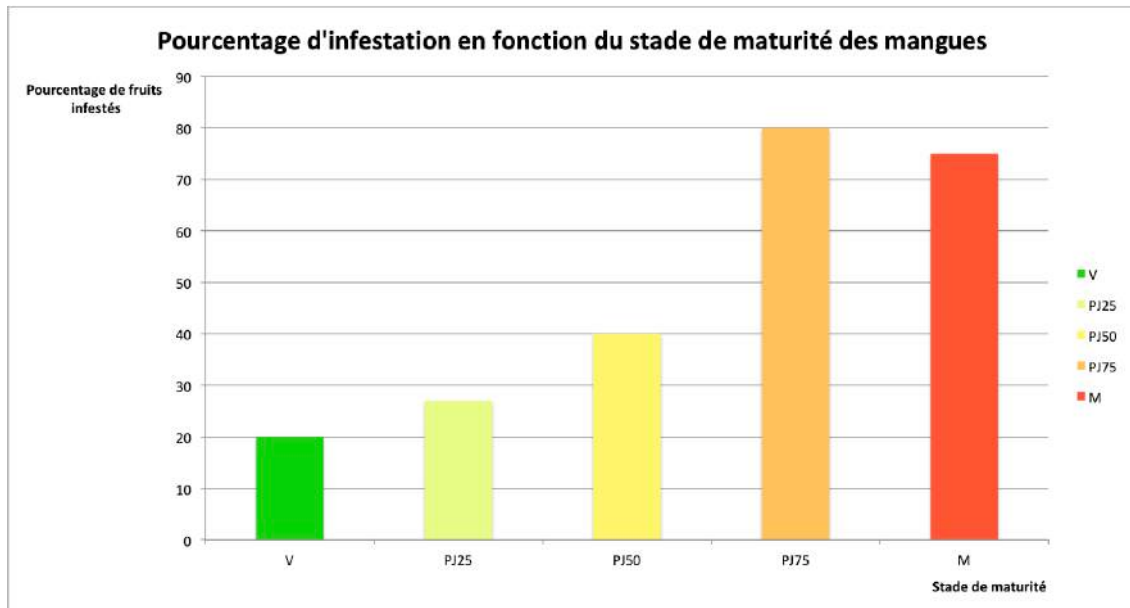


Figure 37: Pourcentage d'infestation en fonction du stade de maturité des mangues sur l'essai 3.

Pour aller plus loin, nous utilisons un modèle mixte à effet aléatoire généralisé (glm) sur proportions, qui combine donc un effet aléatoire, correspondant aux combinaisons différentes dans les cages, et un effet fixe, correspondant au stade.

Pour cela, nous appliquons la formule suivante:

```
mod.glm = glmer(Fruits.inf ~ Stade + (1|Expé/Cage), data = jeu, family = "binomial")
```

Avec: - Fruit.inf : correspondant à la variable à expliquer;

- Stade : la variable explicative principale;

- 1|Expé/Cage : l'effet aléatoire sur l'intercept;

- family = "binomial" : utilisé car nous travaillons en proportions.

Le graphique suivant nous donne la variabilité à l'intercept entre les différentes cages de l'expérience (Figure 38).

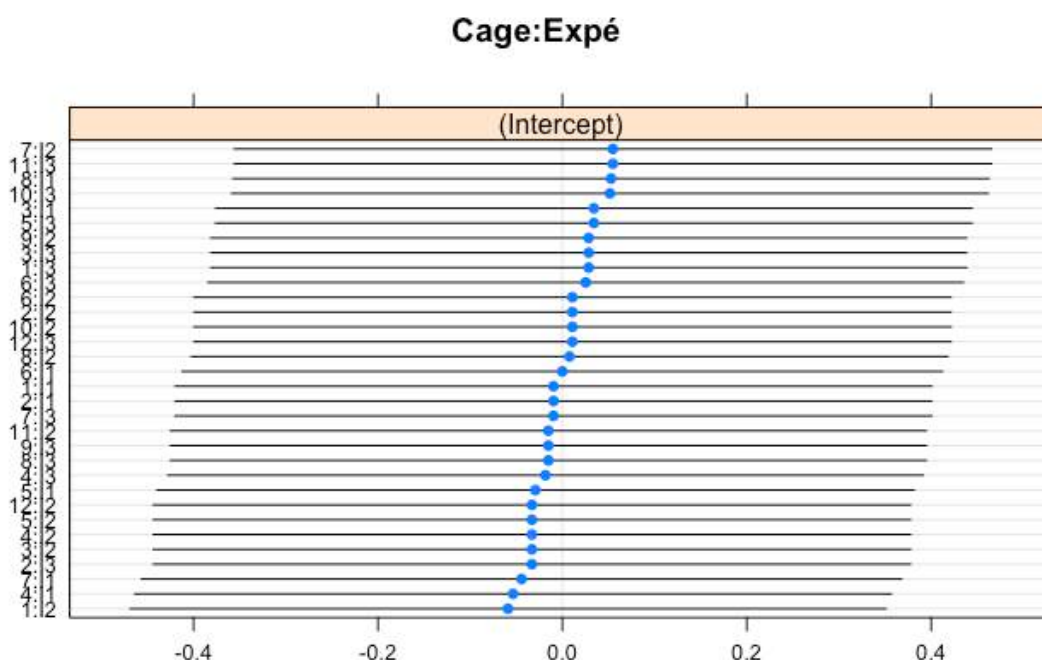


Figure 38: Variabilité à l'intercept entre les cages des trois répétitions.

Nous avons ensuite réalisé un test de Chi2, qui montre que le stade de maturation des fruits a un impact significatif sur l'infestation (p value = 0,002).

Nous utilisons à présent un test de Tukey, afin de réaliser des comparaisons multiples, avec la fonction `cld` compar sur Rstudio, et nous obtenons le résultat suivant (Tableau 21).

Tableau 21: Tableau de comparaison résultant d'un test de Tukey.

V	PJ25	PJ50	PJ75	M
a	ab	ab	b	b

A partir de ce tableau, nous pouvons observer qu'il existe une différence significative entre, d'une part, le stade V, et d'autre part, les stades PJ et M.

Les données relatives à ce test sont disponibles en annexe 6.

Malheureusement, nous avons peu d'effectifs, ce qui implique un manque de puissance (Tableau 22).

Tableau 22: Effectifs des fruits pour chaque stade, à chaque répétition.

Stade	Répétition	I1	I2	I3
V		10	11	9
PJ25		5	1	5
PJ50		1	3	6
PJ75		2	9	4
M		4	12	12

Ce manque d'effectifs ne nous permet donc pas d'observer de différence significative entre les stades PJ25, PJ50 et PJ75.

En résumé :

- Il existe une différence significative de l'infestation sur les stades, d'une part V, et d'autre part PJ et M.

