

Stage de césure

Formation ingénieur Agroparistech affilié à FacForPro



Evaluation de l'effet de pratiques culturales (type de couverture du sol / temps passé au sol par les fruits) et d'états physiologiques (couleur des fruits / état d'abscission / stade de maturité) sur l'infestation des mangues par les mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) à la Réunion.

Mickaël LARDENOIS

Stage réalisé du 07 octobre 2019 au 14 avril 2020

Encadrants :

Alain RATNADASS et **Isabelle GRECHI**

CIRAD – UPR HortSys

Station de Bassin-Plat, 97410 Saint-Pierre, Ile de la Réunion.

Table des matières

Glossaire	VIII
1. Introduction.....	1
1.1. Structure d'accueil.....	1
1.2. Contexte	1
1.3. Objectifs de l'étude	2
2. Matériels et méthodes	4
2.1. Les vergers de manguiers.....	4
2.1.1. Piton Défaud (Saint-Paul)	4
2.1.2. Bassin-Plat (Saint-Pierre).....	4
2.2. Méthodes de détermination des stades de maturité des mangues	5
2.2.1. Estimation visuelle.....	5
2.2.2. Fluorescence chlorophyllienne de l'épicarpe.....	5
2.3. Piégeage des mouches	5
2.4. Essai 1 : infestation des petits fruits selon l'état physiologique	6
2.4.1. Ramassage des petits fruits de l'essai 1	7
2.4.2. Incubation des petits fruits de l'essai 1	7
2.4.3. Dissection des petits fruits de l'essai 1.....	8
2.5. Essai 2 : infestation des petits fruits selon la couverture du sol et du temps passé au sol	8
2.5.1. Ramassage des petits fruits de l'essai 2	8
2.5.2. Incubation des petits fruits de l'essai 2	10
2.5.3. Dissection des petits fruits de l'essai 2.....	10
2.6. Essai 3 : infestation des fruits selon le stade de maturité en conditions naturelles.....	10
2.6.1. Récolte des fruits de l'essai 3	10
2.6.2. Incubation des fruits de l'essai 3	11
2.6.3. Dissection des fruits de l'essai 3.....	11
2.7. Essai 4 : infestation des fruits par <i>Bactrocera dorsalis</i> selon le stade de maturité sous infestation artificielle	12
2.7.1. Récolte des fruits de l'essai 4	12
2.7.2. Incubation des fruits de l'essai 4	13
2.7.3. Dissection des fruits de l'essai 4.....	14
2.8. Méthode d'analyse des données	14

3.	Résultats et discussion	16
3.1.	Fluorescence.....	16
3.2.	Piégeage	17
3.2.1.	Résultats à Piton-Défaud.....	17
3.2.2.	Résultats à Bassin-Plat.....	19
3.3.	Infestation des petits fruits de l'essai 1.....	20
3.3.1.	Résultats à Piton-Défaud.....	20
3.3.2.	Résultats à Bassin-Plat.....	20
3.4.	Infestation des petits fruits de l'essai 2.....	21
3.4.1.	Résultats à Piton-Défaud.....	21
3.4.2.	Résultats à Bassin-Plat.....	24
3.4.3.	Discussions sur les résultats des essais 1 et 2	26
3.5.	Infestation des fruits en conditions naturelles de l'essai 3.....	29
3.5.1.	Résultats sur mangues Cogshall	29
3.5.2.	Résultats sur mangues José.....	30
3.5.3.	Discussion	31
3.6.	Infestation de l'essai 4.....	32
3.6.1.	Résultats	32
3.6.2.	Discussion	33
4.	Conclusions.....	34
5.	Bibliographie.....	35
	ANNEXE 1 : Guide d'aide pour l'identification des stades de maturité des mangues Cogshall (A) et José (B) (source : <i>Préterre 2017</i>).	38
	ANNEXE 2 : Cycle de vie d'une mouche des fruits.	39
	ANNEXE 3 : Résultats de l'essai 3 avec distinction du verger.	40

Liste des illustrations

Figure 1 : Carte de l'île de la Réunion.....	4
Figure 2: Différents types de couverture du sol à Piton Défaud	9
Figure 3 : Mangues triées selon leur stade de maturité.	11
Figure 4 : Mangue Cogshall ensachée sur la station de Bassin-Plat.....	12
Figure 5: Cage et placement des mangues pour infestation artificielle par <i>Bactrocera dorsalis</i>	12
Figure 6: Fruits en incubation dans la chambre climatique NS2-2.....	13
Figure 7 : Fv en fonction du stade des mangues Cogshall de l'essai 3. Test de comparaison de Student (p-valeur<0,05).	16
Figure 8 : Fv en fonction du stade des mangues José de l'essai 3. Test de comparaison de Student (p-valeur<0,05).....	16
Figure 9 : : Fv en fonction du stade des mangues de l'essai 4. Test de comparaison de Student (p-valeur<0,05).....	17
Figure 10 : Pourcentage par espèces des captures dans les 4 pièges de Piton-Défaud.	17
Figure 11 : Nombre de mouches <i>B.dorsalis</i> capturées dans 4 pièges par jour en fonction de la date de relevé du piège et du sexe à Piton-Défaud.	18
Figure 12 : Pourcentage par espèces des captures dans les 4 pièges de Bassin-Plat.	19
Figure 13 : Nombre de mouches <i>B.dorsalis</i> capturées dans 4 pièges par jour en fonction de la date de relevé du piège et du sexe à Bassin-Plat.	19
Figure 14 : Pourcentage d'infestations des mangues de l'essai 1 à Piton-Défaud. Test de comparaison Wilcoxon (p-valeur<0,01). (a) En fonction de la couleur des mangues. (b) En fonction de l'état d'abscission des mangues.....	20
Figure 15 : Pourcentage d'infestations des petites mangues à Bassin-Plat. Test de comparaison Wilcoxon (p-valeur<0.01). (a) En fonction de la couleur des mangues. (b) En fonction de l'état d'abscission des mangues.	21
Figure 16 : Taux d'infestation des petits fruits à Piton-Défaud. (a) : En fonction de la couverture de sol. (b) : En fonction du temps passé au sol. Test de comparaison Wilcoxon (p-valeur<0,001).....	22
Figure 17 : Taux d'infestation des petits fruits en fonction du type de couverture de sol et du temps passé au sol à Piton-Défaud.	23
Figure 18 : Nombre de pupes par kg de fruit (moyenne calculée à partir de la somme des pupes et du poids moyen des lots d'incubation des fruits) en fonction du type de couverture de sol et du temps passé au sol à Piton-Défaud.	24
Figure 19 : Taux d'infestation des petits fruits à Bassin-Plat. (a) : En fonction du type de couverture de sol. (b) : En fonction du temps passé au sol.	25
Figure 20 : Taux d'infestation des petits fruits à Bassin-Plat en fonction du type de couverture de sol et de la durée passée au sol.	25
Figure 21 : Nombre de pupes par kilogrammes de fruits à Bassin-Plat en fonction du type de couverture de sol et de la durée passée au sol.....	26
Figure 22 : Taux d'infestation des mangues Cogshall, tous vergers confondus. Test de Wilcoxon (p-valeur<0,05).....	29
Figure 23 : Nombre de pupes + larves par kg de mangues Cogshall, tous vergers confondus.....	30
Figure 24 : Taux d'infestation des mangues José à Bassin-Plat. Test de comparaison de Wilcoxon (p-valeur<0,05).....	30
Figure 25 : Nombre de pupes + larves par kg de mangues José à Bassin-Plat. Test de comparaison de Wilcoxon (p-valeur<0,05).	31

Figure 26 : Pourcentage d'infestation des mangues en infestation artificielle en fonction du stade de maturité..... 32

Figure 27 : Nombre de pupes + larves par kg de mangues en infestation artificielle en fonction du stade de maturité..... 32

Liste des tableaux

Tableau 1 : Dates des renouvellements et des relevés, codes correspondants et durée de piégeage des pièges à Bassin-Plat et Piton Défaud.	6
Tableau 2 : Nombre de lot et de fruits par lots en fonction des différentes combinaisons de facteurs pour l'essai sur petits fruits en fonction de l'état physiologique à Bassin-Plat et Piton Défaud.	7
Tableau 3: Nombre de lot et de fruits par lot en fonction des différentes combinaisons de facteurs pour l'essai sur petits fruits en fonction de la couverture du sol à Bassin-Plat et Piton Défaud.	9
Tableau 4 : Caractéristiques des différentes récoltes de mangues pour les essais en infestations naturelles.....	10
Tableau 5 : Données des capteurs Hygroboutons (type 23, 8K -20/+85°C) et Tinytag (type TGP-4500) placés lors de l'incubation des fruits en infestations naturelles du 12 décembre 2019 au 21 février 2020. A raison de 1 mesure par heure.	11
Tableau 6: : Caractéristiques des différentes récoltes de mangues pour les essais en infestations artificielles.	13
Tableau 7 : Moyennes générales et écart-types des températures journalières moyennes, des minimums et maximums de température et d'humidités, relevés par les capteurs tinytag en fonction de la couverture de sol à Piton-Défaud, sur une durée de 10 jours consécutif.....	22
Tableau 8 : Moyennes générales et écart-types des températures journalières moyennes, des minimums et maximums de température et d'humidités, relevés par les capteurs tinytag en fonction de la couverture de sol à Bassin-Plat, sur une durée de 18 jours consécutifs.	24

Glossaire

-mL = millilitre

-cm = centimètre

-kg = kilogramme

-EH = Enherbement Haut

-ER = Enherbement Ras

-TS = Tapis de Sol

-V = Vert

-T = Tournant

-PJ25 = Point Jaune 25 %

-PJ50 = Point Jaune 50 %

-PJ75 = Point Jaune 75 %

-M = Mûr

-MM = Sur-mature

-Absc = Abcission

1. Introduction

1.1. Structure d'accueil

Le CIRAD, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement est un centre de recherche français spécialisé dans les régions tropicales et méditerranéennes. Le CIRAD effectue des travaux en partenariat avec plus de 100 pays (*Cirad, 2020*). Il est notamment présent en Outre-Mer, comme c'est le cas depuis 60 ans à la Réunion, lieu où a été réalisée cette étude.

Ce stage s'est déroulé au sein de l'unité de recherche « HortSys » (« Fonctionnement agro écologique et performances des systèmes de culture horticoles »), rattaché au département « Persyst » du CIRAD, sur la station de Bassin-Plat. Une partie du stage s'est déroulée au sein des laboratoires au Pôle de Protection des Plantes à Ligne Paradis (3P, IBISA), en collaboration avec l'unité mixte de recherche PVBMT.

Cette étude s'inscrit dans le cadre du DDP COSAQ (« Co-conception de systèmes agro-alimentaires de qualité ») financé par la communauté européenne (fond structurel FEDER) et le Conseil Régional de La Réunion, ainsi que du projet ECOVERGER, action pilotée par le ministère de l'Agriculture et de l'alimentation et le ministère de la Transition écologique et solidaire, avec l'appui financier de l'Agence française pour la biodiversité dans le cadre de l'APR "Résistance et pesticides" grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto.

1.2. Contexte

La production mondiale de mangue s'élève à plus de 30 millions de tonnes par an, les américains en consomment près d'un kg par an et par habitant (*Cirad, 2020*). C'est un fruit largement consommé par la population occidentale qui présente des avantages gustatifs, énergétiques et nutritionnels reconnus.

A la Réunion, la production de mangue représente environ 3000 tonnes annuelles réparties sur 329 hectares. Plus de la moitié des vergers produisent des mangues de variété José, destinées au marché local. Un quart des vergers réunionnais sont de la variété Cogshall, elle représente la majorité des mangues exportées.

Toutefois, la mangue est un fruit qui subit de fortes pressions en bio agresseurs tout au long de son développement, dont les mouches des fruits (Diptères : Tephritidae).

En avril 2017, une nouvelle espèce invasive est détectée à la Réunion : la mouche orientale des fruits *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (*Marquier et Fontaine, 2019*).

A titre d'exemple, d'après *Vayssières et al (2008)*, sur l'année 2006 les pertes de rendement dû aux mouches des fruits sur les mangues du Bénin varient de 17 à 70 % suivant la période de l'année (d'avril à juin).

Concernant la Réunion : à compter du 14 décembre 2019, l'exportation de mangues (récolte de 2019-2020) depuis l'île est interdite que ce soit à titre professionnel ou personnel (*Préfecture de La Réunion, 2019*). Dans des conditions d'absence du ravageur *Bactrocera dorsalis* et au vu du danger potentiel de son introduction involontaire dans les vergers européens, les mangues, étant hôtes de ce ravageur, ne peuvent être acheminées en Europe.

La mouche orientale des fruits provoque ainsi de fortes pertes économiques pour les producteurs réunionnais.

Les mouches des fruits pondent leurs œufs dans les mangues. Les dégâts sont causés par les laves qui s’y développent, en se nourrissant de la chair du fruit. Cela provoque un murissement du fruit et une chute précoce. Une fois au sol, les larves sortent des fruits et vont s’empurger dans le sol. Puis un nouveau cycle peut débuter, un cycle complet dure entre 17 et 48 jours pour *Bactrocera dorsalis* (Marquier et Fontaine, 2019).

Le principal facteur d’infestation des mangues par les mouches des fruits est le stade de maturité. Ainsi, les mouches des fruits semblent piquer d’avantage les fruits mûrs et sur-matures (Rattanapun et al, 2009). Récolter les fruits précocement constituerait donc une stratégie d’évitement visant à réduire l’exposition de mangues et donc les dégâts subit par les mouches des fruits. De même, les récoltes prophylactiques avec élimination des fruits ramassés peuvent permettre de limiter la ré-infestation en mouche des fruits dans un verger.

Ce stage s’inscrit à la suite d’études menées dans les mêmes objectifs (Caillat, 2016 ; Préterre, 2017 ; Brunet-Lecomte, 2019). Trois ans après la première détection de ce ravageur sur le territoire réunionnais, les données de cette étude viendront alimenter la situation post-invasion de *Bactrocera dorsalis* sur l’île.

1.3.Objectifs de l’étude

Le premier objectif de ce stage est d’étudier l’infestation précoce des mangues en fonction de différents paramètres. Pour ce faire, nous décidons de prendre en considération des paramètres d’état physiologiques (couleur des fruits, état d’abscission), et de techniques culturales (temps passé au sol par les fruits et type de couverture du sol). En déterminant sous quelles conditions l’infestation est la plus forte, nous permettrions l’élaboration d’itinéraires techniques visant à lutter, de manière indirecte, contre ce ravageur (ramassages prophylactiques).

L’autre objectif est de caractériser la courbe de réponse entre le taux d’infestation des mangues par les mouches des fruits et l’état de maturité des fruits en conditions naturelles et artificielles. Cela permettrait la mise en place de stratégie d’évitement, en récoltant les mangues avant qu’elles ne soient piquées par les mouches des fruits (ou dans des proportions acceptables).

Pour répondre à ces objectifs des expérimentations sont menées dans des vergers de manguiers, de la variété Cogshall et José. Chez deux producteurs dans l’Ouest (un à Piton-Défaud, l’autre à Saint-Gilles-les-Bains), et à la station d’expérimentation du CIRAD à Bassin-Plat. Sur l’ensemble de ces 3 sites nous procédons également à la mise en place de pièges à mouches afin d’évaluer la pression en mouches des fruits et la dynamique d’évolution au cours du temps.

Nous procédons d’abord par ramassage précoce des mangues (pendant la période d’éclaircissage naturelle du manguier). Plus tard dans la saison, nous récoltons des mangues selon différentes modalités de maturité. Pour cela, nous évaluons visuellement et à l’aide de mesures de fluorescence (liée à la chlorophylle) le stade de maturité de chacune des mangues. La mise en incubation des fruits et leur dissection nous permettra d’en déduire le taux d’infestation et le nombre de pupes par kg de fruits en fonction des modalités étudiées.

Ces expérimentations de terrain sont complétées par des expérimentations au laboratoire avec la mise en place de test de choix sur différentes modalités de maturité des mangues avec des mouches d'élevages. L'infestation artificielle se concentrera uniquement avec *Bactrocera dorsalis*, puisqu'elle est l'espèce majoritairement responsable des infestations sur manguier depuis 2018 dans les vergers de l'étude (Brunet-Lecomte, 2019) et aprioris de la Réunion.

Enfin, les données recueillies seront analysées statistiquement dans la mesure du possible afin d'en tirer de potentielles conclusions.

