

RAPPORT DE STAGE

Stage de césure réalisé du 02 novembre 2016 au 29 avril 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 Evaluation de la relation entre l'infestation des mangues et leur état de maturité

Anne-Laure PRETERRE

Etudiante à *AgroParisTech, Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement*, en année de césure et affiliée à *Fac For Pro, Institut de formation professionnelle*.



Encadrant : **Isabelle GRECHI**

Co-encadrant : **Alain RATNADASS**

Chercheurs au CIRAD, UPR HortSys, « *Fonctionnement agro-écologique et performances des systèmes de culture horticoles* »

CIRAD, Station Bassin Plat, BP180
97455 Saint Pierre Cedex, Ile de la Réunion



Remerciements

Plusieurs personnes m'ont soutenue lors de ce stage. Tout d'abord, je tiens à remercier mes deux encadrants de stage Isabelle Grechi et Alain Ratnadass qui, sans eux, je n'aurais jamais été là, Isabelle pour sa rigueur et ses qualités de chercheur et Alain pour son savoir-faire et l'aide qu'il m'a fournie notamment lors de l'élevage des mouches des fruits.

Je voudrais ensuite remercier sincèrement les producteurs pour leur disponibilité, leur intérêt pour le travail fait chez eux, leur accueil toujours souriant, leur gentillesse, leur générosité et leur soutien dans ce projet.

J'aimerais également remercier toute l'équipe du Cirad, chercheurs, techniciens, doctorants et stagiaires qui m'ont aidée à réaliser ce stage et plus particulièrement Doralice Jessu et Muriel Sinatamby, les deux techniciennes qui ont fourni un grand travail dans les vergers de manguiers de la station Bassin Plat et qui ont su répondre à mes questions et être à ma disposition quand j'en avais besoin. Je remercie aussi les techniciens Jim et Serge, qui ont été patients, d'une grande gentillesse et présents lors de l'élevage des mouches.

Je voudrais également remercier sincèrement Frederic Chiroleu et son assistant Arthur qui m'ont beaucoup appris à propos du logiciel R. Frédéric a fait preuve de beaucoup de patience et est doué d'une grande pédagogie que j'ai su apprécier. De plus, je remercie Maud pour le temps qu'elle m'a consacré pour répondre à mes questions sur les mouches des fruits.

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du projet ECOVERGER, action pilotée par le ministère de l'Agriculture et de l'alimentation et le ministère de la Transition 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, et du DPP COSAQ, programme de recherche agronomique du Cirad (activités 2016-2018) financé par la communauté européenne (programme opérationnel FEDER) et le Conseil Régional de La Réunion.



Résumé

Ce stage, réalisé au sein du Cirad à la Réunion pendant une année de césure sous l'affiliation FacForPro, est une expérience professionnelle qui s'ajoute aux stages imposés par ma formation d'ingénieurs en agronomie à AgroParisTech. D'une durée de six mois, ce stage m'a permis d'allier à la fois le terrain, le travail en laboratoire, le traitement des données et la communication entre chercheurs, techniciens, doctorants, agriculteurs et stagiaires. Cette expérience a été l'opportunité de découvrir le domaine de l'écologie grâce aux suivis en vergers, à l'identification des insectes en laboratoire et à l'élevage des mouches des fruits. De plus, de nouvelles qualifications professionnelles telles que le contact avec les producteurs, l'outil statistique R et la place importante de la communication dans le milieu professionnel se sont forgées pendant ces six mois.

Ce stage rentre dans le cadre du projet de recherche Ecoverger qui vise à trouver des solutions techniques plus économes en pesticides pour la gestion des vergers. L'optimisation des dates de récolte des fruits figure parmi les solutions envisagées, et nécessite de mieux comprendre la relation entre le risque d'infestation des mangues par les mouches des fruits et l'état de maturité des mangues. Les objectifs de ce stage sont multiples. Il s'agit d'une part, d'évaluer la dynamique des mouches des fruits dans les vergers ainsi que les dynamiques d'abondance et de maturité des mangues à l'aide de suivis réalisés en vergers. Il s'agit d'autre part, d'estimer le niveau d'infestation des fruits dans les vergers grâce à des prélèvements de fruits en verger et leur suivi en laboratoire, et d'établir la relation entre le niveau d'infestation et l'état de maturité des fruits.

Les résultats obtenus lors de ce stage montrent que le taux d'infestation des mangues augmente avec la maturation. Pour réduire le taux d'infestation des fruits sans recourir à des traitements avec des pesticides, une des solutions est de récolter les mangues à un stade où le risque d'infestation est encore faible. Le stade « point jaune 25 » apparaît comme un stade optimal pour récolter les fruits puisque le taux d'infestation ne dépasse pas 5% à ce stade et que visuellement il est facilement identifiable par les producteurs. De plus, lors de cette année 2016-2017, la variété *Cogshall* semble être attaquée uniquement par *Bactrocera zonata* alors que les trois espèces de mouches des fruits nuisibles pour la mangue, *Bactrocera zonata*, *Ceratitis rosa* et *Ceratitis capitata* sont présentes dans les vergers. Les suivis et expériences réalisés lors de ce stage mériteraient d'être répétés lors des prochaines années afin de confirmer ou infirmer les résultats obtenus. Les liens entre l'abondance des mouches et l'infestation ainsi qu'entre l'abondance/maturité des fruits et l'abondance des mouches doivent également être étudié en profondeur.