Cependant, un manque d'effectifs et de répétitions ne permet pas d'affiner cette analyse, et de déterminer exactement quel est le stade de prédilection de la mouche.

- Il y a une infestation sur fruits verts, contrairement à ce qui a été observé en conditions naturelles.

IV- Discussion

1- Rappel des résultats

Le premier essai nous a montré que les fruits verts n'étaient pas la cible des attaques de *Bactrocera dorsalis*. Cela signifie qu'il est encore possible pour les producteurs de commencer à protéger les fruits à la fin du stade vert, ou au début du stade Point Jaune 25.

Ensuite, nous avons observé que l'augmentation de la durée que passe un fruit au sol, provoque une augmentation du taux d'infestation, ainsi que du nombre d'émergences. Ce phénomène est probablement lié au ramollissement de l'épicarpe et de la chair, qui permet aux mouches de pondre plus facilement. Il est fort probable que la croissance du nombre d'émergences soit causée par la hausse des piqûres. Une évolution des émergences en fonction du stade de maturité peut également être liée à la modification du milieu nutritif des larves, soit la chair, qui peut être plus ou moins idéal pour leur développement jusqu'à l'âge adulte. En effet, la nature et la qualité du fruit hôte peut avoir un effet direct sur la survie, le temps de développement larvaire et le développement global des mouches, avec une répercussion possible sur la fécondité des adultes, et le comportement des adultes (Duyck, 2005).

Ce résultat nous montre donc l'intérêt de l'élimination prophylactique, qui permet de supprimer cette source de réinfestation, et donc de limiter le développement de la population.

Pour finir, cet essai nous a permis de comprendre qu'en l'état actuel du protocole, il n'est pas possible d'obtenir des résultats significatifs concernant l'évaluation de l'effet des couvertures de sol, notamment en raison d'effectifs trop faibles et mal répartis dans le temps.

Le deuxième essai nous a permis de confirmer l'absence d'attaques sur les fruits verts, dans un milieu naturel, sans utilisation de couvertures de sol.

Par ailleurs, nous avons pu observer que les fruits proches de l'abscission, même s'ils sont verts et de taille équivalente aux fruits au stade de maturité "vert", peuvent être ciblés par les mouches. Il s'avère que lorsque l'arbre effectue cet éclaircissement naturel, appelé abscission, l'alimentation en eau du fruit est coupée au niveau du pédoncule. Cela provoque un ramollissement des chairs, et les rends susceptibles d'être piquées. (Normand, communication

personnelle, avril 2019) La mise en place d'une élimination prophylactique des fruits proches de l'abscission permettrait également de supprimer cette source de réinfestation.

Pour finir, notre test de choix en conditions artificielles nous montre qu'il existe bien une influence du stade sur l'infestation. Le stade vert est moins touché que les stades point jaune et mûr. Cependant, nous ne pouvons pas affiner notre compréhension de l'attractivité des fruits en fonction du stade, en raison d'un manque d'effectifs sur les stades intermédiaires. Comme on l'attendait, les fruits les plus souvent infestés sont au stade mûr. Cependant il y a également des infestations sur des fruits verts et au stade point jaune, mais uniquement quand ceux-ci sont en présence de fruits mûrs.

Par ailleurs, une cage contenait des fruits à des stades précoces de maturité (très vert, vert et stade point jaune 25) et aucun de ces fruits n'a présenté d'infestation. Cela pourrait alimenter l'hypothèse que la proximité des fruits mûrs perturbe les mouches au niveau olfactif au cours de la recherche du site de ponte.

Une autre hypothèse qui pourrait expliquer les attaques sur ces fruits verts serait que ceux-ci présentent des dommages au niveau de leur épiderme, qui constitueraient des sites de pontes plus accessibles pour les femelles.

2- Confrontation des résultats avec la bibliographie

2-1 Couvertures de sol

L'utilisation des couvertures de sol en tant barrière physique empêchant l'empupage et donc la multiplication des ravageurs est à l'origine une idée de Paul Amouroux et Fred Normand, reprise par Alain Ratnadass. Cette technique ciblait en premier lieu la cécidomyie des fleurs (I-3-5-2-a, p.), qui, comme la mouche des fruits, s'empupe dans le sol. Elle a donc été testée au cours des stages de Lucie Brustel (2017) et d'Amélie Briandy (2018) par rapport à cet insecte. C'est à la fin des essais de Lucie Brustel que s'est posée la question de l'application de cette technique dans la lutte contre la mouche des fruits.

C'est pourquoi Lucie Brustel a effectué un essai sur l'effet des couvertures de sol sur la mouche des fruits. Une différence significative avait été observée entre les trois traitements, avec une infestation plus faible pour le tapis de sol.

Néanmoins, cette expérience a été réalisée sur seulement deux dates, avec un mois d'intervalle. Le nombre d'échantillons était limité (4 lots pour le tapis de sol et pour l'enherbement haut, 6 lots pour l'enherbement ras), ce qui remet également en question la puissance de ces résultats. Par ailleurs, il n'y a pas eu de relevé de données sur la pression des ravageurs, ni sur la maturité des fruits récoltés. Il semble donc difficile de comparer ces résultats aux nôtres, d'autant plus que *Bactrocera dorsalis* était encore minoritaire dans les populations de mouche à cette période.

2-2 Récolte précoce

En 2017, Anne-Laure Preterre a cherché à déterminer un stade de maturité intéressant pour la mise en place de la récolte précoce. Pour cela elle a tout d'abord réalisé un essai en conditions naturelles, pour lequel les résultats d'infestation sont les suivants (Tableau 23) :

Tableau 23 : Taux d'infestation des mangues en fonction du stade de maturité en conditions naturelles.
(Preterre, 2017)

Stade	V	T	PJ25	PJ50	PJ75	M	MM
Taux d'infestation	3%	2%	0%	12%	12%	7%	17%

Contrairement à ce que nous avons pu observer précédemment, les mangues vertes étaient attaquées, bien que faiblement, par les mouches. Ici, nous n'avons pas de différenciation entre les mangues au stade Vert, et les mangues au stade proche de l'abscission. Nous ne savons donc pas si ces mangues infestées sont bien des fruits au stade Vert, comme nous l'avons défini dans nos expérimentations.

Par ailleurs, les vergers utilisés ne sont pas les mêmes, ce qui signifie que les conditions ne sont pas identiques, et cela rend la comparaison difficile.

Un essai en conditions artificielles similaire au nôtre a également été réalisé. Ici, comme dans notre cas, les mangues vertes (V) ont subi des piqures, avec un taux d'infestation de 5,7%. En revanche, les mangues au stade point jaune (PJ) n'ont pas été piquées. La différenciation n'est pas faite entre le stade point jaune 25% (PJ25) et le stade point jaune 50% (PJ50). Les fruits au stade mûr et sur-mature sont une nouvelle fois les plus attaqués, avec un taux d'infestation à hauteur de 22,9%. Cette expérience confirme donc les résultats obtenus en conditions naturelles (Preterre, 2017).