A noter que suite à un problème de communication et à une récolte précoce, aucune expérimentation n'a pu être mise en place chez le producteur de Saint-Gilles-les-Bains. De plus, les pièges à mouches ont été retirés par le producteur lui-même quelques jours seulement après leur mise en place dans son verger. Nous ne disposerons donc pas de données en provenance de ce verger dans cette étude.



2. Matériels et méthodes

2.1. Les vergers de manguiers

2.1.1. Piton Défaud (Saint-Paul)

Nous avons mis en place des essais dans une parcelle de manguiers de la variété Cogshall âgés de 8 ans chez Monsieur Claudy Robert. Ce verger se situe au Nord-Ouest de la Réunion à Piton Défaud (commune de Saint-Paul, voir [figure 1](#) : 20°57'48.8''S 55°18'30.2''E).



Figure 1 : Carte de l'île de la Réunion

L'environnement proche de ce verger est constitué de manguiers et de cultures maraîchères. Pour toute la durée de nos essais, les traitements et méthodes de lutte contre les mouches des fruits mis en place par l'agriculteur se sont résumés uniquement à l'application d'un traitement par taches [Synéis appât® = insecticide biologique (Spinosad)+ attractif alimentaire] dans le verger.

2.1.2. Bassin-Plat (Saint-Pierre)

Deux vergers ont été utilisés sur la station du CIRAD à Bassin-Plat (commune de Saint-Pierre, voir [figure 1](#) : 21°19'22,7''S 55°29'19,8''E) : un verger constitué de manguiers de la variété Cogshall âgés de 16 ans, et un autre constitué de manguiers des variétés José et Kent âgés de 8 ans. Les deux vergers sont entourés par des parcelles de litchis et d'agrumes, et des haies de jacquiers. Aucun moyen de lutte contre les mouches de fruits n'a été mis en place sur les deux vergers de cette étude pendant toute la durée de nos essais.

2.2. Méthodes de détermination des stades de maturité des mangues

2.2.1. Estimation visuelle

La méthode la plus rapide pour estimer le stade de maturité d'une mangue est l'estimation visuelle, basé sur un guide de reconnaissance des stades (visible en ANNEXE 1). Pour les deux variétés, la maturation se caractérise par un changement de couleur de l'épicarpe. Sur Cogshall une couleur jaune apparaît à partir de l'apex puis se répand petit à petit en remontant vers le pédoncule, tandis que pour José la couleur jaune apparaît de manière plus diffuse sur l'ensemble du fruit. La pigmentation de l'épicarpe (couleur et répartition sur la mangue) est la seule caractéristique utilisée avec la méthode d'identification visuelle des stades.

Nous identifierons ainsi 6 stades de maturité pour la mangue Cogshall : Vert (V), Tournant (T), Point Jaune <25% (PJ25), Point Jaune <50% (PJ50), Point Jaune <75% (PJ75) et Mûr (M) (ici nous avons fait le choix de regrouper dans cette catégorie les mangues mûres ainsi que les sur-matures). Concernant la mangue José, là aussi 6 stades seront identifiés, mais différents de ceux de Cogshall : Vert (V), Tournant (T), Point Jaune 1 (PJ1), Point Jaune 2 (PJ2), Mûr (M), Sur-mature (MM).

Cette méthode d'estimation est rapide et instantanée, mais bien que basée sur des critères qualitatifs et quantitatifs prédéfinis, elle pose un problème de subjectivité qui peut induire un certain biais. Notamment, elle présente parfois des difficultés pour différencier deux stades proches, ou par exemple pour l'identification des mangues au stade « Tournant ».

2.2.2. Fluorescence chlorophyllienne de l'épicarpe

Pour appuyer l'estimation visuelle du stade de maturité des mangues, nous utilisons un fluorimètre portable (Fluorescence Monitoring System FMS2). La chlorophylle, une fois excitée par de la lumière, émet de la fluorescence. La quantité de fluorescence, qui est mesurée par le fluorimètre, dépendra donc de la teneur en chlorophylle de l'épicarpe de la mangue. Ainsi une mangue verte émettra davantage de fluorescence qu'une mangue mûre.

Pour la réalisation des mesures, le capteur du fluorimètre est placé sur une partie relativement plate au niveau de l'apex des mangues Cogshall (là où commence le changement de couleur : apparition du point jaune), sur la face opposée à celle qui était orientée au soleil (cette dernière se caractérisant par une pigmentation rouge de l'épicarpe). Pour les mangues José, dont la forme et le changement de couleur (qui est plus diffus) ne permettent pas d'utiliser la même méthodologie, deux mesures sont effectuées par mangue, une par « joue » (face latérale de la mangue), et la moyenne des deux mesures calculée. Nous réalisons les mesures de fluorescence au laboratoire.

Les paramètres mesurés par le fluorimètre sont :

F₀ : fluorescence à l'état initial

F_m : fluorescence maximale

F_v : fluorescence variable ($F_v = F_m - F_0$)

F_v/F_m : Rendement quantique maximal du photosystème II

L'indicateur de maturité que nous retiendrons est la fluorescence variable F_v (Léchaudel *et al.* 2010).

2.3. Piégeage des mouches

Afin d'estimer la pression en mouches des fruits dans les vergers en parallèle de nos essais, nous avons placé des pièges de type « Mc Phail » contenant un attractif alimentaire, le phosphate

diammonique. Le phosphate diammonique est un attractif sélectif pour les mouches des fruits. Le dosage est de 40 grammes pour 1 litre d'eau. Nous versons ensuite 200 mL de solution par piège et remplaçons le mélange toutes les semaines (sauf quelques exceptions).

Considérant que chaque piège a un pouvoir attractif d'un rayon d'environ 10 mètres nous plaçons 4 pièges par verger, à environ 20 mètres d'écart, de manière à couvrir l'ensemble des zones de récolte des mangues utilisées dans nos essais et sans qu'il y ait d'interférence entre les pièges.

Les pièges ont été mis en place du 31 octobre 2019 au 19 février 2020 et les relevés ont été réalisés selon les modalités visibles dans le [tableau 1](#).

Tableau 1 : Dates des renouvellements et des relevés des pièges et durée de piégeage des pièges à Bassin-Plat et Piton Défaud.

Date de renouvellement et de relevé des pièges	Durée de piégeage (en jours)
31/10 au 07/11	7
07/11 au 14/11	7
14/11 au 21/11	7
21/11 au 28/11	7
28/11 au 04/12	7
04/12 au 11/12	7
11/12 au 18/12	7
18/12 au 24/12	6
24/12 au 07/01	14
07/01 au 14/01	7
14/01 au 21/01	7
21/01 au 04/02	14
04/02 au 19/02	15

Lors du renouvellement de l'attractif, l'ancien liquide est filtré à la passoire afin de le séparer des insectes capturés qui seront quant à eux stockés dans un flacon d'alcool pour une identification ultérieure. Le liquide est ramené au laboratoire pour y être éliminé car répandu sur le site de piégeage il pourrait interférer avec les pièges actifs. Lors de l'identification, seules les Tephritidae (avec distinction des sexes) sont comptées ainsi que les auxiliaires suite à l'observation de captures importantes de coccinelles (*Rodolia chermesina*) chez le producteur de Saint Gilles (raison pour laquelle il a décidé de retirer les pièges de son verger).

2.4. Essai 1 : infestation des petits fruits selon l'état physiologique

Au cours du développement de ses fruits, le manguiier effectue un processus d'éclaircissage naturel qui se traduit par l'abscission précoce de fruits. C'est ce que nous considérerons ici comme « petits fruits ». Ces petits fruits peuvent être une source de prolifération de la mouche des fruits, il est donc intéressant d'y faire des observations.

Seules des mangues de la variété Cogshall ont été récoltées lors de ces essais sur petits fruits.

Ici, par souci logistique, les mangues sont regroupées par lots : le nombre de mouches émergées ainsi que le poids des fruits sont caractérisés à l'échelle globale des lots, puis ramenés à l'échelle

du fruit en divisant par le nombre de fruits dans chaque lot. Seule la caractérisation de l'infestation est faite individuellement à l'échelle de chaque fruit.

2.4.1. Ramassage des petits fruits de l'essai 1

L'objectif de cet essai est d'observer si l'état physiologique de la mangue a un impact sur le niveau d'infestation par la mouche des fruits. Cet état physiologique est caractérisé par deux facteurs : l'état d'abscission du fruit et sa couleur.

Pour l'état d'abscission, nous distinguerons ici 3 modalités :

- « Non-Abs » : mangues sur l'arbre et bien attachées, n'étant pas en état d'abscission.
- « Abs Arbre » : mangues encore sur l'arbre mais présentant une zone d'abscission sur le pédoncule et se détachant facilement.
- « Abs Sol » : mangues déjà tombées au sol par abscission.

Pour la couleur, nous distinguons 3 modalités : « vert », « vert-jaune » et « jaune ». La couleur du fruit est déterminée visuellement en fonction de la couleur dominante du fruit au moment du ramassage, indépendamment de son état d'abscission.

Au total, trois récoltes de petits fruits ont été effectuées : deux récoltes à Bassin-Plat le 11 et le 25 octobre 2019, et une récolte à Piton Défaud le 31 octobre 2019. Le nombre de lots et de fruits obtenus pour chaque combinaison de facteurs est donné dans le [tableau 2](#).

Tableau 2 : Nombre de lot et de fruits par lots en fonction des différentes combinaisons de facteurs pour l'essai sur petits fruits en fonction de l'état physiologique à Bassin-Plat et Piton Défaud.

	Non-absc.Vert	Absc-arbre.Vert	Absc-arbre.Vert-Jaune	Absc-arbre.Jaune	Absc-sol.Vert	Absc-sol.Jaune
Bassin-Plat	3 lots de 6 fruits	0 lot	2 lots de 6 fruits et 1 lot de 5 fruits	3 lots de 6 fruits et 1 lot de 8 fruits	1 lot de 6 fruits	3 lots de 13 fruits et 1 lot de 8 fruits
Piton-Défaud	3 lots de 6 fruits	3 lots de 6 fruits	0 lot	3 lots de 6 fruits	0 lot	0 lot

Le nombre de lots varie en fonction des disponibilités en fruits dans les vergers au moment des ramassages. Ce qui explique notamment l'absence de lot pour certaines combinaisons de modalités. De plus, les possibilités de ramassages étaient limitées par l'essai sur la couverture de sol (cf. § 2.5), qui une fois mis en place ne permettait plus d'effectuer des ramassages pour cet essai. L'ensemble des lots ont donc été collectés avant, ou au plus tard au moment de la mise en place de l'essai sur la couverture du sol.

Le protocole a été affiné au cours de l'essai, le nombre de 6 fruits par lots n'était alors pas établi lors de la première récolte ce qui explique les différences de fruits par lot sur certaines combinaisons.

2.4.2. Incubation des petits fruits de l'essai 1

Pour observer le taux et le niveau d'infestation des mangues il est nécessaire de les mettre en incubation afin de laisser éclore les potentiels œufs, et se développer les larves et pupes présentes.

Les petits fruits destinés à être incubés sont placés en groupes aléatoires.

Les lots de fruits sont disposés dans des housses à fruits Nortène® sur un lit (quelques cm) de sable de rivière préalablement passé à l'étuve (75 °C durant 48 heures). Les sachets sont déposés dans des caisses à fruits en plastique, eux-mêmes surélevés au moyen de supports enduits de glu comme protection contre des nuisibles pouvant détériorer les sachets et les fruits et s'attaquer aux stades pré-marginaux de mouches (fourmis notamment).

Le temps d'incubation est de 3 semaines, en lien avec le cycle de développement des mouches des fruits.

2.4.3. Dissection des petits fruits de l'essai 1

Après une incubation de 3 semaines, les mangues sont disséquées dans l'objectif d'observer si elles ont été piquées par les mouches des fruits, et de compter le nombre de larves dans les fruits. S'il y a des larves encore vivantes dans le fruit, celui-ci est remis en incubation 1 semaine supplémentaire car suivant l'espèce les mouches des fruits n'ont pas toutes la même durée de développement. L'objectif étant d'avoir un maximum d'adultes afin de pouvoir identifier l'espèce.

Ensuite le sable est tamisé soigneusement pour en extraire et compter les pupes et adultes éventuellement présents. Les adultes sont identifiés et les pupes sont placées dans une boîte à couvercle muni de tissu moustiquaire pour l'aération, pendant 1 semaines afin de faire émerger les adultes pour une identification ultérieure de l'espèce, mais aussi afin de permettre l'émergence des parasitoïdes éventuellement présents (tels que *Fopius arisanus*).

Le nombre de pupes observées par fruit est ensuite divisé par la masse fraîche du fruit pour calculer le nombre de pupes (et de larves mortes qui n'ont pas atteint le stade de pupes) par kilogramme de fruit.

2.5. Essai 2 : infestation des petits fruits selon la couverture du sol et du temps passé au sol

Ici, par souci logistique, les mangues sont regroupées par lots : le nombre de mouches émergées ainsi que le poids des fruits sont caractérisés à l'échelle globale des lots, puis ramenés à l'échelle du fruit en divisant par le nombre de fruits dans chaque lot. Seule la caractérisation de l'infestation est faite individuellement à l'échelle de chaque fruit.

2.5.1. Ramassage des petits fruits de l'essai 2

Dans un objectif de gestion agro-écologique, nous cherchons à savoir si le type de couverture de sol dans les vergers a un impact positif ou négatif sur l'infestation des petits fruits une fois ceux-ci tombés. Nous souhaitons également observer les dynamiques d'évolution du taux d'infestation (% de fruits infestés) et du niveau d'infestation (nombre de mouches de stades immatures) des petits fruits en fonction du temps passé au sol et du type de couverture de sol.

Trois modalités de couverture de sol sont comparées :

- EH : enherbement haut ([figure 2a](#)). La végétation naturelle du verger n'est pas coupée et atteint en moyenne 50 cm de hauteur.
- ER : enherbement ras. La végétation naturelle du sol est fauchée de façon à ne laisser que quelques centimètres de végétation.
- TS : tapis de sol ([figure 2b](#)). Un tapis de sol synthétique de couleur noire et perméable à l'eau est placé sous les arbres.



a : enherbement haut



b : tapis de sol synthétique

Source : Briandy, 2019

Figure 2 : Différents types de couverture du sol à Piton Défaud

Concernant le temps passé au sol nous avons cinq modalités pour Bassin-Plat :

- « 4j » : 0 à 4 jours au sol, ramassage du 15 octobre 2019.
- « 7j » : 3 à 7 jours au sol, ramassage du 18 octobre 2019.
- « 10j » : 6 à 10 jours au sol, ramassage du 21 octobre 2019.
- « 13j » : 10 à 13 jours au sol, ramassage du 28 octobre 2019.
- « 16j » : 13 à 16 jours au sol, ramassage du 31 octobre 2019.

Pour Piton Défaud, nous n'avons retenu que deux modalités :

- « 3j » : 0 à 3 jours au sol, ramassage du 7 novembre 2019.
- « 10j » : 7 à 10 jours au sol, ramassage du 14 novembre 2019.

Le nombre de lots et de fruits obtenus pour chaque combinaison de facteurs est donné dans le tableau 3.

Tableau 3 : Nombre de lot et de fruits par lot en fonction des différentes combinaisons de facteurs pour l'essai sur petits fruits en fonction de la couverture du sol à Bassin-Plat et Piton Défaud.

		EH	ER	TS
Bassin-Plat	4j	2 lots de 12 fruits et 1 lot de 9 fruits	2 lots de 10 fruits et 1 lot de 11 fruits	2 lots de 9 fruits
	7j	2 lots de 8 fruits et 1 lot de 6 fruits	1 lot de 5 fruits, 1 lot de 6 fruits et 1 lot de 7 fruits	2 lots de 8 fruits
	10j	1 lot de 3 fruits, 1 lot de 7 fruits et 1 lot de 8 fruits	1 lot de 4 fruits et 1 lot de 7 fruits	0 lot
	13j	3 lots de 6 fruits	2 lots de 7 fruits et 2 lots de 8 fruits	1 lot de 7 fruits et 1 lot de 8 fruits
	16j	2 lots de 8 fruits et 1 lot de 7 fruits	4 lots de 5 fruits	1 lot de 6 fruits
Piton-Défaud	3j	4 lots de 8 fruits	4 lots de 8 fruits	4 lots de 8 fruits
	10j	3 lots de 8 fruits	4 lots de 8 fruits	4 lots de 8 fruits

Le nombre de lots varie en fonction des disponibilités dans les vergers au moment des ramassages. Mais surtout nous avons rencontré des problèmes d'ordre techniques (fort vents qui ont provoqué l'envol des tapis de sol). Ceci explique notamment l'absence (pour certaines combinaisons de modalités) et la forte variabilité des lots.

Deux capteurs de température et d'humidité (Tinytag®) par modalité de couverture du sol sont placés à la surface du sol. Les capteurs effectuent une mesure par heure pendant toute la durée des essais. Nous calculons ensuite la température minimale, maximale et la moyenne de

température journalière par modalité et par capteur. Les mêmes calculs sont effectués pour les données d'humidité. Seules les données correspondantes à des journées complètes sont conservées (la journée de mise en place et celle du retrait des capteurs sont ainsi écartées). Enfin, nous calculons les moyennes générales de chacune des 6 variables, en considérant 2 répétitions (capteurs) par modalités.

2.5.2. Incubation des petits fruits de l'essai 2

Le protocole d'incubation est le même que pour l'essai 1 (cf. §2.4.2).

2.5.3. Dissection des petits fruits de l'essai 2

Le protocole de dissection est le même que pour l'essai 1 (cf. §2.4.3).

2.6. Essai 3 : infestation des fruits selon le stade de maturité en conditions naturelles

2.6.1. Récolte des fruits de l'essai 3

Nous souhaitons ici observer le taux et le niveau d'infestation des mangues en fonction de leur stade de maturité. Pour ce faire nous avons repris la méthodologie des essais menés lors des années précédentes (*Caillat 2016, Préterre 2017*), soit trois récoltes (voir [tableau 4](#)) de 30 fruits par localité (Bassin-Plat et Piton Défaud) et par variété (Cogshall et José) avec cinq fruits par stade de maturité (i.e., V, T, PJ25, PJ50, PJ75 et M pour Cogshall et V, T, PJ1, PJ2, M et MM pour José (cf. §2.2.1)). La [figure 3](#) montre le gradient de maturité obtenu pour l'exemple d'une récolte de mangues Cogshall.

Tableau 4 : Caractéristiques des différentes récoltes de mangues pour les essais en infestations naturelles.

Date de récolte	Numéro de récolte	Localisation	Variété
12/12/2019	1	Bassin-plat	Cogshall
27/12/2019	2		
03/01/2020	3		
09/01/2020	1	Bassin-Plat	José
20/01/2020	2		
27/01/2020	3		
07/01/2020	1	Piton Défaud	Cogshall
14/01/2020	2		
21/01/2020	3		

Chaque mangue est ensuite caractérisée par un stade de maturité visuel (figure 3), pesée individuellement et sa fluorescence est mesurée.



Figure 3 : Mangues triées selon leur stade de maturité.

2.6.2. Incubation des fruits de l'essai 3

Concernant les fruits récoltés dans l'essai 3, ils sont quant à eux mis en incubation de manière individuelle dans le même type de housses. Pour ce qui est du reste, le protocole est le même que pour les petits fruits de l'essai 1 et 2.

Plusieurs capteurs ont été placés dans les caisses à fruits où ont été mis en incubation les fruits. Suite à une défaillance du seul Hygrobuton mis en place lors de l'incubation des petits fruits (essai 1 et 2), les données microclimatiques ne sont pas disponibles pour ces essais. Malgré tout, les incubations des fruits des essais 1, 2 et 3 ont été réalisées dans la même pièce. Les données pour les incubations des fruits de l'essai 3 sont données au tableau 5 ci-dessous. En moyenne, les conditions étaient d'environ $30 \pm 1,5$ °C et $70 \pm 6,5$ % d'humidité.

Tableau 5 : Données des capteurs Hygrobutons (type 23, 8K -20/+85°C) et Tinytag (type TGP-4500) placés lors de l'incubation des fruits en infestations naturelles du 12 décembre 2019 au 21 février 2020. A raison de 1 mesure par heure.

Capteur	Moyenne température (°C)	Ecart-type températures (°C)	Moyenne humidité (%)	Ecart-type humidité (%)
Hygrobuton 1	30,3	1,4	69,4	6,0
Hygrobuton 2	29,1	1,5	71,2	7,2
Tinytag 1	29,1	1,2	NA	NA
Tinytag 2	30,0	1,3	NA	NA

2.6.3. Dissection des fruits de l'essai 3

Le protocole de dissection est le même que pour l'essai 1 (cf. §2.4.3).

2.7. Essai 4 : infestation des fruits par *Bactrocera dorsalis* selon le stade de maturité sous infestation artificielle

2.7.1. Récolte des fruits de l'essai 4

Nous souhaitons observer les préférences de ponte de la mouche des fruits *Bactrocera dorsalis*, en conditions contrôlées, sur des mangues saines en fonction de leur maturité.

L'infestation artificielle permet effectivement de passer outre des biais environnementaux tels que la pression en mouches de fruits (répartition, quantité, compétition entre espèces,...), les aléas climatiques (pluies, vents, fortes chaleurs,...) ou encore la disponibilité de la ressource (répartition et charge en fruits) dans les vergers.



Pour réaliser cet essai d'infestation artificielle, nous avons ensaché des mangues sur arbre (voir [figure 4](#)), encore en cours de grossissement, tout en s'assurant qu'elles n'ont pas été piquées. Un contrôle visuel de chaque mangue avant ensachage est effectué pour vérifier l'absence de piqûres détectables à ce stade, et de défauts (maladie, déformations, craquelures, ...) qui pourraient faciliter la ponte par *Bactrocera dorsalis*. Lors de leur récolte les mangues seront de nouveau vérifiées et écartées de l'essai en cas de défauts ou de traces de piqûres qui auraient échappé à la première inspection. Les sacs utilisés sont des housses à fruits microperforées commercialisées par Nortène®. Cet essai est réalisé uniquement avec des mangues Cogshall.

Figure 4 : Mangue Cogshall ensachée sur la station de Bassin-Plat.

Ensuite, nous récoltons des mangues ensachées selon 3 modalités de maturité :

- « V » : stade de maturité vert.
- « PJ » : stade de maturité point jaune (PJ < 50 %).
- « M » : stade de maturité mûr.

Cet essai est réalisé selon ce qu'on appelle « un test à choix multiple » : nous plaçons dans une cage (BugDorm® Insect Cage 40x40x40cm, visible sur la [figure 5a](#)) un fruit par modalité de maturité, soit 3 fruits par cage ([figure 5b](#)). Les mangues sont, au préalable, pesées individuellement. Le bout de pédoncule sectionné est recouvert d'aluminium car c'est un lieu préférentiel de ponte une fois les mangues cueillies, alors qu'il n'est pas exposé quand les fruits sont sur l'arbre, ce qui pourrait donc fausser les résultats d'infestation (artefact).



a : cage BugDorm



b : mangues à différents stades prêtes pour infestation artificielle

Figure 5 : Cage et placement des mangues pour infestation artificielle par *Bactrocera dorsalis*.

Six femelles adultes d'espèce *Bactrocera dorsalis* provenant d'élevage en laboratoire sont placées dans chacune des cages pour une durée de 24 heures. Les cages sont situées dans une chambre climatique (24°C, 70-75% d'humidité et photopériode de 12 heures). Les mouches utilisées pour l'infestation ont entre 3 et 4 semaines d'âge (voir date d'émergence des cohortes utilisées dans le [tableau 6](#)). Hydrolysat enzymatique de levure de bière mélangé à du sucre cristallisé et abreuvoir avec de l'eau sont à disposition des mouches durant la durée de leur présence dans les cages avec les mangues.

Comme les mangues ne parviennent pas à maturité en même temps au sein du verger et au sein même d'un arbre, les récoltes ont été effectuées à différentes dates (voir [tableau 6](#)) et le nombre de fruits récoltés dépend des effectifs disponibles à ce moment. L'infestation a lieu le même jour que la récolte des fruits.

Tableau 6 : Caractéristiques des différentes récoltes de mangues pour les essais en infestations artificielles.

Date de récolte	Nombre de cages	Génération cohorte - date d'émergence cohorte	Date dissection des mangues
17/12/2019	4	F.29 - 21/11/2019	08/01/2020
23/12/2019	9	F.29 - 28/11/2019	14/01/2020
30/12/2019	8	F.30 - 06/12/2019	22/01/2020
06/01/2020	14	F.30 - 13/12/2019	28/01/2020

2.7.2. Incubation des fruits de l'essai 4

Les fruits sont mis à incuber individuellement dans des housses à fruits Nortène® sur un lit de sable de rivière. A la différence des infestations naturelles, et pour des raisons sanitaires dues à l'utilisation de mouches de laboratoire, les sachets sont mis en incubation dans une chambre climatique (l'ensemble de cet essai se déroule dans un laboratoire de confinement de catégorie



Figure 6 : Fruits en incubation dans la chambre climatique NS2-2.

NS2 du Pôle de Protection des Plantes (3P, IBiSA). Cette chambre climatique (voir [figure 6](#)) présente les caractéristiques suivantes : une obscurité totale, un système de plateaux rotatifs, une température constante de 26°C et 90 % d'humidité. Là aussi l'incubation des fruits est d'une durée de 3 semaines.

2.7.3. Dissection des fruits de l'essai 4

Nous procédons ici avec la même méthode que décrite en paragraphe 2.4.3 à la différence que nous ne remettons pas les fruits en incubation ni ne conservons les pupes puisqu'il n'est pas nécessaire d'identifier l'espèce et qu'il ne peut y avoir de parasitoïdes (infestation artificielle dans des cages). A noter également que toutes les opérations sont réalisées dans le laboratoire NS2, pour ne pas risquer la fuite de mouches d'élevages en milieu extérieur.

Le nombre de pupes observées par fruit est ensuite divisé par la masse fraîche du fruit pour calculer le nombre de pupes par kilogramme de fruit.

2.8. Méthode d'analyse des données

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel R (*R Core Team, 2005*) (à l'exception des ANOVA de l'essai 2, réalisées avec XLSTAT (Microsoft Excel®)).

Les différents tests réalisés dans cette étude sont décrits ci-dessous :

- **Fluorimétrie** : On teste si la variable Fv du fluorimètre à une réponse significative en fonction des stades de maturité prédéterminés des mangues à l'aide d'une Anova à 1 facteur. Les conditions d'application des ANOVA (normalité de distribution des échantillons et homoscedasticité notamment) ont été vérifiées au préalable. Puis est effectué un test de comparaison de Student (p-valeurs < 0,05) pour voir s'il y a des différences significatives entre modalités.
- **Essai 1** : Nous réalisons un GLM pour tester l'effet couleur et état abscission sur le taux infestation avec loi binomiale. Puis, si c'est significatif nous effectuons un test de comparaison de Wilcoxon avec méthode de correction des p-valeur : « Benjamini-Hochberg » (p-valeur < 0,05). Un test de Kruskal-Wallis est mis en place pour tester l'effet couleur et abscission sur le nombre de pupes / kg de fruit. De même un test de Wilcoxon avec méthode de correction des p-valeur : « Benjamini-Hochberg » (pvalue < 0,05) complète le test de Kruskal-Wallis en cas de significativité.
- **Essai 2** : Des Anova à 1 facteur à mesures répétées (capteurs) sont réalisées pour tester l'effet de la couverture du sol sur la température moyenne, sur la température minimale moyenne et sur la température maximale moyenne. Un GLM pour tester l'effet couverture du sol et temps passé au sol sur le taux d'infestation avec loi binomiale. Suivi d'un test de comparaison si c'est significatif de Wilcoxon avec méthode de correction des p-valeur : « Benjamini-Hochberg ». Enfin, nous réalisons un test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet couverture de sol et temps passé au sol sur le nombre de pupes / kg de fruit.
- **Essai 3** : Cogshall : GLMM pour tester l'effet de la localisation sur le taux d'infestation avec la date (correspond aux lots de 30 fruits) comme facteur aléatoire. Et Kuskal-Wallis

pour tester la localisation sur le nombre de pupes et larves par kg de fruit. Un GLMM pour tester l'effet du stade sur le taux d'infestation, avec la date (correspond aux lots de 30 fruits) comme facteur aléatoire croisé. Puis une Anova est effectuée sur le GLMM pour voir la significativité de la variable stade. Un test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet du stade sur le nombre de pupes et larves / kg de fruit suivit d'un test de Wilcoxon avec méthode de correction des p-valeur : « Benjamini-Hochberg » (p-valeur <0,05) sont effectués.

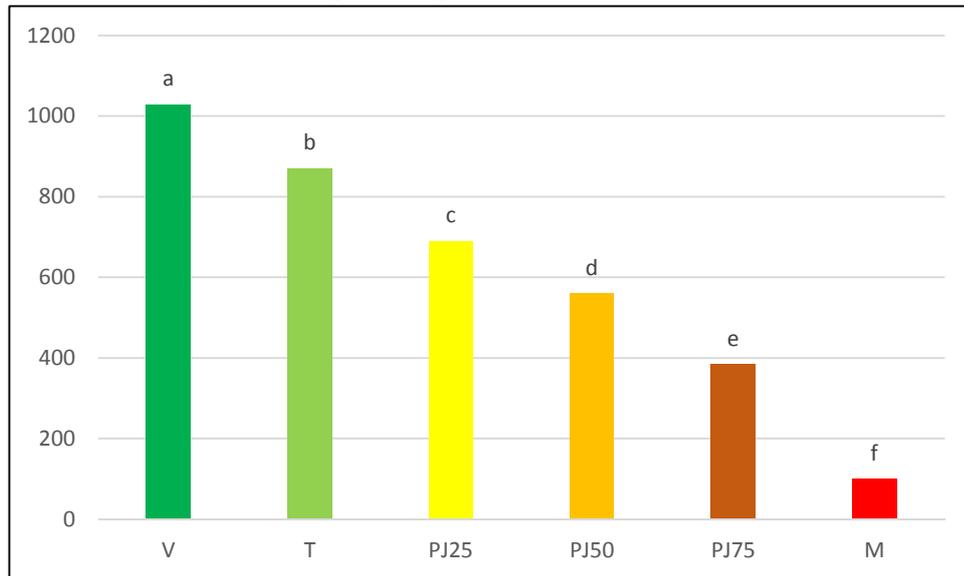
José : Un GLM est mis en place pour tester l'effet du stade sur le taux d'infestation car un GLMM n'est pas applicable puisqu'il manque des résultats (NA): nous n'avons pas le même nombre d'observation pour tous les stades. Un test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de la variable stade sur le nombre de pupes et larves / kg de fruit. Suivit d'un test de Wilcoxon avec méthode de correction des p-valeur : « Benjamini-Hochberg » (p-valeur <0,05).

- **Essai 4** : Un GLMM avec loi binomiale a été effectué pour tester l'effet du stade (effet « fixe ») sur le taux d'infestation des fruits en infestation artificielle. Nous avons 2 facteurs « aléatoires » « emboités » : les cohortes (correspondant également aux répétitions des essais ainsi qu'aux cages de 3 mangues). Un test de Kuskal-Wallis est réalisé pour tester l'effet du stade sur le nombre de pupes par kg de fruit. Suivit d'un test de Wilcoxon avec méthode de correction des p-valeur : « Benjamini-Hochberg » (p-valeur <0,05).

3. Résultats et discussion

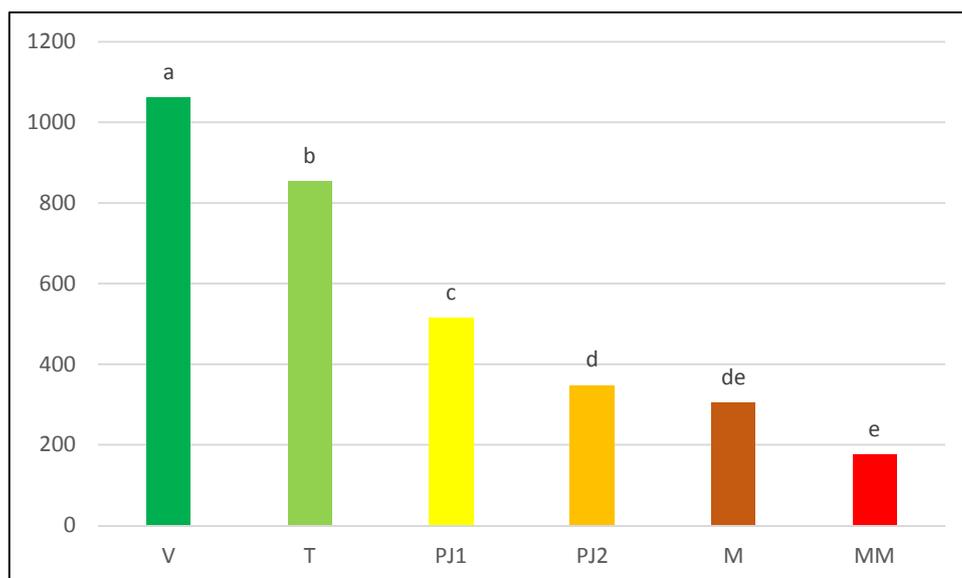
3.1. Fluorescence

Les mesures de fluorescence sur les mangues Cogshall pour l'essai 3 nous révèlent que Fv a un effet significatif ($F= 102,4$; $ddl= 5$; $p\text{-valeur}< 0,001$; [figure 7](#)) sur la détermination des stades de maturité. Ainsi, Fv diminue significativement en fonction du stade de maturité (prédéterminée visuellement) des mangues Cogshall.