Cependant, *Bactrocera dorsalis* n'était alors pas présente sur l'île de La Réunion, et cette étude s'est naturellement centrée sur *Bactrocera zonata*, alors majoritaire. Or les données obtenues sont intrinsèquement dépendantes de la mouche étudiée, en raison des différences de comportement entre les espèces. Cette étude pourrait donc aider à comparer les caractères des différentes espèces, mais ne nous permet pas d'infléchir nos résultats.

Par ailleurs, le protocole mis en place par Preterre présente un certain nombre de différences, comme la réalisation d'un suivi de dynamique des populations des mouches sur la parcelle, à l'aide de piégeage, ainsi qu'une dynamique d'abondance et de maturation des fruits sur les vergers. Cela nous donne des pistes d'amélioration du protocole appliqué au cours de notre étude.

Il en est de même avec l'étude menée par Aude Caillat en 2016, sur le même sujet que le stage cité précédemment. En revanche, ce rapport apporte des éléments intéressants concernant le point de vue des producteurs sur la praticité de la mise en place d'une récolte précoce. Ainsi, ses résultats montrent que pour minimiser les risques d'infestation il semble préférable de récolter les fruits au stade tournant, mais que ce stade est difficile à repérer sur arbre. Par ailleurs, cette méthode implique un stockage en chambre froide pour la maturation des fruits. C'est pourquoi une récolte au stade point jaune à 25% (PJ25) paraît être le meilleur compromis. Cela permet effectivement de réduire le risque d'infestation des fruits tout en préservant les qualités organoleptiques au maximum. Par ailleurs, ce stade est facilement identifiable dans les

arbres, et les fruits peuvent être vendus rapidement, le stockage en chambre froide n'est donc pas une obligation (Caillat, 2016).

Cela nous montre donc l'importance d'une prise de recul sur les résultats prenant en compte l'avis des producteurs qui mettront en œuvre les pratiques étudiées. Nous pouvons donc intégrer cette réflexion à nos résultats sur la récolte précoce, mais il apparaît qu'il serait indispensable de mener une enquête auprès des producteurs concernant les pratiques de l'élimination prophylactique des fruits proches de l'abscission, et de mise en place de couvertures de sol dans la lutte contre *Bactrocera dorsalis*.

2-3 Conclusion

Etant donné la très récente arrivée de *B. dorsalis* à La Réunion, il n'existe pas encore d'études publiées sur le comportement de cette mouche sur les cultivars de manguier réunionnais. Toute comparaison avec des mouches d'autres espèces ne serait pas réellement fiable, en raison des différences notables entre les espèces, notamment au niveau de leur cycle de développement, de leur adaptabilité à leur environnement, de leur caractère plus ou moins invasif, ainsi que de leur attirance pour les fruits hôtes.

Par ailleurs, l'utilisation des couvertures de sol ici étudiée est innovante dans la gestion des mouches des fruits sur le manguier, tout comme l'élimination prophylactique des fruits proches de l'abscission. C'est en effet au cours de notre étude qu'une différence au niveau des taux d'infestation entre les fruits verts et les fruits proches de l'abscission a été remarquée.

La comparaison de nos résultats avec la littérature est donc complexe, mais les différences au niveau du protocole nous donnent des pistes d'amélioration, comme la mise en place d'un suivi de la dynamique des populations des mouches sur la parcelle, ainsi que d'enquêtes auprès des producteurs.

3- Limites et portée

3-1 Essai 1

3-1-1 Les couvertures de sol

Tout d'abord, si l'on cherche à introduire une nouvelle pratique culturale auprès d'agriculteurs, il est important de se poser la question des conséquences de cette pratique sur le milieu, notamment sur la faune et sur la culture elle-même. Cette réflexion n'a pas été abordée au cours de cette étude, cependant, un suivi de la dynamique de la phénologie des manguiers et de leur environnement a été effectué dans le stage précédent, par Amélie Briandy. Son mémoire montre que le taux de floraison sur les manguiers en enherbement haut de la parcelle du CPEA (Site 1) a été significativement plus élevé que les deux autres modalités de couvertures du sol, ce qui signifie que l'enherbement semble améliorer la floraison. De même, l'enherbement haut ne semble pas non plus affecter les paramètres édaphiques du sol, contrairement à la modalité de tapis de sol (TS) qui semble augmenter légèrement la température et l'activité biologique du sol. Le suivi réalisé n'a malheureusement pas permis de quantifier l'impact des couvertures de sol sur la fructification et la maturation des fruits, ce qui pourrait constituer d'intéressantes observations (Briandy, 2019).

En ce qui concerne la relation entre les couvertures de sol et la biodiversité, les relevés floristiques de l'enherbement haut et de l'enherbement ras au CPEA (Site 1) sont assez

semblables avec presque exactement les mêmes familles botaniques et les mêmes espèces. En revanche, certaines espèces identifiées sont des espèces invasives, dont une liane envahissante et deux espèces ligneuses, qui, à terme, pourraient causer des difficultés pour l'entretien du verger (Briandy, 2019).

Un échantillonnage de l'entomofaune sur ces deux modalités au CPEA (Site 1) a montré qu'il y a plus d'arthropodes présents sur l'enherbement haut (112 individus) que sur l'enherbement ras (45 individus). Ceci montre le potentiel de l'enherbement haut pour le développement des insectes auxiliaires (Briandy, 2019).

3-1-2 Le protocole

Dans un deuxième temps, l'échantillonnage réalisé n'a pas été effectué à intervalles réguliers, et les quantités ramassées étaient différentes en nombre et en poids de mangue, à chaque échantillon. Ceci génère un certain nombre de biais qui pèsent sur la robustesse de nos données, c'est pourquoi il est indispensable de mettre en œuvre un échantillonnage régulier, avec des prélèvements de taille identique par catégorie (en fonction du stade de maturité et par traitement), à chaque date. Par ailleurs, les effectifs étaient trop faibles pour obtenir des résultats significatifs. Pour obtenir des effectifs plus élevés, il serait nécessaire de conduire cet essai sur des parcelles de tailles bien supérieures, avec un type de couverture de sol par parcelle. Néanmoins, des taux d'infestation globalement similaires seraient nécessaires, et l'effet parcelle serait encore plus important.