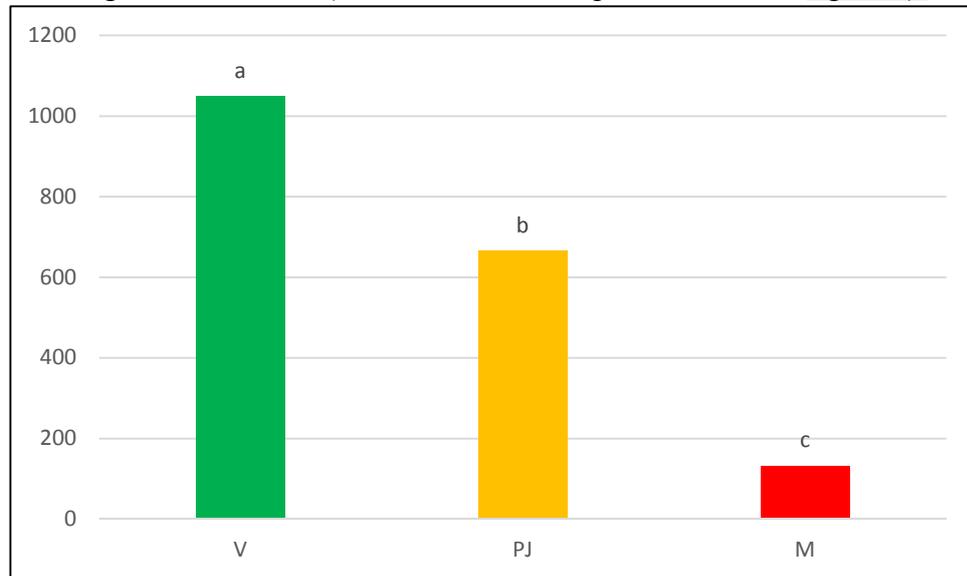
[Figure 7](#) : Fv en fonction du stade des mangues Cogshall de l'essai 3. Test de comparaison de Student ($p\text{-valeur}<0,05$).

Les mesures de fluorescence sur les mangues José pour l'essai 3 nous révèlent que Fv a un effet significatif ($F= 76,1$; $ddl= 5$; $p\text{-valeur}< 0,001$; [figure 8](#)) sur la détermination des stades de maturité. Ainsi, Fv diminue significativement en fonction du stade de maturité (prédéterminé visuellement) des mangues José.



[Figure 8](#) : Fv en fonction du stade des mangues José de l'essai 3. Test de comparaison de Student ($p\text{-valeur}<0,05$).

Les mesures de fluorescence sur les mangues de l'essai 4 nous révèlent que Fv a un effet significatif ($F= 102,4$; $ddl= 5$; $p\text{-valeur} < 0,001$; [figure 7](#)) sur la détermination des stades de maturité. Ainsi, Fv diminue significativement en fonction du stade de maturité (prédéterminé visuellement) des mangues de cet essai ($F= 225,5$; $ddl = 2$; $p\text{-valeur} < 0,001$, [figure 9](#)).



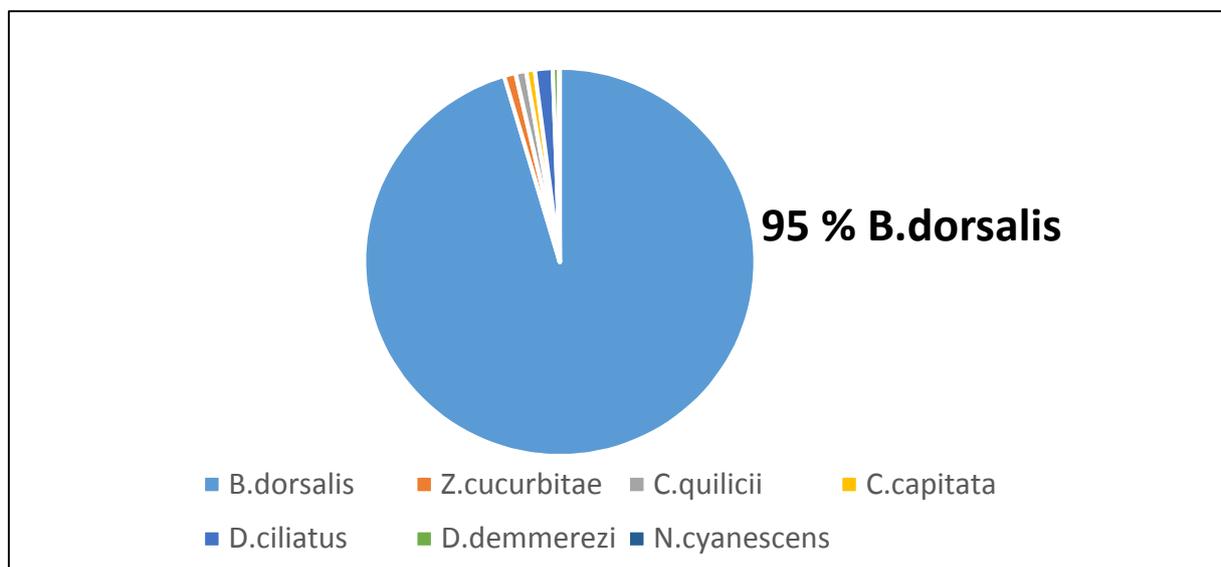
[Figure 9](#) : Fv en fonction du stade des mangues de l'essai 4. Test de comparaison de Student ($p\text{-valeur} < 0,05$).

Il semble donc que la fréquence variable Fv soit un paramètre fiable pour aider à la détermination des stades de maturité des mangues.

3.2. Piégeage

3.2.1. Résultats à Piton-Défaud

L'espèce *Bactrocera dorsalis* a représenté 95 % des espèces de Tephritidae capturées aux pièges appâtés au phosphore diammonique comme visible en [figure 10](#). Outre les quelques autres espèces de mouches il est à noter que des coccinelles (*Rodolia chermesina*, *Exochomus laeviusculus*, *Chilocorus nigritus*) ont été retrouvées dans les pièges mais de manière anecdotique en comparaison au nombre de mouches. Il en est de même pour les *Syrphes* et *Chrysopes*.



[Figure 10](#) : Pourcentage par espèces des captures dans les 4 pièges de Piton-Défaud.

On a également noté l'abondance particulière d'une espèce de Muscidae qui n'apparait pas dans les comptages.

Concernant le nombre de captures de *B.dorsalis* en fonction du temps (figure 11) nous observons une diminution de la population jusqu'à atteindre des valeurs stagnantes aux alentours de -20 mouches / jour pour quatre pièges à partir du 18 décembre 2019 et jusqu'au 19 février 2020. Ce qui est plutôt faible lorsque l'on compare avec les captures de novembre (lors des essais sur petits fruits).

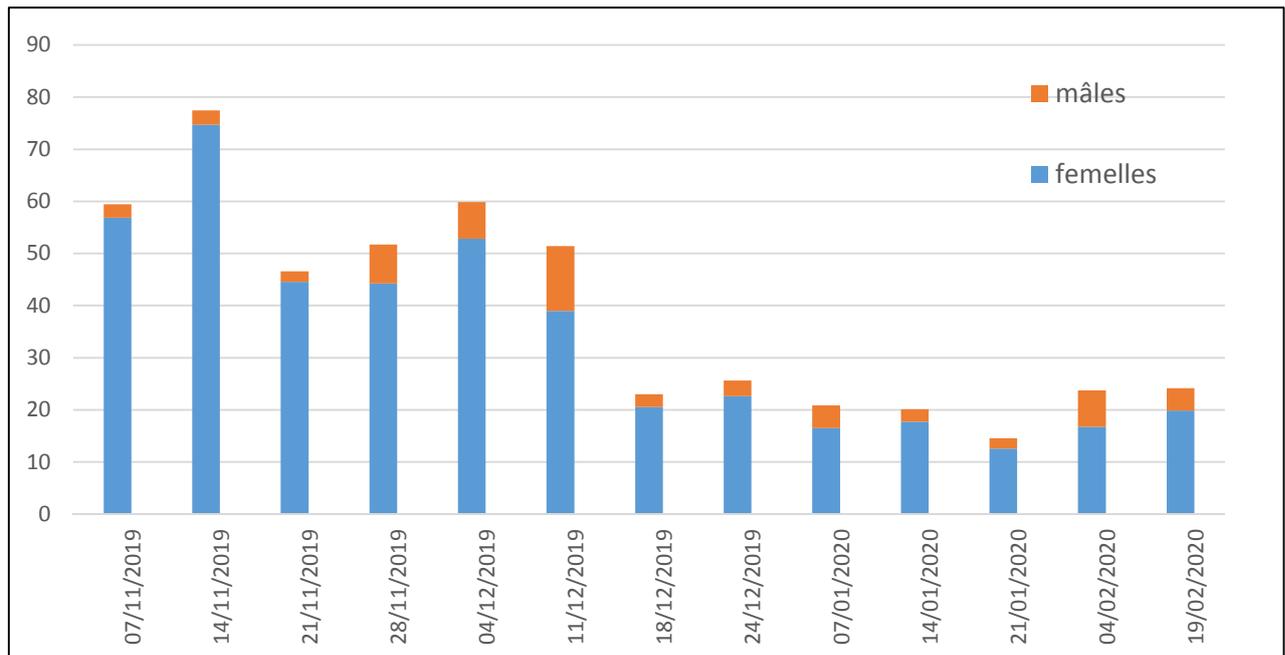
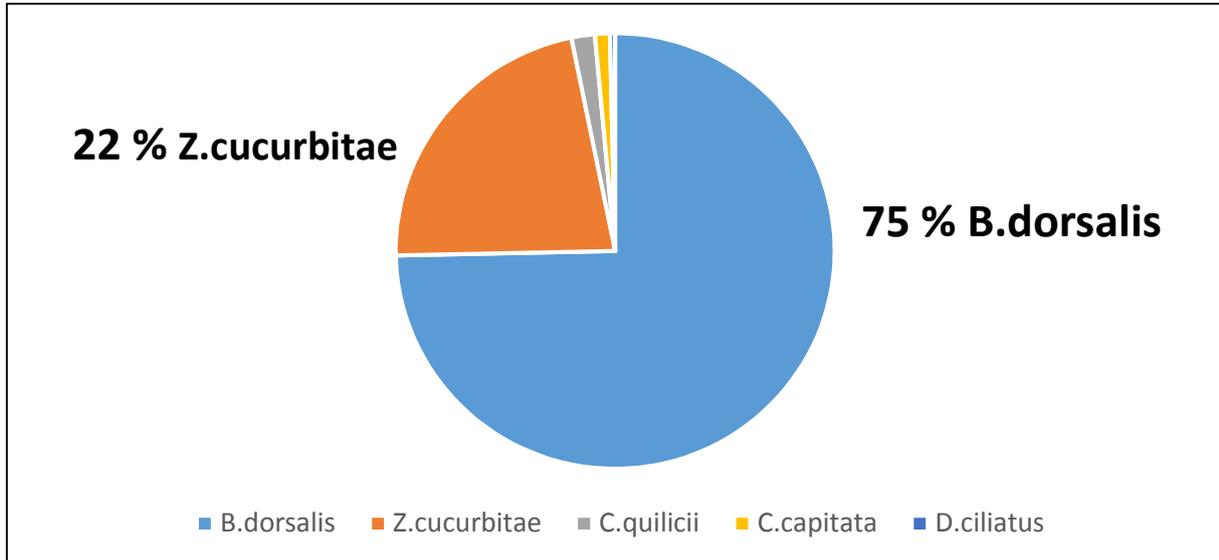


Figure 11 : Nombre de mouches *B.dorsalis* capturées dans 4 pièges par jour en fonction de la date de relevé du piège et du sexe à Piton-Défaud.

Si l'on s'intéresse au sex-ratio des mouches capturées chez *B. dorsalis* (figure 11) on remarque que les pièges sont bien plus attractifs pour les femelles que pour les mâles. Ainsi, 87 % des mouches de cette espèce qui ont été capturées étaient des femelles.

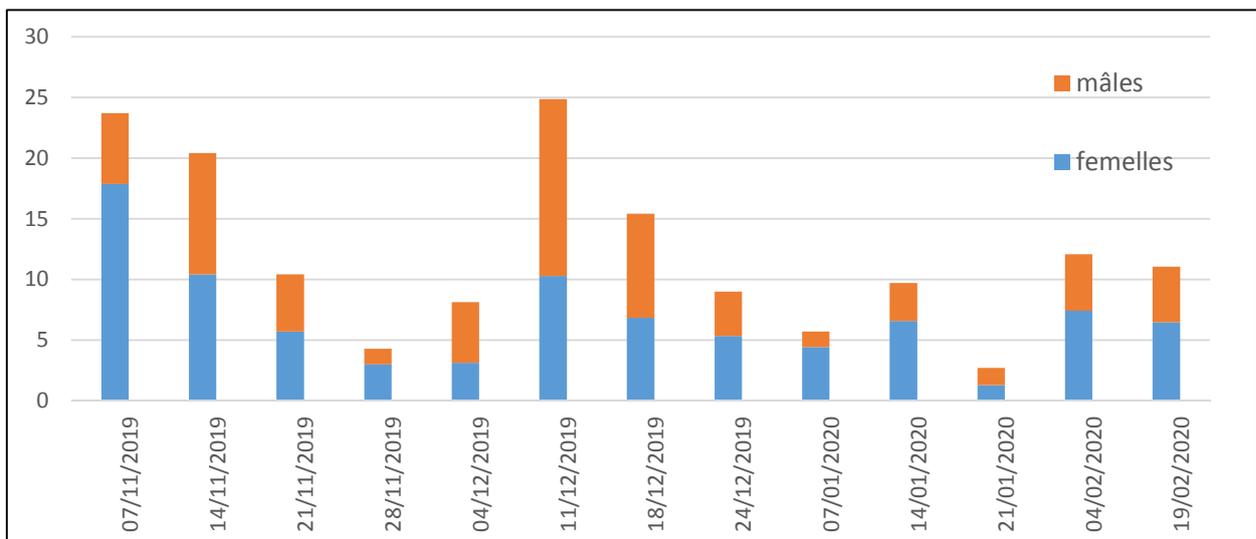
3.2.2. Résultats à Bassin-Plat

Les pièges au phosphate diammonique ont permis la capture de Tephritidae dont à 75 % de mouches des fruits de l'espèce *B. dorsalis* et 22 % de l'espèce *Z. cucurbitae* comme visible en [figure 12](#). Tout comme à Piton-Défaud, quelques coccinelles (*Rodolia chermesina*, *Chilocorus nigritus*), *Syrphes* et *Chrysopes* ont été retrouvés dans les pièges.



[Figure 12](#) : Pourcentage par espèces des captures dans les 4 pièges de Bassin-Plat.

L'observation des captures de *B. dorsalis* en fonction du temps ([figure 13](#)) nous indique une diminution de la population au cours du mois de novembre pour passer de plus de 20 mouches par jour pour 4 pièges à moins de 5 mouches par jour fin novembre. Un pic est observé le 11 décembre puis tout comme à Saint-Paul, les captures diminuent ensuite pour stagner à moins de 10 mouches par jour.



[Figure 13](#) : Nombre de mouches *B.dorsalis* capturées dans 4 pièges par jour en fonction de la date de relevé du piège et du sexe à Bassin-Plat.

Le sex-ratio à Bassin-Plat semble plus équilibré en comparaison à Piton-Défaud, avec 57 % de femelles capturées.

3.3. Infestation des petits fruits de l'essai 1

Les adultes obtenus après incubation des petits fruits sont à 100% de l'espèce *B. dorsalis*.

3.3.1. Résultats à Piton-Défaud

Nous avons ramassé 54 fruits avec une masse fraîche moyenne de $10,59 \pm 3,61$ g.

A Piton Défaud, aucune mangue n'a été ramassée au sol, d'où l'absence de résultats concernant cette modalité « sol », tout comme pour la modalité « vert-jaune ».

La couleur a un effet significatif ($\chi^2=9,16$; ddl=1 ; p-valeur <0,01 ; [figure 14\(a\)](#)) sur le taux d'infestation des mangues. Les mangues jaunes (38,9 % infestées) sont significativement plus infestées que les mangues vertes (5,6 % infestées), tous états d'abscission confondus.

En revanche, l'état d'abscission n'a qu'un effet marginalement significatif ($\chi^2= 2,80$; ddl= 1 ; p-valeur = 0,09) sur l'infestation des mangues, indépendamment de la couleur.

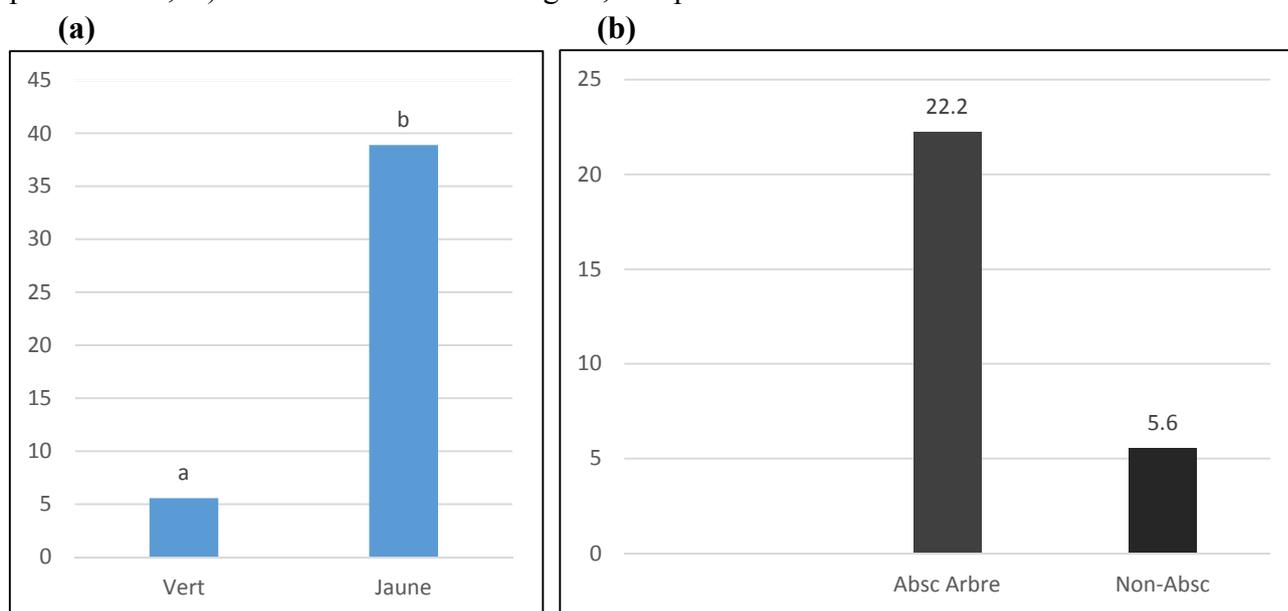


Figure 14 : Pourcentage d'infestations des mangues de l'essai 1 à Piton-Défaud. Test de comparaison Wilcoxon (p-valeur <0,01). (a) En fonction de la couleur des mangues. (b) En fonction de l'état d'abscission des mangues.

Malgré l'absence de différences significatives nous observons que les fruits proches de l'abscission (Absc Arbre) ont tendance à être davantage piqués que les fruits qui ne sont pas en état d'abscission (22,2 % contre 5,6 %) comme présenté en [figure 14 \(b\)](#). A noter que les fruits Absc Arbre verts ont un taux d'infestation similaire à ceux qui sont Non-Absc (5,6%), tandis que ceux qui sont Absc Arbre jaunes ont un taux d'infestation de 38,9%.

Nous n'avons qu'un effet marginalement significatif de la couleur ($\chi^2= 3,56$; ddl= 1 ; p-valeur = 0,059) et pas d'effet significatif de l'état d'abscission ($\chi^2= 0,29$; ddl= 1 ; p-valeur = 0,59) des fruits sur le nombre de pupes par kg de fruit. Notons toutefois que nous obtenons plus de pupes pour les fruits Absc Arbre (76 pupes par kg de fruit) que pour les fruits Non-Absc (18 pupes par kg de fruit). De même, nous obtenons plus de pupes pour les fruits jaunes (145 pupes par kg de fruit) que pour les fruits verts (12 pupes par kg de fruit).

3.3.2. Résultats à Bassin-Plat

Nous avons ramassé 114 fruits avec une masse fraîche moyenne de $14,21 \pm 8,36$ g.

Il y a un effet significatif ($\chi^2= 22,48$; ddl= 2 ; p-valeur<0,001 ; [figure 15\(a\)](#)) de la couleur sur le taux d'infestation des fruits. Les fruits jaunes (30,1 % d'infestation) sont significativement plus infestés que les deux autres modalités (0 % d'infestation).

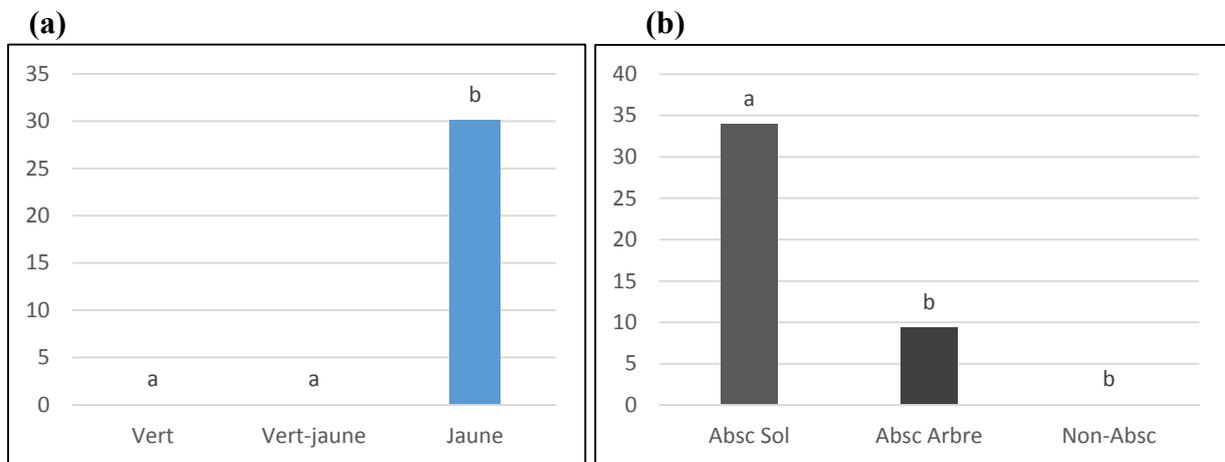


Figure 15 : Pourcentage d'infestations des petites mangues à Bassin-Plat. Test de comparaison Wilcoxon (p-valeur<0.01). (a) En fonction de la couleur des mangues. (b) En fonction de l'état d'abscission des mangues.

Concernant l'état d'abscission nous avons également un effet significatif ($\chi^2= 17,3$; ddl= 2 ; p-valeur <0,001 ; [figure 15\(b\)](#)) sur l'infestation des fruits. Les fruits Absc Sol (34 % d'infestation) sont plus piqués que les fruits Absc Arbre (9,3 % d'infestation) ou ceux Non-Absc (0 % d'infestation). A noter que parmi les fruits Absc Arbre, ceux qui sont vert-jaune ont un taux d'infestation de 15,4 % tandis que ceux qui sont verts ont un taux d'infestation de 0 %. Parmi les fruits au sol (Absc Sol), ceux qui sont jaunes ont un taux d'infestation de 38,3% tandis que ceux qui sont verts ont un taux d'infestation de 0%.

Concernant le nombre de pupes par kg de fruit, malgré l'absence d'effet significatif ($\chi^2= 5,20$; ddl= 2 ; p-valeur = 0,074) de l'état d'abscission sur le nombre de pupes par kg de fruit nous observons qu'il y a plus de pupes dans les fruits ramassés au sol (361 pupes / kg) que sur les fruits en état d'abscission sur arbre (59 pupes / kg) et ceux qui ne sont pas en état d'abscission (0 pupes / kg).

La couleur a en revanche un effet significatif ($\chi^2=9,46$; ddl=2 ; p-valeur <0,01) sur le nombre de pupes par kg de fruit. Les fruits jaunes ont en moyenne 277 pupes par kg de fruit contre 0 pour les deux autres modalités, ce qui s'explique par l'absence d'infestation comme vu dans la [figure 15\(a\)](#).

3.4. Infestation des petits fruits de l'essai 2

3.4.1. Résultats à Piton-Défaud

Nous avons ramassé 184 fruits avec une masse fraîche moyenne de $16,94 \pm 4,41$ g.

Les moyennes et écarts types de la température et de l'humidité en fonction de la modalité de couverture de sol sont visibles dans le [tableau 7](#).

Tableau 7 : Moyennes générales et écart-types des températures journalières moyennes, des minimums et maximums de température et d'humidités, relevés par les capteurs tinytag en fonction de la couverture de sol à Piton-Défaut, sur une durée de 10 jours consécutifs.

Couverture du sol	Moy °C	Min °C	Max °C	Moy %H	Min %H	Max % H
Enherbement Haut	26,5 ± 1,0	21,2 ± 1,2	37,0 ± 5,8	75,9 ± 4,1	47,6 ± 9,6	93,4 ± 4,8
Enherbement Ras	27,8 ± 1,2	20,8 ± 1,1	44,9 ± 6,8	63,4 ± 5,4	33,6 ± 7,7	83,7 ± 7,6
Tapis de sol	27,1 ± 1,3	19,7 ± 1,0	43,8 ± 6,8	66,6 ± 5,7	32,9 ± 14,6	97,1 ± 4,2

Nous n'avons pas d'effet significatif ($F = 1,49$; $ddl = 2$; $p\text{-valeur} = 0,36$) de la couverture du sol sur la température maximale, sur la température minimale ($F = 3,27$; $ddl = 2$; $p\text{-valeur} = 0,18$), ainsi que sur la température moyenne journalière ($F = 1,32$; $ddl = 2$; $p\text{-valeur} = 0,39$). Les données d'humidité ne sont pas prises en compte suite à un manque de fiabilité des capteurs pour ces mesures (même si elles semblent cohérentes dans ce cas).

Il y a un effet significatif ($\chi^2 = 24,45$; $ddl = 2$; $p\text{-valeur} < 0,001$; [figure 16\(b\)](#)) de la couverture du sol sur le taux d'infestation mais aucun effet significatif ($\chi^2 = 0,12$; $ddl = 1$; $p\text{-valeur} = 0,73$; [figure 16\(a\)](#)) du temps passé au sol. On remarque que l'enherbement haut (41 % d'infestation) et l'enherbement ras (32,8 %) sont les modalités dont les fruits sont les plus piqués en comparaison au tapis de sol (6,3 %).

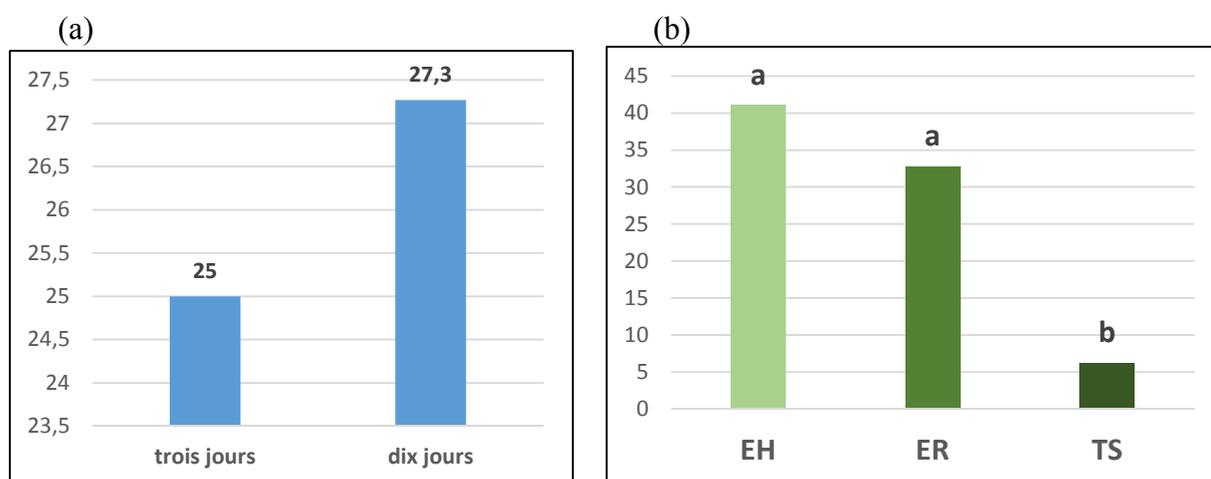
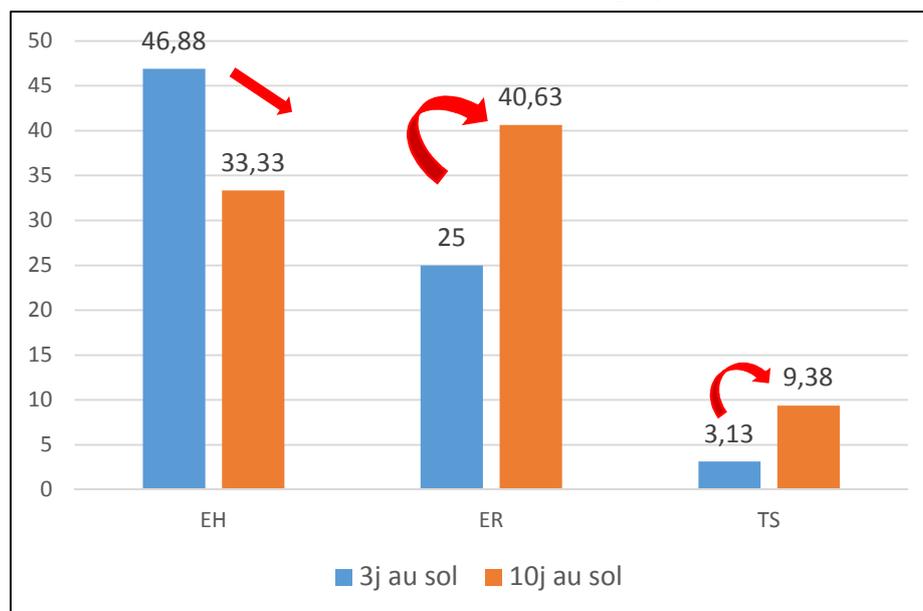


Figure 16 : Taux d'infestation des petits fruits à Piton-Défaut. (a) : En fonction de la couverture de sol. (b) : En fonction du temps passé au sol. Test de comparaison Wilcoxon ($p\text{-valeur} < 0,001$).

Toutes modalités de couverture de sol confondues, malgré l'absence d'effet significatif du temps passé au sol par les fruits sur le taux d'infestation : à trois jours il y a 25 % des mangues qui sont infestées soit légèrement moins qu'à 10 jours (27,3 % infestées).

La [figure 17](#) montre le taux d'infestation des mangues en fonction du temps passé au sol et de la couverture de sol. On remarque que pour l'enherbement haut l'infestation des fruits de la modalité 10 jours au sol est inférieure de 13,6 % à celle des fruits de la modalité 3 jours au sol. En revanche, l'infestation des fruits de la modalité 10 jours au sol est supérieure de 15,6 % et 6,3 % à celle des fruits de la modalité 3 jours au sol pour l'enherbement ras et le tapis de sol, respectivement. Ainsi, seule la modalité enherbement haut voit une baisse du taux d'infestation avec le temps passé au sol. C'est le contraire qui se passe sur les deux autres modalités qui subissent une hausse de l'infestation des fruits avec le temps passé au sol.



[Figure 17](#) : Taux d'infestation des petits fruits en fonction du type de couverture de sol et du temps passé au sol à Piton-Défaud.

Le temps passé au sol ($\chi^2= 2,13$; ddl= 1 ; p-valeur = 0,145) et la couverture du sol ($\chi^2= 4,90$; ddl= 2 ; p-valeur = 0,086) n'ont pas d'effet significatif sur le nombre de pupes par kg de fruits (ou tout au plus marginalement significatif pour la seconde). On observe tout de même qu'il y a moins de pupes sur le tapis de sol, malgré une forte hausse perçue à 10 jours ([figure 18](#)). Seul l'enherbement ras affiche une diminution du nombre de pupes à 10 jours (environ -23 pupes/kg), à l'inverse des deux autres modalités où une hausse dépassant les +100 pupes / kg apparaît.