Il existe également une forte influence de la date sur les données, car l'infestation de *B. dorsalis* varie en fonction des facteurs suivants :

- La disponibilité de plantes hôtes: si il y a d'autres plantes hôtes plus attractives, ou bien d'autres manguiers à proximité qui portent des fruits plus mûrs, la pression exercée sur les fruits verts sera plus faible. La femelle ne fera probablement pas le choix d'y pondre. En revanche, elle pourrait y être contrainte s'il n'y a pas d'autres possibilités.
- La dynamique des populations de mouches: avec l'avancement de la saison de la maturation des fruits, il est possible que la population de mouches augmente drastiquement avec la hausse du nombre de sites de ponte et de ressources nutritives pour les larves.

C'est donc pour mieux comprendre l'influence de ces facteurs sur nos données qu'il est primordial de réaliser un suivi de la dynamique des populations de mouche sur les sites expérimentaux. Pour cela, des pièges de type Sentrap peuvent être utilisés. Il s'agit ici d'une bouteille vide en plastique, dont l'orifice sert de porte d'entrée aux mouches. La bouteille est partiellement colorée en jaune, qui est une couleur attractive. Chaque piège contient un insecticide (Dichlorvos DDVP, Vapona : 2,2-Dichlorovinyl diméthyl phosphate) ainsi qu'un attractif sexuel spécifique (méthyl eugénol) qui attire les mouches mâles (Konta, *et al.*, 2015). Dans un ordre de service d'action concernant la surveillance de *Bactrocera dorsalis* en France, la Direction Générale de l'Alimentation recommande l'utilisation de pièges type McPhail (D11-PM Biosystèmes France), associé à une paraphéromone sexuelle (méthyl-eugénol) et un peu d'eau savonneuse (Direction générale de l'alimentation, 2019). La levure de *Torula* (*Torulopsis*

utilis) est un attractif alimentaire qui peut également être utilisé dans ce type de pièges (Ouedraogo, 2011). Le relevé des pièges doit être réalisé de façon hebdomadaire et à jour fixe. Par ailleurs, le suivi de la dynamique des populations permettrait également de mettre à profit les relevés climatologiques. En effet, les températures et la pluviométrie ont une forte incidence sur le développement des mouches des fruits. Une analyse de corrélation entre ces deux données servirait donc à comprendre les évolutions de la population de *B. dorsalis*.

Dans un second temps, la réalisation d'un état des lieux de l'évolution de la disponibilité des plantes hôtes aux environs des parcelles d'expérimentation permettrait de mieux appréhender les variations des populations rencontrées. Nous pourrions alors déterminer si l'évolution de l'infestation observée résulte de l'effet de nos couvertures de sol, ou bien de l'évolution globale de la population de mouche sur la parcelle.

Par ailleurs, il existe une forte disparité entre les deux parcelles. Chez Claudy Robert (Site 2), l'enherbement est très herbacé, alors qu'il est très ligneux au CPEA (Site 1). L'enherbement ras chez Claudy Robert (Site 2) n'a pas été contrôlé au gyrobroyeur, et il n'y a rapidement plus eu de différence entre l'enherbement ras et l'enherbement haut. Au CPEA (Site 1), à partir de la remise en marche de l'irrigation, le couvert végétal a rapidement poussé. Nos traitements n'étaient donc pas réellement similaires, donc difficilement comparables. Il faudrait donc un contrôle bien plus régulier des pratiques en collaboration avec les producteurs.

Ensuite, concernant l'évaluation de l'effet des couvertures de sol, une question fondamentale se pose:

- Comment peut-on savoir si l'infestation que l'on mesure est issue de la réinfestation par la deuxième génération de mouches ou bien si elle est exogène ?

En effet, nous cherchons à évaluer l'effet de la couverture sur la réinfestation, or la mouche des fruits est un insecte qui se déplace sur de grandes distances. Il est fort plausible que l'infestation que l'on mesure soit en fait exogène à la parcelle.

Mais nous sommes dans l'impossibilité d'avoir un environnement contrôlé, car celui-ci ne serait pas du tout représentatif de la réalité, car largement simplifié. En effet, il serait trop complexe de mesurer et de recréer toutes les interactions naturelles de manière artificielle.

3-2 Essai 2

Dans cette expérience, un seul échantillonnage a été réalisé, à la date du 31 octobre 2018. Bien que nous ayons pu obtenir des données complémentaires concernant l'infestation des fruits verts et des fruits proches de l'abscission, et qu'il est intéressant de cibler la réflexion sur ce stade de maturité, cet essai ne paraît pas être exploité à la hauteur de son potentiel. En effet, en multipliant la prise d'échantillons à intervalles réguliers, nous pourrions mieux étudier l'évolution de l'infestation de ces fruits en fonction du temps. Cela signifie que différents facteurs pourront être étudiés, comme l'influence sur l'infestation de la disponibilité des plantes hôtes, laquelle évolue au fur et à mesure de la période de maturité des mangues.

En réalisant un suivi de dynamique de population à l'aide de piégeages sur la parcelle, nous pourrions également évaluer l'effet de la pression des mouches sur l'infestation des fruits verts.

Cela permettra par exemple de comprendre si les fruits verts seraient piqués dans le cas où les mouches n'ont pas d'autres sites de pontes disponibles.

Par ailleurs, dans l'échantillon prélevé, il existe une certaine différence d'effectifs entre les fruits verts, les fruits au sol et les fruits proches de l'abscission, ce qui rend complexe la comparaison. Il faudrait donc prélever le même nombre de fruits par catégorie au cours de l'échantillonnage.

Pour finir, cet essai a été réalisé sur la parcelle expérimentale MA02 de la station CIRAD de Bassin Plat. Il s'agit ici donc de conditions particulières, car certains vergers environnants sont traités contre les ravageurs pour permettre la réalisation des expériences. De plus, cette parcelle est située dans le Sud de l'île, contrairement aux parcelles utilisées pour l'essai 1. Il serait donc judicieux de réaliser cette expérimentation sur un verger similaire à ceux de l'essai 1, afin de permettre une réelle comparaison.

3-3 Essai 3

En premier lieu, il est impératif de mentionner que nous ne possédons pas d'informations quant à l'efficacité de l'ensachage. Nous ne pouvons donc pas affirmer que l'infestation observée provient de notre expérimentation et non pas de piqûres ultérieures. Dans le cas où cet essai serait reconduit, il serait donc essentiel de réaliser un test d'infestation sur des fruits ensachés. Il suffirait pour cela de prélever une certaine quantité de fruits ensachés et de les mettre à incuber en laboratoire, afin d'obtenir un pourcentage d'infestation, et donc un indicateur de l'efficacité de l'ensachage.

Comme pour le premier essai, nous avons constaté un manque de puissance de notre expérience, en raison du faible nombre de fruits testés. Il semble important que les essais soient réalisés avec des effectifs plus élevés, ainsi que des configurations de cages identiques. De plus, une quantité plus importante de fruits par stade de maturité permettrait d'affiner l'analyse et de déterminer avec précision quel stade point jaune est le plus attractif.