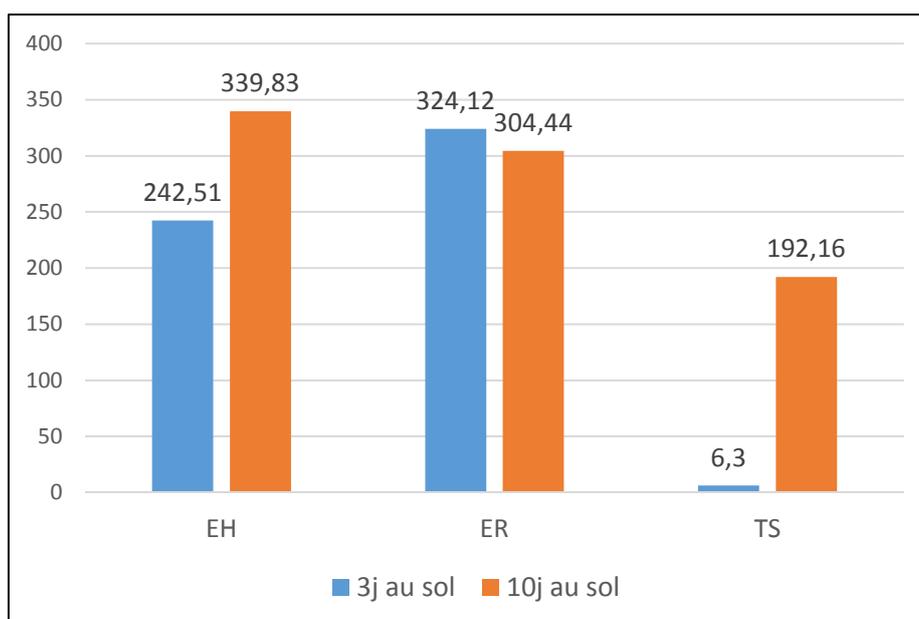


Figure 18 : Nombre de pupes par kg de fruit (moyenne calculée à partir de la somme des pupes et du poids moyen des lots d'incubation des fruits) en fonction du type de couverture de sol et du temps passé au sol à Piton-Défaut

3.4.2. Résultats à Bassin-Plat

Nous avons ramassé 279 fruits avec une masse fraîche moyenne de $13 \pm 5,6$ g. Les moyennes et écarts types de la température et de l'humidité en fonction de la modalité de couverture de sol sont visibles dans le [tableau 8](#).

Tableau 8 : Moyennes générales et écart-types des températures journalières moyennes, des minimums et maximums de température et d'humidités, relevés par les capteurs tinytag en fonction de la couverture de sol à Bassin-Plat, sur une durée de 18 jours consécutifs.

Couverture du sol	Moy °C	Min °C	Max °C	Moy %H	Min %H	Max % H
Enherbement Haut	$24,2 \pm 1,3$	$19,1 \pm 1,6$	$36,0 \pm 4,5$	$74,9 \pm 17,2$	$34,8 \pm 26,0$	$98,9 \pm 1,6$
Enherbement Ras	$23,5 \pm 1,3$	$18,6 \pm 1,4$	$31,5 \pm 2,8$	$78,7 \pm 9,9$	$43,8 \pm 25,6$	$97,5 \pm 4,3$
Tapis de sol	$24,3 \pm 1,2$	$18,4 \pm 1,4$	$40,1 \pm 5,7$	$76,2 \pm 7,4$	$36,5 \pm 14,9$	$95,3 \pm 5,5$

Nous n'avons pas d'effet significatif ($F = 4,43$; $ddl = 2$; p -valeur = 0,13) de la couverture du sol sur la température maximale, sur la température minimale ($F = 2,14$; $ddl = 2$; p -valeur = 0,27), ainsi que sur la température moyenne journalière ($F = 0,74$; $ddl = 2$; p -valeur = 0,55). Les données d'humidité ne sont pas prises en compte suite à un manque de fiabilité des capteurs pour ces mesures (d'ailleurs plutôt incohérentes ici).

Il n'y a aucune différence significative entre les taux d'infestation des fruits en fonction de la couverture du sol ($\chi^2 = 3,29$; $ddl = 2$; p -valeur = 0,193 ; [figure 19 \(a\)](#)) (enherbement haut : 44,9 %, enherbement ras : 41 % et tapis de sol : 30,6 %) et en fonction du temps passé au sol par les fruits ($\chi^2 = 0,032$; $ddl = 1$; p -valeur = 0,858 ; [figure 19 \(b\)](#)). Toutefois la tendance est la même qu'à Piton-Défaut.

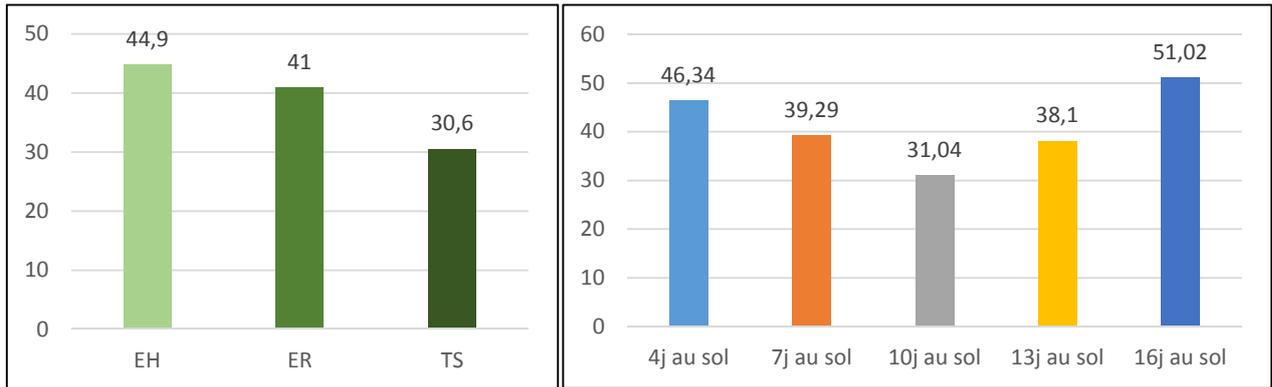


Figure 19 : Taux d'infestation des petits fruits à Bassin-Plat. (a) : En fonction du type de couverture de sol. (b) : En fonction du temps passé au sol.

On observe une diminution du taux d'infestation pour les modalités supérieures à 10 jours au sol concernant l'enherbement haut tandis que l'inverse est observé sur enherbement ras. Au bout de 10 jours au sol, les fruits en enherbement ras sont d'avantage piqués que ceux restant moins de 10 jours au sol. Les ronds rouges présents sur le graphique de la [figure 20](#) mettent en évidence cette tendance.

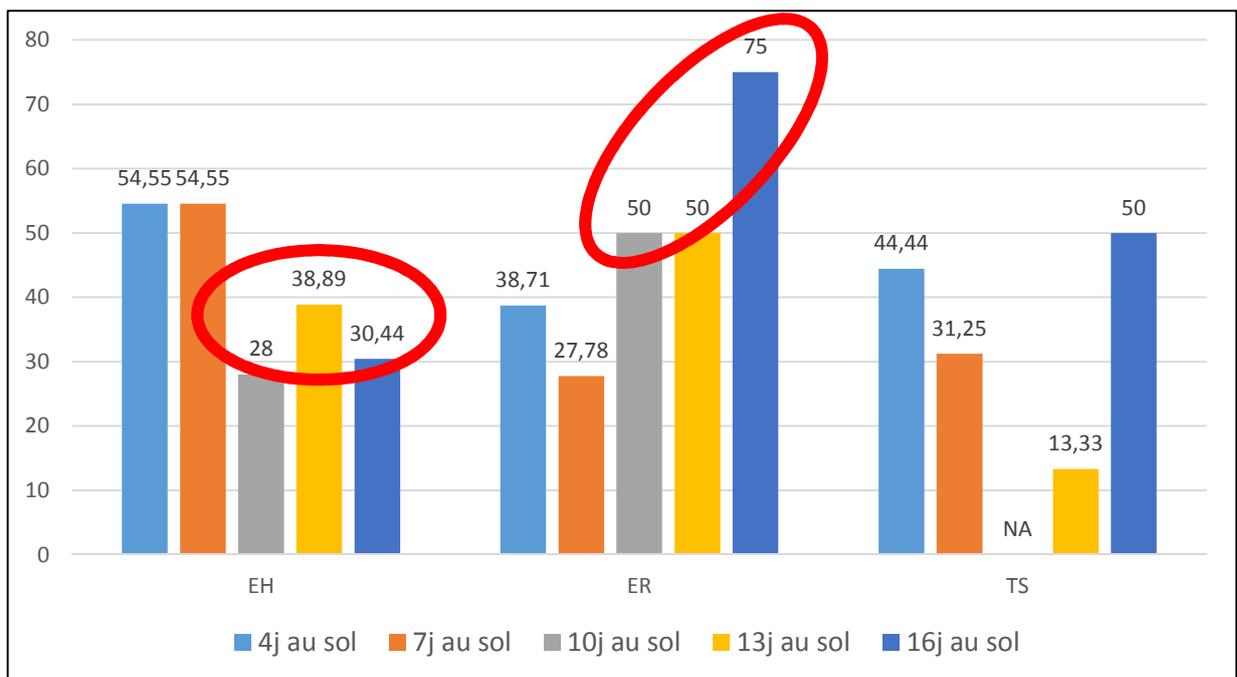


Figure 20 : Taux d'infestation des petits fruits à Bassin-Plat en fonction du type de couverture de sol et de la durée passée au sol.

Concernant la modalité tapis de sol, celle-ci n'est pas prise en compte dans nos interprétations pour Bassin-Plat. Des vents violents ont provoqué l'envol des tapis de sol ce qui n'a pas permis de réaliser convenablement les ramassages des fruits. Les fruits restant étaient quant à eux regroupés en tas. On suppose que ces facteurs ont eu un impact sur l'infestation des fruits d'où le peu d'intérêt que nous porterons à cette modalité sur le site de Bassin-Plat.

A noter que nous avons tout de même laissé à titre indicatif les résultats de cette modalité sur les graphiques mais aussi lors des analyses statistiques. Les analyses ont aussi été réalisées sans la modalité tapis de sol, mais les résultats sont à peu de choses près très semblables. Les

conclusions concernant les effets significatifs ou non des variables restent donc inchangées avec ou sans cette modalité.

Il n'y a aucun effet significatif du temps passé au sol ($\chi^2= 2,43$; ddl= 4 ; p-valeur = 0,657) ou de la couverture de sol ($\chi^2= 1,20$; ddl= 2 ; p-valeur = 0,548) sur le nombre de pupes par kg de fruits (figure 21).

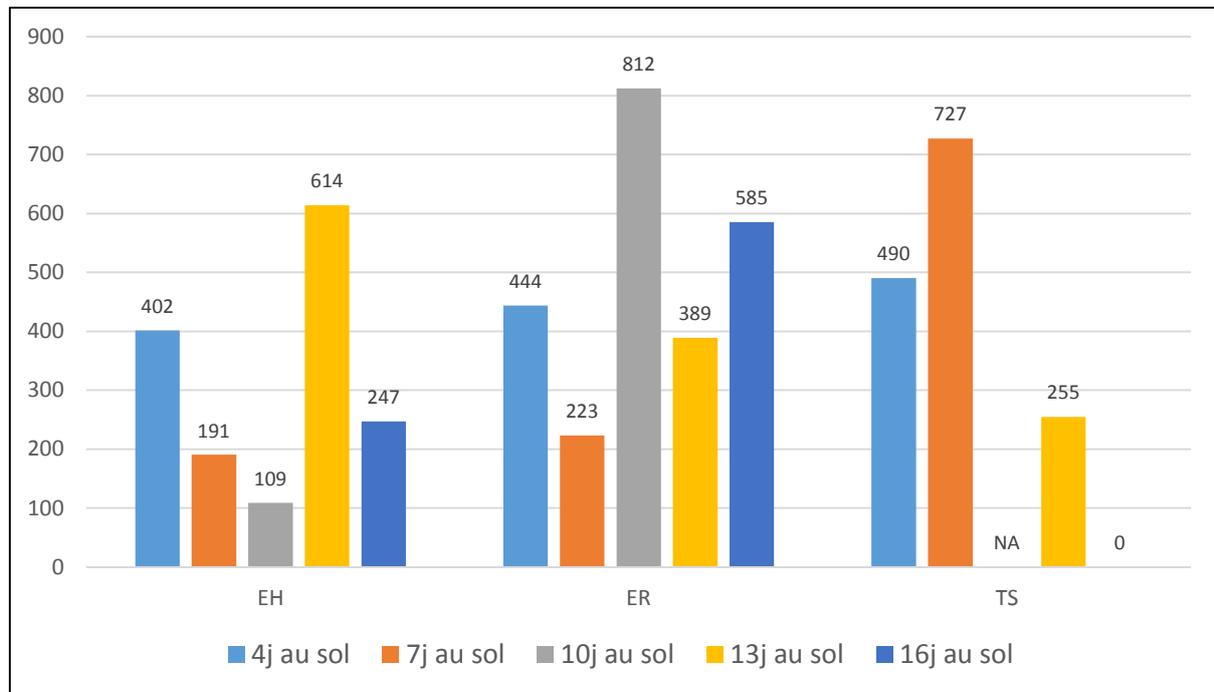


Figure 21 : Nombre de pupes par kilogrammes de fruits à Bassin-Plat en fonction du type de couverture de sol et de la durée passée au sol.

3.4.3. Discussions sur les résultats des essais 1 et 2

- En fonction de l'état physiologique des fruits :

Tout d'abord le nombre de fruits ramassés dans ces essais est relativement faible, notamment sur le site de Piton-Défaud (54 fruits). Il convient donc de préciser que la puissance statistique de cet essai pourrait être améliorée augmentant l'effort d'échantillonnage.

Ce que l'on retient de ces résultats, c'est que les mangues de couleur jaune tombées au sol sont celles qui sont le plus infestées. L'absence de données pour la modalité au sol à Piton-Défaud pousse à refaire cet essai afin de conforter ces résultats, et notamment dans deux vergers différents. Ce sont également dans les mangues ramassées au sol que nous trouvons le plus de pupes par kg de fruits. Par ailleurs, 5,6 % des mangues vertes sur arbres (à Piton-Défaud) ont été piquées par *Bactrocera dorsalis*, ce qui prouve que cette espèce est capable de piquer très précocement les mangues.

- En fonction temps passé au sol et type de sol :

Il est bon de préciser qu'entre les deux vergers il existe des différences au sein même de modalités de couverture de sol similaires. Notamment au niveau de l'enherbement haut, parfois peu développé/différent de l'enherbement ras à Bassin-Plat a contrario de celui de Piton-Défaud.

Indépendamment du temps passé au sol, l'enherbement haut est la modalité qui enregistre le taux d'infestation des mangues le plus élevé, suivi de plus ou moins près par l'enherbement ras. En prenant en compte le temps passé au sol par les mangues on remarque qu'une tendance similaire se dessine entre les deux vergers de l'étude. Sur enherbement haut, au-delà de 10 jours au sol nous observons une diminution du taux d'infestation. En revanche c'est le contraire qui opère sur l'enherbement ras et le tapis de sol (sur Piton-Défaud uniquement pour cette modalité).

Le microclimat, l'exposition des fruits et la régulation naturelle sont susceptibles d'affecter le taux d'infestation des fruits avec des effets potentiellement variables selon les modalités de couverture du sol et le temps que le fruit passe au sol.

D'autant plus que l'interaction type de couverture de sol / temps passé au sol a été mise en évidence de manière significative par les tests statistiques sur les résultats de Bassin-Plat.

Malgré une diminution du taux d'infestation en fonction du temps sur EH à Piton-Défaud, nous observons une augmentation du nombre de pupes par kg. En dehors des effets énoncés plus haut, cette augmentation pourrait être causé par la diminution du poids moyen des fruits au fur et à mesure du temps (nous avons -5,26 g en moyenne par fruit ayant passé 10 jours au sol en comparaison à ceux n'ayant passé que 4 jours au sol à Piton-Défaud). La prise en compte de l'évolution du poids moyen des fruits, en fonction des modalités de couverture du sol et le temps passé au sol par les mangues, pourrait donc être intéressante lors de l'interprétation des résultats du nombre de pupes par kg de fruit.

Ces tests mettent en évidence l'intérêt du ramassage prophylactique des petits fruits pour lutter contre l'infestation des fruits par les mouches des fruits. Le niveau d'infestation des fruits atteignant facilement les 300 pupes par kg de fruit, c'est une source de d'infestation précoce qui n'est pas à négliger dans un objectif de lutte contre ce ravageur des mangues.