On remarque une différence de comportement entre les conditions naturelles au niveau de l'attraction des mouches pour les fruits verts (0% sur l'arbre contre 20% en cage). Il s'avère que les résultats obtenus en conditions artificielles ne seraient pas forcément représentatifs de la réalité. En effet, des changements physico chimiques se produisent sur le fruit à partir de la récolte, comme un ramollissement des chairs. D'après Alain Ratnadass, des micro fissures se formeraient sur l'épicarpe dans la zone du pédoncule, ce qui serait attractif pour la ponte. Par ailleurs, il est possible que la proximité des fruits et des composés volatils qui s'en échappent perturbe les sens des femelles. Pour contrer ce problème, nous pouvons imaginer la mise en place d'une expérience en conditions naturelles contrôlée, où des femelles prêtes à pondre seraient introduites dans des sacs d'ensachage en maille, servant à protéger les fruits sur l'arbre. Il s'agirait de conditions partiellement naturelles, car les fruits seraient sains, et l'infestation serait contrôlée, mais les mangues ne subiraient pas de stress supplémentaire.

Dans le cas où la mise en place de ce type d'expérience ne serait pas possible, il serait intéressant de réaliser des études sur le comportement de ponte des femelles sur les fruits verts. En

visualisant quelles zones du fruit sont les plus attractives, nous pourrions comprendre pour quelle raison les fruits verts ont été piqués en conditions artificielles.

Par ailleurs, en parallèle du test de choix que nous avons effectué, il pourrait être intéressant d'effectuer un test de non choix, où les mouches auraient à leur disposition uniquement des mangues vertes, ou au stade Point Jaune 25. Cela permettrait d'identifier de façon plus précise le stade à partir duquel les mouches sont attirées par le fruit.

4- Perspectives de recherche à venir

L'importance des dégâts causés par *Bactrocera dorsalis* démontre l'urgence de trouver une méthode prévenant au maximum les infestations. Or, la quantité de pertes rend impossible la mise en place de certaines pratiques, telle que l'élimination prophylactique, car les quantités de mangues à ramasser et à détruire sont extrêmement importantes. Les producteurs manqueraient de temps ainsi que de place, si les mangues sont détruites par enfouissement ou placées dans un augmentorium.

Il semblerait qu'une des meilleures solutions soit la mise en place de la technique de l'ensachage. Il paraît donc pertinent de rechercher quel type d'ensachage serait le plus adapté à la fois à cette mouche, ainsi qu'à cette culture et aux pratiques agricoles locales. En effet, il existe de nombreux types de sachets et de méthodes pour les installer, comme des sachets en papier fermés par des liens, ou des sachets en maille avec une armature en métal, ainsi que des techniques manuelles ou facilitées par des outils de type perche. En revanche, pour ensacher les mangues, il est nécessaire d'avoir un accès à la totalité des fruits de chaque arbre. Pour cela il sera essentiel de revoir les pratiques de taille mises en place à La Réunion, afin d'obtenir des arbres de taille réduite.

Cependant, le fondement même de notre expérimentation reste intéressant. Le potentiel des couvertures de sol pourrait de nouveau être testé, mais de manière différente. Cela pourrait par exemple faire partie d'un sujet de thèse, car il semble plus pertinent de réaliser ces tests sur plusieurs années consécutives.

Il paraît également essentiel de mettre en perspective nos résultats en effectuant une restitution auprès de producteurs de mangue. Une enquête sur leur point de vue permettra d'adapter les pratiques étudiées aux besoins des agriculteurs, et donc à leur réalité.

6- Applications concrètes possibles

Etant donné les dégâts observés sur la culture de la mangue, mais aussi l'observation de la présence de *B. dorsalis* sur de nombreuses autres cultures réunionnaises (goyaviers, etc..) à différentes altitudes, et donc sa rapidité de propagation, cette invasion semble difficile à endiguer. En effet, une lutte uniquement parcellaire sur la culture de mangue ne m'apparaît pas comme étant suffisante, car de nombreuses plantes hôtes de cette mouche sont sauvages ou se trouvent chez des particuliers.

C'est pourquoi il paraît important de réfléchir à l'organisation d'une lutte régionale, avec des campagnes de sensibilisation auprès des particuliers, pour les inciter à ramasser et détruire les fruits dans les jardins et les terrains privés. Cela permettrait tout d'abord de limiter le développement de l'infestation.

Conclusion générale

La mangue est une production fruitière à haut intérêt économique à La Réunion, mais le revenu des producteurs est continuellement menacé par les dégâts causés par les ravageurs. La mission du CIRAD est d'innover en créant des modes de gestion durables des vergers, permettant de limiter les dommages liés aux bioagresseurs, ainsi que l'utilisation des pesticides.

C'est dans cette optique que cette étude, menée par l'UPR Hortsys à La Réunion, cherche à évaluer le potentiel de différents leviers de gestion culturaux, qui sont : les couvertures de sol, l'élimination prophylactique des fruits proches de l'abscission et la récolte précoce, dans le but de réguler la présence d'un ravageur important, qui est la mouche des fruits. Ces expérimentations ayant préalablement été conduites en rapport avec les mouches *Bactrocera zonata*, *Ceratitis capitata* et *Ceratitis quilicii*, elle est ici concentrée sur *Bactrocera dorsalis*, détectée à la Réunion en 2017.

A travers trois essais, nous avons pu montrer que *Bactrocera dorsalis* n'est pas attirée par les fruits verts en conditions naturelles, ce qui permettra aux producteurs de mettre en place des méthodes de protections des fruits au-delà de ce stade de maturité. Nous avons également observé que cette mouche peut infester les petits fruits proches de l'abscission, mettant donc en évidence l'intérêt d'effectuer une élimination prophylactique de ces fruits avant la chute, afin de minimiser la réinfestation.

Cependant, le protocole ne permet pas de conclure quant à l'efficacité des couvertures de sol dans la lutte contre *Bactrocera dorsalis*. Si toutefois un protocole différent montrait leur potentiel, leur utilisation devrait être couplée à d'autres leviers de gestions, comme par exemple une récolte sanitaire combinée à l'utilisation d'un augmentorium. Il s'avère que le tapis de sol se révèle utile lorsqu'il s'agit d'effectuer la récolte sanitaire, tandis que l'enherbement haut favorise le développement des insectes auxiliaires comme le parasitoïde *Fopius arisanus*. Ce type de couverture de sol pourrait être utilisé dans des systèmes agroforestiers de production de mangues, associés à un élevage de volaille, en utilisant les larves contenues dans les fruits tombés au sol comme ressource nutritive pour les animaux, qui réduirait de ce fait la réinfestation.

Par ailleurs, au vu du comportement invasif de *Bactrocera dorsalis* ainsi que des dégâts déjà causés sur les cultures, il sera probablement nécessaire dans les années à venir de mettre en place une lutte au niveau régional, afin d'éradiquer la menace.

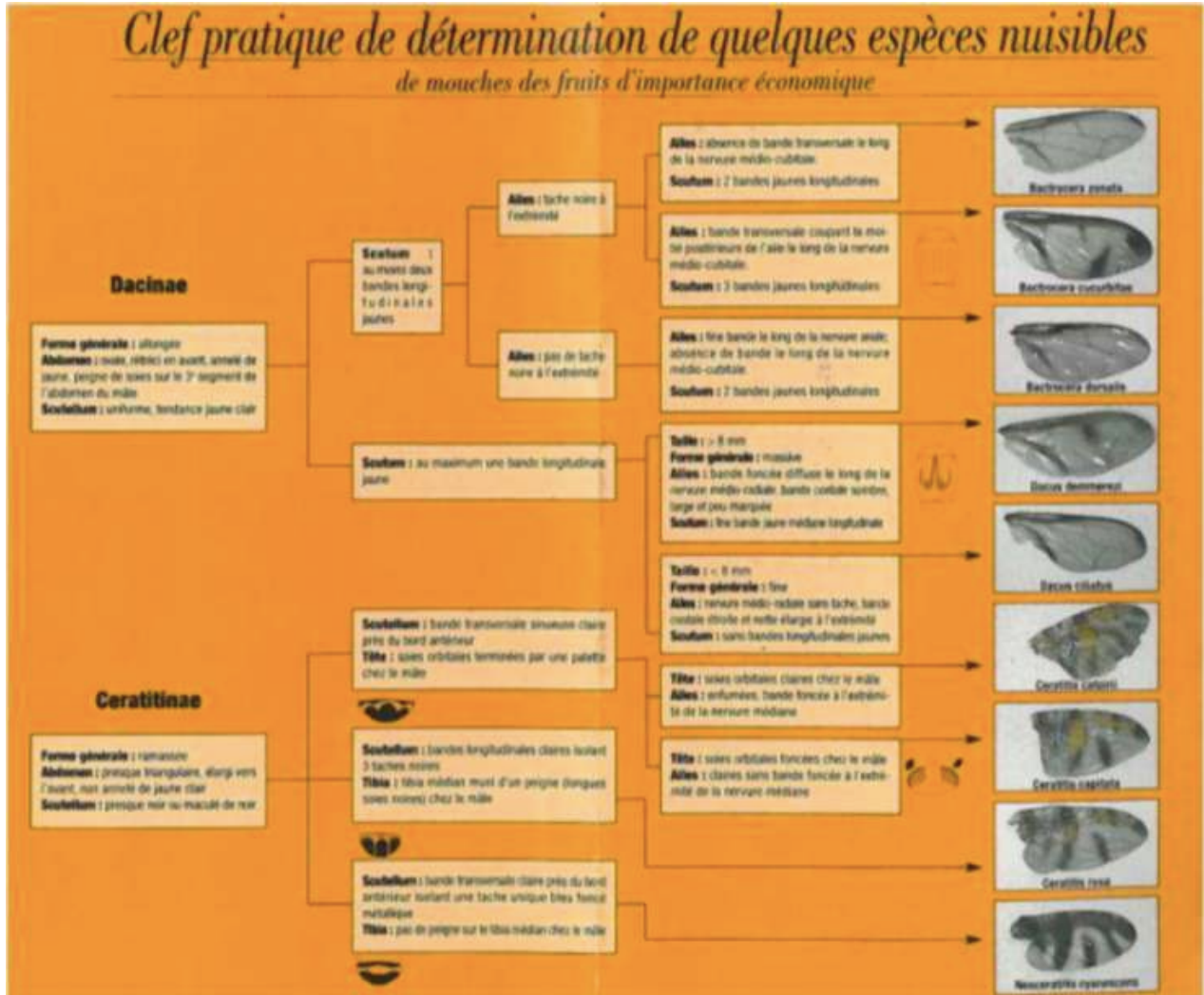
Bibliographie

- Amouroux P. [et al.]** Guide de production intégrée de mangues à La Réunion [Ouvrage]. - Saint Pierre : CIRAD, 2009. - Vol. 1 : 1.
- Amouroux Paul [et al.]** Guide de production intégrée de mangues à La Réunion [Ouvrage]. - Saint Pierre : CIRAD, 2009. - Vol. 1 : 1.
- Brévault T. et Quilici S.** Factors affecting behavioural responses to visual stimuli in the tomato fruit, *Neoceratitis cyanescens*. [Revue] // *Physiological Entomology*. - 1999. - Vol. 24.
- Caillat A.** Evaluation du niveau d'infestation des mangues par les mouches des fruits en fonction de leur état de maturité [Rapport] / CIRAD. - 2016.
- CIRAD** [En ligne]. - 2018. - 15 11 2018. - <https://www.cirad.fr/qui-sommes-nous/organigramme>.
- Clarke A. R. [et al.]** Invasive phytophagous pests arising through a recent tropical evolutionary radiation : the *Bactrocera dorsalis* complex of fruit flies [Article] // *Annual review of entomology*. - 2005. - Vol. 50.
- De Souza E. [et al.]** Contraintes à l'adoption de la méthode de l'hygiène sanitaire des vergers pour la lutte contre les mouches nuisibles aux fruits (Diptera, Tephritidae) par les producteurs de mangues et d'agrumes au Bénin. [Article] // *Agronomie Africaine*. - 2016. - Vol. 28.
- Deguine J.-P. [et al.]** L'augmentorium, un outil de protection agroécologique des cultures. Conception et évaluation en milieu paysan de l'Île de La Réunion. [Article] // *Cah Agric.* - juillet-août 2011. - Vol. 20.
- Deguine J.-P. [et al.]** Protection agroécologique des cultures [Ouvrage]. - [s.l.] : QUAE, 2016.
- Duyck P.-F.** Compétition interspécifique et capacités invasives. Le cas des Tephritidae de l'île de La Réunion. [Rapport] : Thèse / Université de la Réunion. Faculté des Sciences et Technologies.. - 2005.
- Duyck P.-F., David P. et Quilici S.** Climatic niche partitioning following successive invasions by fruit flies in La Réunion [Revue] // *Journal of Animal Ecology*. - Mars 2006. - 2 : Vol. 75. - pp. 528-526.
- Duyck P-F, David P. et Quilici S.** A review of relationships between interspecific competition and invasions in fruit flies (Diptera: Tephritidae) [Article] // *Ecological Entomology*. - 2004. - Vol. 29.
- Ekesi S., Nderitu P.W. et Rwomushana I.** Field Infestation, life history and demographic parameters of the fruit fly *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) in Africa [Article] // *Bulletin of ENTomological Research*. - 2006. - pp. 379- 386.
- Eyletters M., Ooms D. et Destain M.-F.** La fluorescence chlorophyllienne au service des productions végétales [Article]. - 2010.
- Fontaine R. et Roux E.** La mouche orientale des fruits (*Bactrocera dorsalis*) [Rapport]. - [s.l.] : Chambre d'Agriculture de La Réunion, 2017. - *Bulletin de Santé du Végétal*.
- Franck A., Deguine J.-P. et Vincenot D.** Guide de reconnaissance des Mouches des fruits et des légumes à La Réunion. Application de la protection agroécologique des cultures. [Ouvrage]. - [s.l.] : Chambre d'agriculture de La Réunion, CIRAD, 2018. - p. 38.