La mise en place d'augmentorium (structures permettant la destruction des mangues tout en laissant libres de s'échapper les parasitoïdes de type *Fopius*) ne semble pas utile dans le cadre du ramassage des petits fruits. En effet, mis à part la présence anecdotique de ce parasitoïde sur un lot de fruit (cf. lot d'incubation des petits fruits), nous n'avons pas observé d'émergence de parasitoïdes. La mise en place de cette méthode de lutte reste coûteuse en temps et présente un fort risque de ré-infestation en cas de détérioration de l'augmentorium. Nous ne la conseillons donc pas forcément ici, mais la destruction des petits fruits reste quant à elle essentielle.

Au vu des difficultés techniques, du temps passé et du coût de la mise en place d'un tapis de sol nous ne considérerons pas cette méthode comme étant une méthode applicable par les producteurs dans leurs vergers. L'enherbement haut rend le ramassage des petits fruits compliqué. C'est donc l'enherbement ras qui est la modalité retenue et conseillée lorsque l'objectif est de lutter contre la ré-infestation en mouche des fruits dans les vergers. D'autant plus que cette modalité semble faire diminuer le taux d'infestation lorsque les mangues passent environ 10 jours au sol. Les producteurs ne peuvent pas se permettre un ramassage quotidien ou trop fréquent des petits fruits. Cette modalité semble donc être un bon compromis pour allier efficacité et faisabilité sur le terrain.

La récolte des petits fruits peut être concentrée sur les fruits au sol puisque les fruits piqués sur arbre (proches de l'abscission ou non) finiront par tomber au sol.

Un passage tous les 10 jours est en revanche le maximum à ne pas dépasser, puisqu'au-delà de cette durée les larves des mouches des fruits vont commencer à sortir du fruit pour s'empurger dans le sol (voir données sur le cycle de vie de *Bactrocera dorsalis* en ANNEXE 2), provoquant la ré-infestation.

3.5. Infestation des fruits en conditions naturelles de l'essai 3

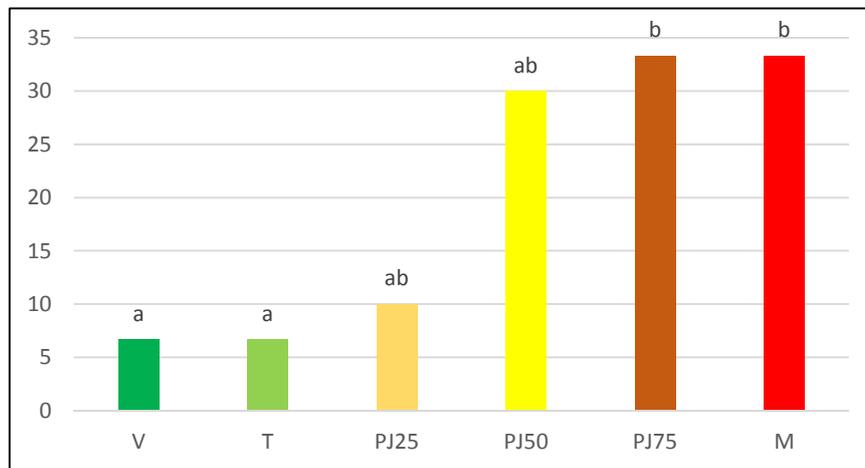
100 % des adultes obtenus après incubation des gros fruits ont été de l'espèce *B. dorsalis*.

3.5.1. Résultats sur mangues Cogshall

Nous avons ramassé 180 fruits avec une masse fraîche moyenne de $389,6 \pm 89,5$ g (Piton-Défaud + Bassin-Plat).

La localité n'a aucun effet significatif sur le taux d'infestation ($\chi^2 = 0,41$; ddl= 1 ; p-valeur = 0,521) ou le nombre de pupes + larves par kg de fruit ($\chi^2 = 0,42$; ddl= 1 ; p-valeur = 0,518). Nous présenterons donc ici les résultats de Piton-Défaud et de Bassin-Plat combinés. Les graphiques descriptifs de chacun des vergers pris séparément sont cependant visibles en **ANNEXE 3**.

Le stade à un effet significatif ($\chi^2 = 14,87$; ddl=5 ; p-valeur < 0,05 ; [figure 22](#)) sur le taux d'infestation des mangues Cogshall.



[Figure 22](#) : Taux d'infestation des mangues Cogshall, tous vergers confondus. Test de Wilcoxon (p-valeur < 0,05).

On remarque que les mangues aux stades PJ75 et M sont significativement plus infestées (33,3 % pour chacun des 2 stades) que les mangues aux stades V et T (6.7% pour chacun des 2 stades). Il semblerait donc que *B. dorsalis* ait une préférence pour les fruits à des stades de maturité avancée (PJ75 et M). Fait notable, les fruits V et T sont quand même également la cible de piqûres par *B. dorsalis*.

Le stade à un effet significatif ($\chi^2 = 16,54$; ddl=5 ; p-valeur < 0,01 ; [figure 23](#)) sur le nombre de pupes et larves par kg de fruit, en revanche seules des différences marginales (p-valeur < 0,1) sont observées entre les différents stades. Il y a plus de pupes et larves par kg de mangues aux stades PJ50, PJ75 et M (respectivement : 14,3, 22,0 et 15,5) que dans les mangues aux stades V, T et PJ25 (14,0, 5,0 et 0,8). Ces différences reprennent la même dynamique que pour le taux d'infestation, ce qui *a priori* paraît cohérent. Nous remarquons cependant un nombre étonnement élevé de pupes et larves par kg de mangues au stade V, bien que ce nombre ne suffise pas à provoquer une différence significative (p-valeurs > 0,05) par rapport aux autres stades.

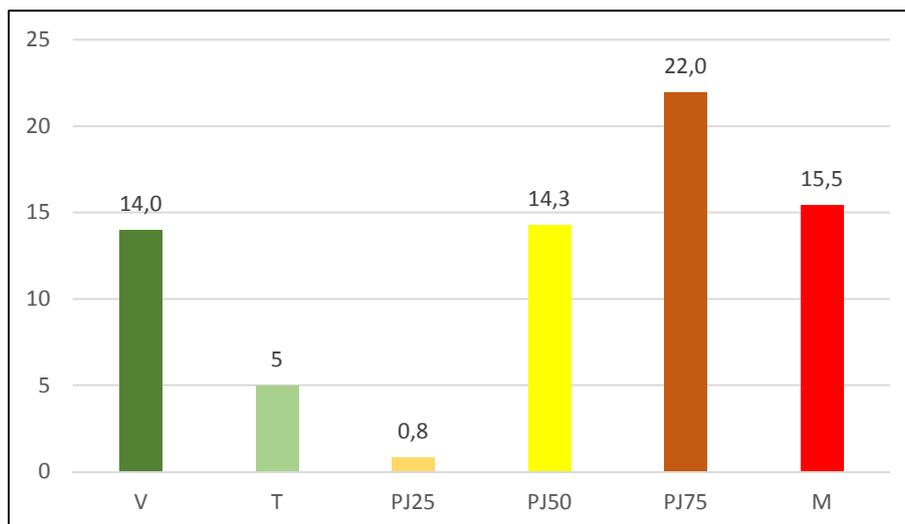


Figure 23 : Nombre de pupes + larves par kg de mangues Cogshall, tous vergers confondus.

Nous avons détecté l'émergence d'un seul *Fopius* sur 1 fruit de Bassin-Plat (stade tournant).

3.5.2. Résultats sur mangues José

Nous avons ramassé 87 fruits avec une masse fraîche moyenne de $295,5 \pm 52,8$ g (Bassin-Plat). Il y a un effet significatif ($\chi^2 = 23,02$; ddl = 5 ; p-valeur < 0,001 ; figure 24) du stade de maturité des mangues José sur leur taux d'infestation.

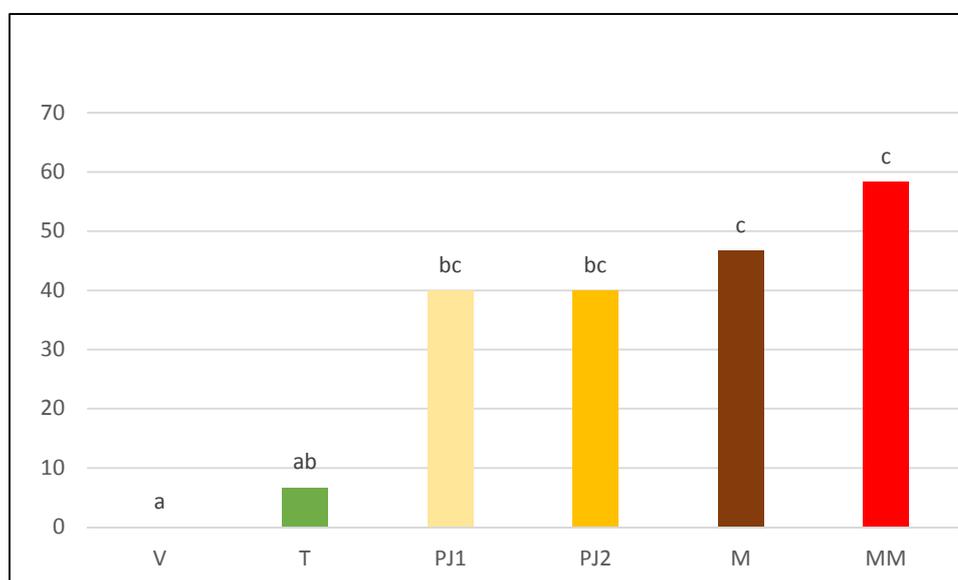


Figure 24 : Taux d'infestation des mangues José à Bassin-Plat. Test de comparaison de Wilcoxon (p-valeur < 0,05).

Contrairement aux mangues Cogshall, les mangues José au stade vert n'ont pas été piquées par les mouches des fruits. Toutefois les mangues au stade tournant l'ont été mais elles restent significativement moins infestées que les mangues aux stades M et MM. Malgré l'absence d'autres différences significatives entre les taux d'infestation avec les autres stades, nous observons une nette augmentation de l'infestation des mangues à partir du stade PJ1 (40 % des fruits sont infestés à partir de ce stade).

Le stade à un effet significatif ($\chi^2= 16.97$, dl= 5, p-valeur<0.01 ; [figure 25](#)) sur le nombre de pupes par kg de fruit.

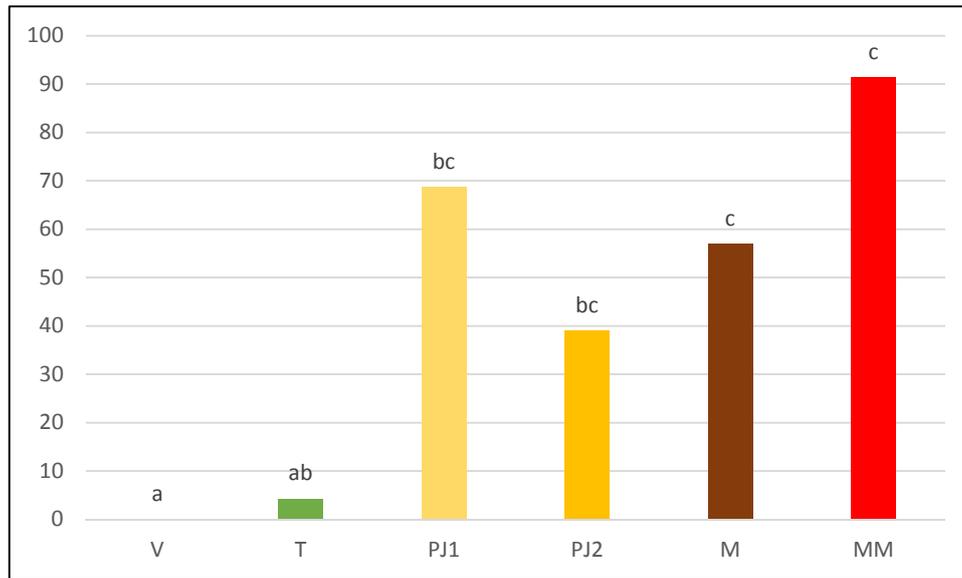


Figure 25 : Nombre de pupes + larves par kg de mangues José à Bassin-Plat. Test de comparaison de Wilcoxon (p-valeur<0,05).

Le nombre de pupes par kg de fruit augmente fortement une fois le stade tournant passé, nous avons entre T et PJ1 une augmentation de +64,4 pupes / kg de fruit. Le maximum de pupes étant rencontré sur le stade MM (91,4 pupes / kg).

Une présence notable de parasitoïdes d'espèce *F.arisanus* apparaît dans cet essai. En effet, nous avons observé leur émergence sur 12,6 % des mangues José.

3.5.3. Discussion

Les tests de comparaison de Wilcoxon sont paramétrés pour une p-valeur<0,05, ainsi les effets marginaux n'apparaissent pas dans les graphiques présentés ici. Cependant, il est intéressant de noter que parfois les p-valeurs sont très proches d'être significatives (p-valeurs comprises entre 0,05 et 0,06), cela nous pousse à vouloir refaire cet essai dans le futur afin de compléter notre base de données et renforcer la puissance statistique de nos analyses.

Nous avons fait ici le choix de rassembler les données des deux vergers pour nos analyses, toutefois en faisant ainsi il faut savoir que nous agrandissons l'écart-type entre les masses fraîches des mangues récoltées (cf. données en **ANNEXE 3** pour les vergers pris séparément).

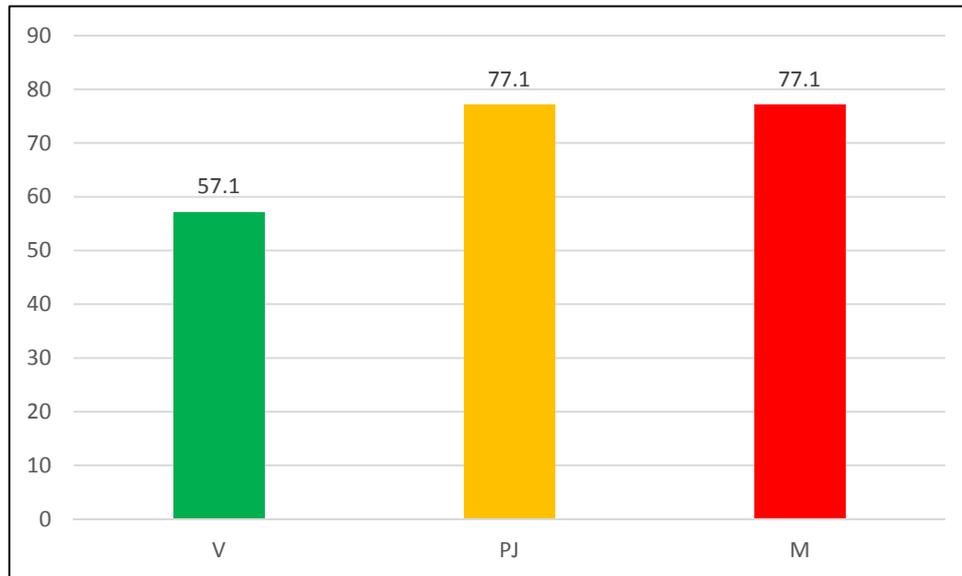
Enfin, concernant les récoltes de mangues José nous avons eu des difficultés pour compléter les deux dernières récoltes (difficultés pour trouver des mangues aux stades M et MM). Les mangues n'étaient parfois pas toutes dans le même état physiologique lors de la récolte (dégâts de ravageurs sur les fruits sur arbre et au sol) ce qui peut induire un biais pour les résultats de ces fruits.