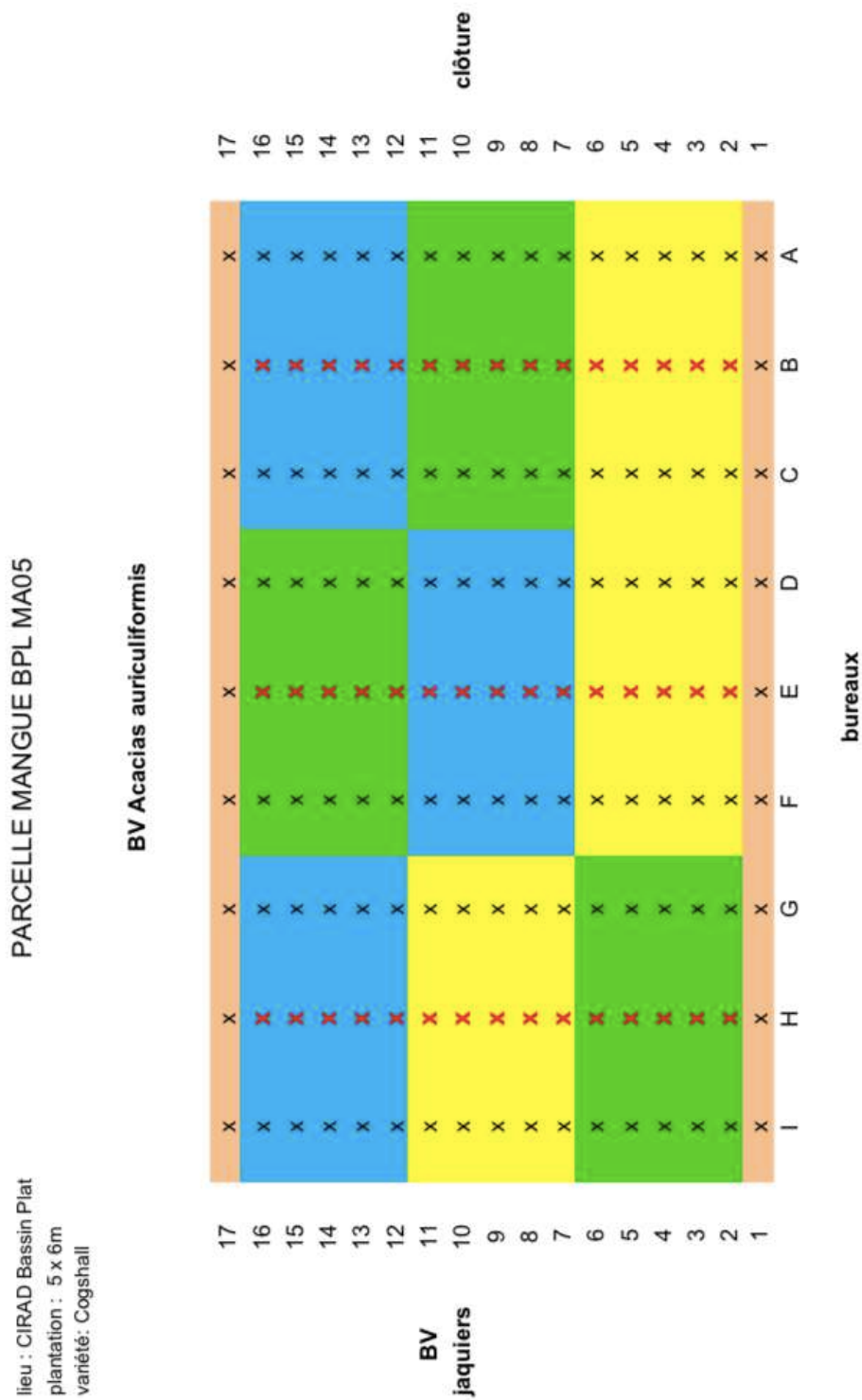
- Kireeti A., Haldankar P. M. et Parulekar Y. R.** Studies on effect of types of bag on mango fruit (Cv. Kesar) at egg stage [Article] // International Journal of Chemical Studies. - 2018. - Vol. 6. - pp. 01-04.
- Lemarié M.** Caractérisation des pratiques culturales et identification des profils de fonctionnement des exploitations agricoles productrices de mangues [Rapport] : Stage / AgroParisTech, CIRAD. - 2008. - p. 60.
- Market Information Database CBI Europe** : des marchés prometteurs pour l'export des mangues fraîches [Rapport]. - 2014.
- Ouedraogo S. N.** Dynamique spatio temporelle des mouches des fruits (diptera, tephritidae) en fonction des facteurs abiotiques et biotiques dans les vergers de manguiers de l'Ouest du Burkina Faso [Rapport] / Ecole Doctorale Science de la Vie et de la Santé ; Université Paris Est . - 2011.
- Preterre A.-L.** Evaluation des dynamiques des mouches des fruits, de l'abondance/maturation des mangues et des niveaux d'infestation des fruits en vergers de manguiers et Evaluation de la relation entre l'infestation des mangues et leur état de maturité. [Rapport] / CIRAD, AgroParisTech. - 2017.
- Rhodes M. J. C.** The biochemistry of fruits and their products [Ouvrage]. - New York : HULME, 1970. - Vol. 1.
- Rwomushana I. [et al.]** Effect of temperatures on development and survival of immature stages of *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) [Article]. - 2008.
- Sarker D., Rahman M.M. et Barman J.C.** Efficacy of Different Bagging Materials for the Control of Mango Fruit Fly [Article] // Bangladesh Journal of Agricultural Research. - Août 2009.
- Sterlin J. F.** Etude de la biologie et du comportement de *Bactrocera zonata* (Saunders), mouche des fruits invasive à l'île de La Réunion [Rapport] / CIRAD. - 2002.
- Vargas R., Piñero J. et Leblanc L.** An overview of Pest Species of *Bactrocera* Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) and the Integration of Biopesticides with Other Biological Approaches for their Management with a Focus on the Pacific Region [Revue] // Insects. - [s.l.] : Michael J. Stout, 2015. - Vol. 6.
- Vincenot D. et Normand F.** Guide de production intégrée de mangues à la Réunion [Ouvrage]. - Montpellier : CIRAD, 2009.

Annexes

Annexe 1: Clés de détermination des mouches des fruits :



Annexe 2: Plan du verger MA05



[illegible]

Annexe 4 : Température moyenne des 3 capteurs de température par modalités
durant les 3 relevés

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

Annexe 5 : Extrait du tableau de données résultant de l'essai 1 (1/2)

date	site	traitement	position	etat	num.echantill	fruits.echanti
16/10/2018	CPEA	ER	sol	nouvelles	1	6
16/10/2018	CPEA	ER	sol	nouvelles	2	8
16/10/2018	CPEA	ER	sol	vieilles	3	6
16/10/2018	CPEA	ER	sol	vieilles	4	19
16/10/2018	CPEA	EH	sol	nouvelles	5	4
16/10/2018	CPEA	EH	sol	vieilles	6	3
16/10/2018	CPEA	TS	sol	nouvelles	1	9
16/10/2018	CPEA	TS	sol	nouvelles	2	7
16/10/2018	CPEA	TS	sol	vieilles	3	6
16/10/2018	CR	EH	arbre	V	1	13
16/10/2018	CR	EH	sol	nouvelles	1	7
16/10/2018	CR	EH	sol	vieilles	2	4
16/10/2018	CR	TS	arbre	V	1	10
16/10/2018	CR	TS	sol	nouvelles	1	9
16/10/2018	CR	TS	sol	vieilles	2	10
16/10/2018	CR	ER	arbre	V	1	19
16/10/2018	CR	ER	sol	nouvelles	1	26
16/10/2018	CR	ER	sol	vieilles	2	26
07/11/2018	CPEA	ER	sol	vieilles	1	1
07/11/2018	CPEA	ER	sol	vieilles	2	1
07/11/2018	CPEA	ER	sol	vieilles	3	1
07/11/2018	CPEA	ER	sol	vieilles	4	1
07/11/2018	CPEA	ER	sol	vieilles	5	1
07/11/2018	CPEA	ER	sol	nouvelles	1	1
07/11/2018	CPEA	ER	sol	nouvelles	2	1
07/11/2018	CPEA	ER	sol	nouvelles	3	1
07/11/2018	CPEA	ER	sol	nouvelles	4	1
07/11/2018	CPEA	ER	sol	nouvelles	5	1
07/11/2018	CPEA	TS	sol	nouvelles	1	1
07/11/2018	CPEA	TS	sol	nouvelles	2	1
07/11/2018	CPEA	TS	sol	nouvelles	3	1
07/11/2018	CPEA	TS	sol	nouvelles	4	1
07/11/2018	CPEA	TS	sol	nouvelles	5	1
07/11/2018	CPEA	TS	sol	vieilles	1	1
07/11/2018	CPEA	TS	sol	vieilles	2	1
07/11/2018	CPEA	TS	sol	vieilles	3	1
07/11/2018	CPEA	TS	sol	vieilles	4	2
07/11/2018	CPEA	EH	sol	vieilles	1	1
07/11/2018	CPEA	EH	sol	vieilles	2	1
07/11/2018	CPEA	EH	sol	vieilles	3	1
07/11/2018	CPEA	EH	sol	vieilles	4	1
07/11/2018	CPEA	EH	sol	nouvelles	5	1
07/11/2018	CPEA	EH	sol	nouvelles	1	1
07/11/2018	CPEA	EH	sol	nouvelles	2	1
07/11/2018	CPEA	EH	sol	nouvelles	3	1
07/11/2018	CPEA	EH	sol	nouvelles	4	1
07/11/2018	CPEA	EH	sol	nouvelles	5	1

Annexe 5 : Extrait du tableau de données résultant de l'essai 1 (2/2)

poids.fruits	pupes	larves	adulte1	adulte2	nb.fruits.infes	taux infest
451	17	37	12	0	3	0,11973392
200	0	0	0	0	0	0
244	330	5	247	0	6	1,37295082
201	61	0	51	0	8	0,30348259
264	6	0	5	0	1	0,02272727
52	0	0	0	0	0	0
570	129	11	95	0	4	0,24561404
151	37	0	36	0	2	0,24503311
114	67	0	56	0	2	0,5877193
139	3	0	2	1	2	0,02158273
96	9	0	8	1	1	0,09375
76	21	0	17	2	1	0,27631579
280	0	0	0	0	0	0
281	0	0	0	0	0	0
227	0	0	0	0	0	0
118	0	0	0	0	0	0
306	10	0	9	0	1	0,03267974
194	4	0	4	0	1	0,02061856
80	37	2	18	16	1	0,4875
103	22	3	22	1	1	0,24271845
66	28	0	20	0	1	0,42424242
76	47	0	45	0	1	0,61842105
62	1	0	1	0	1	0,01612903
100	6	0	4	2	1	0,06
102	1	3	0	0	1	0,03921569
93	17	6	1	12	1	0,24731183
65	10	0	9	0	1	0,15384615
60	5	0	5	0	1	0,08333333
102	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0
117	39	4	7	23	1	0,36752137
128	5	0	3	1	1	0,0390625
92	31	10	0	4	1	0,44565217
79	17	0	17	0	1	0,21518987
68	0	0	0	0	0	0
85	15	0	9	1	1	0,17647059
101	24	0	20	0	1	0,23762376
91	0	0	0	0	0	0
84	0	0	0	0	0	0
89	0	18	0	0	1	0,20224719
73	61	0	53	8	1	0,83561644
63	22	0	10	7	1	0,34920635
160	0	51	0	0	1	0,31875
109	0	0	0	0	0	0
77	0	0	0	0	0	0
89	0	0	0	0	0	0
61	16	4	5	3	1	0,32786885

Annexe 6 : Résultats d'un test de comparaison multiple des moyennes : Test des étendues de Tukey

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
PJ25 - V == 0	0.4053	0.8220	0.493	0.98772	
PJ50 - V == 0	0.9844	0.7979	1.234	0.72709	
PJ75 - V == 0	2.7980	0.8604	3.252	0.00979	**
M - V == 0	2.5075	0.6989	3.588	0.00285	**
PJ50 - PJ25 == 0	0.5791	0.9448	0.613	0.97243	
PJ75 - PJ25 == 0	2.3926	0.9986	2.396	0.11366	
M - PJ25 == 0	2.1022	0.8622	2.438	0.10312	
PJ75 - PJ50 == 0	1.8136	0.9633	1.883	0.32155	
M - PJ50 == 0	1.5231	0.8226	1.851	0.33867	
M - PJ75 == 0	-0.2905	0.7841	-0.370	0.99589	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)