3.6. Infestation de l'essai 4

3.6.1. Résultats

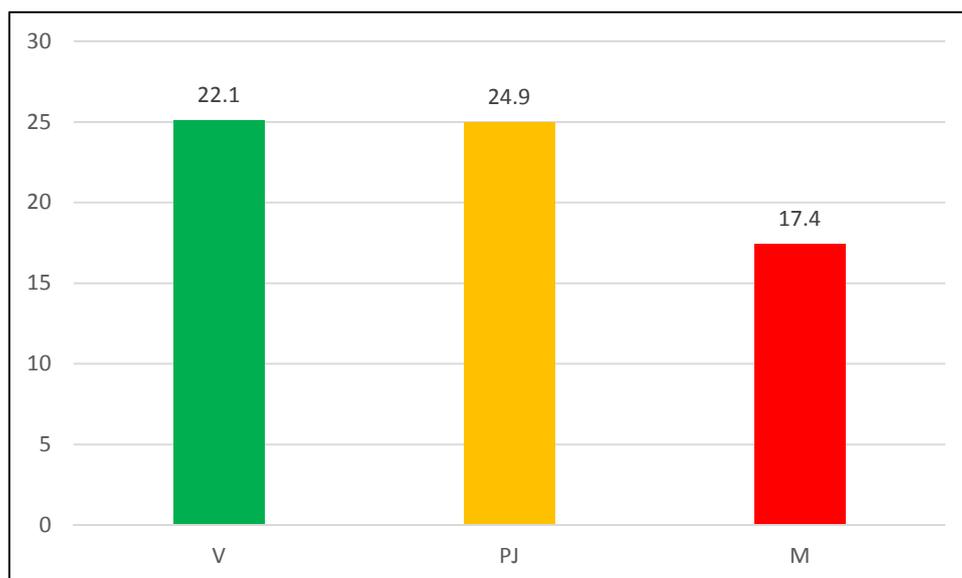
Nous avons ramassé 105 fruits avec une masse fraîche moyenne de $461,8 \pm 84,3$ g.

Il n'y a pas d'effet significatif ($\chi^2 = 4,37$; ddl = 2 ; p-valeur = 0,112 ; [figure 26](#)) du stade sur le taux d'infestation des fruits. Les fruits aux stades M et PJ ont tous les deux atteint 77,1 % d'infestation. Les fruits au stade V sont légèrement moins infestés avec 57,1 % d'infestation.



[Figure 26](#) : Pourcentage d'infestation des mangues en infestation artificielle en fonction du stade de maturité.

Là non plus, aucun effet significatif ($\chi^2 = 1,39$; ddl = 2 ; p-valeur = 0,499 ; [figure 27](#)) du stade sur le nombre de pupes et de larves par kg de fruit n'apparaît. Les mangues aux stades V (25,1 pupes et larves / kg de fruit) et PJ (24,9 pupes et larves / kg de fruit) cumulent le plus d'émergences. Tandis que les mangues au stade M (17,4 pupes et larves / kg de fruit) sont celles qui en dénombrent le moins en moyenne.



[Figure 27](#) : Nombre de pupes + larves par kg de mangues en infestation artificielle en fonction du stade de maturité.

3.6.2. Discussion

Le choix des mangues pour chacune des trois modalités de stade identifiées pour cet essai reste subjectif en fonction de l'expérimentateur. Même aidé du fluorimètre, il peut y avoir des différences, plus ou moins prononcée pour des mangues censées être au même stade entre différents lots (lots de trois mangues par cages pour le test de choix). De même il est à noter qu'au cours des 24 heures de présence des mouches dans les cages, la maturité des mangues évolue rapidement. Or il n'est pas possible d'identifier à quel moment exact les mouches piquent les fruits. Il n'est alors pas évident de déterminer si les mangues ont été piquées en début d'essai ou à la fin (ce biais peut avoir un effet notamment au niveau des mangues vertes qui vont se ramollir et possiblement être plus attractives 24h après leur récolte).

Pour tester ce biais il pourrait être intéressant de réaliser de nouveau cet essai en y incorporant des modalités de temps comprises entre 0 et 24 heures d'essai avec les mouches. Il est toutefois évident que cela rajoute une contrainte non négligeable pour l'expérimentateur pour la bonne réalisation de cet essai. Une autre solution consisterait à noter le stade des fruits à l'issue des 24h avec les mouches, et ensuite de ne conserver pour les analyses que les cages dans lesquelles les 3 fruits sont toujours aux 3 stades prédéfinis (V, PJ, M). L'inconvénient de cette méthode est qu'elle provoquerait la perte d'une partie des données mais elle nous débarrasserait de ce biais.

Concernant les taux d'infestation nous observons ici des taux d'infestation nettement supérieurs aux résultats d'infestation en conditions naturelles. Le taux d'infestation élevé des mangues vertes semble confirmer les prédispositions de *Bactrocera dorsalis* à pondre précocement dans des mangues encore vertes, même si les mangues plus mûres (PJ et M) sont favorisées vis-à-vis des mouches.

L'infestation des mangues vertes ne se fait pas uniquement lorsqu'il n'y a pas d'autres fruits plus mûrs à disposition, car deux des 20 mangues V (soit 10 %) infestées l'ont été dans des cages où aucune autre mangue PJ ou M n'était infestée.

Concernant le nombre de pupes et de larves par kg de fruit, nous noterons une différence dans les conditions microclimatiques de la salle d'incubation, avec notamment une humidité très forte (bien plus que pour l'incubation des fruits des autres essais). Si ce genre d'essai est reconduit, il serait peut-être judicieux de mettre en place un déshumidificateur. Ces conditions ont en effet pu avoir un effet sur le cycle de développement des individus présents dans les fruits.

4. Conclusions

L'estimation visuelle du stade des mangues telle qu'elle est effectuée dans cette étude semble être fiable. En effet, les mesures de fluorescence fournissent des résultats statistiquement cohérents en fonction des stades de maturité des mangues.

Les pièges ont capturé en majorité *Bactrocera dorsalis*, toutefois malgré la présence d'autres espèces de mouches des fruits susceptibles de piquer les mangues dans les pièges, aucune des mangues infestées étudiées n'a été piquée par une autre espèce que la mouche orientale des fruits. Nous sommes donc à 100% d'infestation par *Bactrocera dorsalis* dans cette étude.

Ces données nous confirment le caractère très invasif de cette espèce et sa capacité de compétition très efficace sur manguier. Apriori aucun signe de régulation biologique de ce ravageur n'apparaît dans les vergers de manguier réunionnais. Seules quelques présences d'un parasitoïde (*Fopius arisanus*) sur les mangues José sont à noter.

La pression de ce ravageur dans les vergers a été au plus fort aux mois de novembre et décembre, suivit d'une diminution notable pour la fin de saison dans chacun des vergers étudiés.

L'état physiologique et d'abscission des fruits ont un impact sur leur taux d'infestation précoce dans les vergers. Ainsi, les fruits jaunes au sol sont ceux qui sont le plus piqués et donc qui présentent le plus de risques de ré-infestation par *Bactrocera dorsalis* en relâchant des pupes dans le verger. En complément, nous observons que le type de couverture du sol et le temps passé au sol par les mangues auraient également un impact sur le taux d'infestation et le nombre de pupes par kg de fruits.

Nous retiendrons finalement que c'est l'enherbement ras accompagné d'un ramassage régulier des fruits (pouvant aller jusqu'à 10 jours maximum entre 2 ramassages) qui semblent être la meilleure solution dans le cadre d'une lutte prophylactique. A condition bien sûr que les fruits soient correctement détruits par la suite. L'intérêt du ramassage prophylactique est donc confirmé par cette étude.

Concernant le stade de maturité, *Bactrocera dorsalis* semble d'avantage piquer les fruits à partir du stade Point Jaune. Toutefois des fruits Verts ont également été piqués, mais dans des proportions moindres. Récolter les fruits de manière précoce afin de limiter le temps d'exposition à des stades sensibles à ce ravageur semble être une solution intéressante.

A noter cependant qu'une récolte trop précoce des fruits nuit à leurs propriétés gustatives et provoque des coûts de stockage plus importants.

Les infestations sous conditions artificielles confirment la capacité de *Bactrocera dorsalis* à pondre et à se développer dans des fruits immatures. Toutefois son attrait pour les fruits mûrs reste plus prononcé. Dans ces conditions et avec la mise en place d'une récolte précoce des fruits, il est possible que *Bactrocera dorsalis* infeste d'avantage de fruits immatures dans les vergers. Cela rendrait alors cette stratégie d'évitement caduc. Il pourrait être intéressant de conduire des expérimentations dans ce sens, afin de déceler le comportement de ce ravageur en cas d'une faible disponibilité en fruits mûrs dans les vergers.

5. Bibliographie

Amin, A.A. (2017). *Field and laboratory studies on infestation of immature mango fruits by the peach fruit fly, Bactrocera zonara (Saunders)*. Egyptian Journal of Agricultural Research, vol 95(1), pages 89-106.

Briandy, A. (2019). *Confirmation du potentiel de leviers cultureux pour la régulation des populations et dégâts de ravageurs de la floraison et de la fructification du manguier à La Réunion*. Ecole d'ingénieur de Purpan. Toulouse (France), 103 pages.

Brunet-Lecompte, C. (2019). *Évaluation du potentiel de leviers de gestion cultureux dans la lutte contre la mouche des fruits Bactrocera dorsalis (Hendel) sur manguier*. Ecole d'ingénieur ISTOM. Angers (France), 87 pages.

Brustel, L. (2018). *Evaluation de l'effet de pratiques culturales (paillage / enherbement du sol / récolte prophylactique précoce) en vergers de manguier (Mangifera indica L.) sur la régulation de bioagresseurs de la floraison et de la fructification : les cas de la cécidomyie des fleurs (Procontarinia mangiferae) et des mouches des fruits (Diptera : Tephritidae)*. Ecole d'ingénieur de Purpan. Toulouse (France), 128 pages.

Caillat, A. (2016). *Evaluation du niveau d'infestation des mangues par les mouches des fruits en fonction de leur état de maturité*. Ecole d'ingénieur Bordeaux science agro. Bordeaux (France), 33 pages.

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD). *Le CIRAD, en bref*. Disponible sur : <https://www.cirad.fr/qui-sommes-nous/le-cirad-en-bref> (consulté le 22/04/2020).

Diatta, P., Rey, J-Y., Vayssières, J-F., Diarra, K., Coly, E.V., Lechaudel, M., Grechi, I., Ndiaye, S., et Ndiaye, O. (2013). *Fruit phenology of citrus, mangoes and papayas influences egg-laying preferences of Bactrocera invadens (Diptera: Tephritidae)*. Fruits, vol. 68, pages 507-516.

Ekesi, S., Nderitu, P.W., et Rwomushana, I. (2006). *Field infestation, life history and demographic parameters of the fruit fly Bactrocera invadens (Diptera: Tephritidae) in Africa*. Bulletin of Entomological Research, vol 96, pages 379-386.

Grechi, I., Cousinou, J. (2015). *Etude de l'effet de la maturité de la mangue sur son degré d'infestation par la mouche des fruits*. Cirad. Saint-Pierre (La Réunion, France), 25 pages.

Konta, I.S., Djiba, S., Sane, S., Diassi, L., Ndiaye, A.B., et Noba, K. (2015). *Etude de la dynamique de Bactrocera dorsalis (Hendel) (Diptera: Tephritidae) dans les vergers de mangues en Basse Casamance : influence des facteurs climatiques*. International Journal of Biological and Chemical Sciences, vol 9(6), pages 2698-2715.

Lechaudel, M., Urban, L., et Joas, J. (2010). *Chlorophyll Fluorescence, a Nondestructive Method To Assess Maturity of Mango Fruits (Cv. 'Cogshall') without Growth Conditions Bias*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol 58, pages 7532-7538.

Marquier, M. et Fontaine, R. (2019). *La mouche orientale des fruits*. FDGDON-Réunion. 3 pages.

Ouedraogo, S.N. (2011). Dynamique spatio temporelle des mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) en fonction des facteurs biotiques et abiotiques dans les vergers de manguiers de l'ouest du Burkina Faso. Ecole doctorale science de la vie et de la santé, université Paris Est. Paris (France), 184 pages.

Préfecture de La Réunion (2019). *Export de végétaux depuis La Réunion*. Saint-Denis (La Réunion), 11 pages.

Preterre, A.L. (2017). *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 évaluation de la relation entre l'infestation des mangues et leur état de maturité*. Ecole d'ingénieur Agroparistech. Paris (France), 52 pages.

Rattanapun, W., Amornsak, W. et Clarke, A.R. (2009). *Bactrocera dorsalis preference for and performance on two mango varieties at three stages of ripeness*. Entomologia Experimentalis et Applicata, vol 131, pages 243-253.

R Development Core Team (2005). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. URL: <http://www.R-project.org>.

Vayssières, J-F., Korie, S., Coulibaly, O., Temple, L., et Bouey, S.P. (2008). *The mango tree in northern Benin: cultivar inventory, yield assessment, infested stages and loss due to fruit flies (Diptera Tephritidae)*. Fruits, vol. 63, 8 pages.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Guide d'aide pour l'identification des stades de maturité des mangues Cogshall (A) et José (B) (source : *Préterre 2017*).

A. Les sept stades de maturité de la mangue Cogshall



V	(Vert)	: apex de couleur vert foncé et homogène, pas de coloration jaune
T	(Tournant)	: éclaircissement vert clair au niveau de l'apex
PJ25	(Point Jaune 25)	: apex de couleur jaune franche et étendue sur <25% de la mangue
PJ50	(Point Jaune 50)	: couleur jaune étendue sur 25 à 50% de la mangue
PJ75	(Point Jaune 75)	: couleur jaune étendue sur 51 à 75% de la mangue
M	(Mûre)	: couleur jaune étendue sur 76 à 95% de la mangue
MM	(Sûr-mature)	: mangue entièrement jaune avec une teinte orangée

B. Les six stades de maturité de la mangue José



V	(Vert)	: mangue de couleur vert foncé et homogène
T	(Tournant)	: éclaircissement vert clair
PJ1	(Point Jaune 1)	: couleur jaune franche et étendue sur moins de 50% de la mangue
PJ2	(Point Jaune 2)	: couleur jaune étendue sur 50 à 90% de la mangue
M	(Mûre)	: couleur jaune étendue sur plus de 90% de la mangue
MM	(Sûr-mature)	: mangue entièrement jaune avec une teinte orangée

ANNEXE 2 : Cycle de vie d'une mouche des fruits.

A. Durée des étapes de développement d'une mouche *Bactrocera dorsalis* ($T^{\circ} = 28^{\circ}\text{C}$)
(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

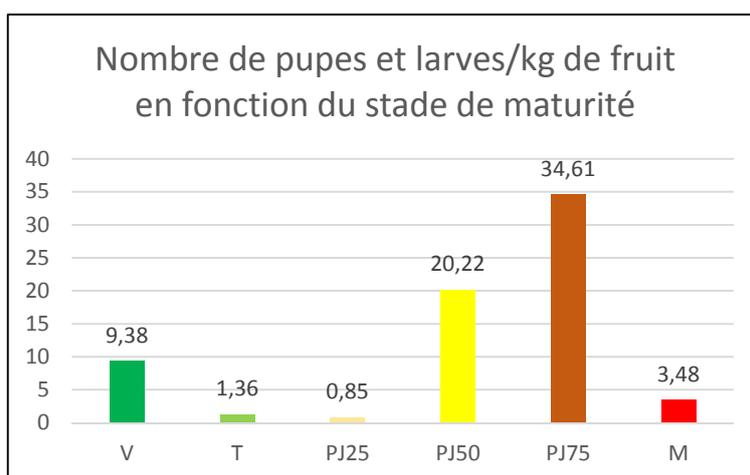
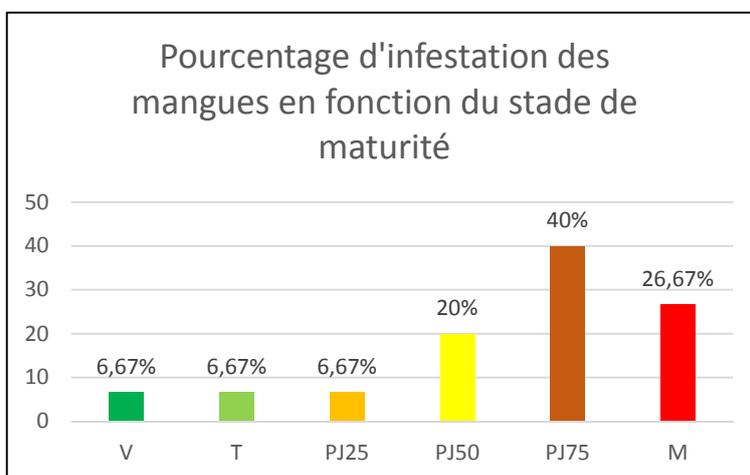
B. Cycle de développement d'une mouche des fruits (Ouedraogo, 2011).



ANNEXE 3 : Résultats de l'essai 3 avec distinction du verger.

A. Dans le verger de Piton-Défaud.

Nous avons des fruits avec une masse fraîche moyenne de $344,1 \pm 77,5$ g. Pour 90 fruits ramassés.



B. Dans le verger de Bassin-Plat.

Nous avons des fruits avec une masse fraîche moyenne de $435,2 \pm 76,8$ g. Pour 90 fruits ramassés.