Summary

This internship within the research organism named Cirad located in La Reunion is an extra work experience in the engineering formation AgroPariTech. Lasting six months, this internship enabled me to combine field tasks, laboratory tasks, data-processing and communication between farmers, researchers, technicians, PhD students and interns. This experience was the opportunity to discover the field of ecology thanks to the field tasks, the flies identification in the laboratory and the flies breeding. Furthermore, new professional skills such as the relationship with the farmers, the R statistic software and the communication abilities within the professional world had been built during these six months.

This internship is a part of the research project called « Ecoverger », whose goal is to find management solutions to avoid the use of pesticides in mango orchards. Management of fruit harvest dates is part of these solutions, but it requires a deeper understanding of the link between the risk of mango infestation by the fruit flies and mango ripening. There are many objectives. In the first hand, the fruit flies dynamics in the orchards and the mango abundance and ripening dynamics had been evaluated thanks to field monitoring. In another hand, fruit infestation level had been estimated thanks to laboratory tests. Finally, the relationship between the level of fruit infestation and fruit maturity had been characterized.

The results obtained during this internship show that mango infestation level increased with fruit maturity. To reduce the risk of fruit infestation by fruit flies, a possible solution is to harvest the fruits at an earliest ripening stage such as the “yellow point 25” stage. Besides, during this year, mango fruits of the *Cogshall* variety seemed to be attacked by only one fruit fly species, *Bactrocera zonata*, even though the three fruit flies species damaging mango, *Bactrocera zonata*, *Ceratitis rosa* and *Ceratitis capitata*, were found in the orchards. The field and laboratory tasks realized during this internship need to be repeated again during the following years in order to confirm or not the results obtained this year. Deeper investigations on the relationships between fruit infestation level and fruit fly abundance on one hand, and between fruit abundance/maturity and fly abundance on another hand are also required.

Sommaire

Glossaire	5
Introduction	6
Matériels et méthodes	9
Résultats et discussion	19
Conclusion	34
Références bibliographiques	38
Annexes	39

Glossaire

Bios : Systèmes biologiques

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

COSAQ : Co-conception de systèmes agro-alimentaires de qualité

DROM : Département et région d'outre-mer

Ecoverger : Conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers guidée par les contraintes et les objectifs des agriculteurs

ES : Environnements et sociétés

MF : Matière Fraîche

Persyst : Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux

PJ : Point jaune

SAU : Surface agricole utile

T : Tournant

V : Vert

1. Introduction

1.1. Un stage au sein du CIRAD

Ce stage rentre dans le cadre des activités de recherche menées sur l'île de la Réunion par le Cirad et plus particulièrement par l'unité de recherche HortSys. Le Cirad est un organisme français de recherche en agronomie et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes. Sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères, cet organisme est un EPIC qui appartient autant à la sphère privée que publique. A travers ses recherches, le Cirad s'engage sur de grandes thématiques telles que la sécurité alimentaire, le changement climatique, la gestion des ressources naturelles, la réduction des inégalités et la lutte contre la pauvreté. Pour assurer ses missions, l'organisme collabore avec plus de 100 pays dans le monde, de l'Asie du Sud-Est à l'Amérique latine en passant par l'Afrique, le Moyen-Orient et la France métropolitaine et ses départements d'Outre-Mer (DROM). Le Cirad est structuré en trois départements scientifiques, le département *Bios*, systèmes biologiques, le département *Persyst*, performances des systèmes de production et de transformation tropicaux, et le département *ES*, Environnement et sociétés, et 33 unités de recherches dont 11 sont représentées à la Réunion. Ce stage s'inscrit dans le cadre des projets Ecoverger et Cosaq. Le projet Ecoverger a pour objectif de concevoir des itinéraires techniques en vergers qui sont économes en pesticides et répondent aux contraintes et aux objectifs des agriculteurs. Les vergers de manguiers à la Réunion constituent un des deux cas d'étude du projet, et les chercheurs se focalisent sur la gestion du mangouier et de deux de ses bio-agresseurs, les mouches des fruits et la cécidomyie des fleurs. L'objectif de ce stage est d'évaluer la relation entre l'état de maturité des mangues et leur infestation par les mouches des fruits.

1.2. La production de mangues à la Réunion

A la Réunion, les premiers manguiers ont été introduits en 1770 et provenaient de l'Inde mais ce n'est que depuis 1970 que les surfaces cultivées ont augmenté de façon importante. Aujourd'hui, la culture de la mangue s'étend sur 386 ha, derrière la culture de litchi (702 ha) et de banane (477 ha). La SAU représente environ un cinquième de la superficie de l'île qui s'élève à 2 512 km², soit 251 200 ha. En 2013, la totalité des cultures fruitières et légumières représente environ 13 % de la SAU soit s'étendant sur plus de 5 000 ha et atteignant 96 400 tonnes de production annuelle (DAAF La Réunion, non daté). La canne à sucre occupe à elle seule 57 % de la SAU soit 24 336 ha (DAAF La Réunion, 2016). Un nombre important de variétés de mangues sont cultivées à la Réunion mais deux d'entre elles représentent ensemble plus de 80 % des vergers de manguiers de l'île : la variété locale, la José, et la variété d'origine floridienne dite "américaine", la Cogshall

(aussi appelée "Early Gold"). La première, très appréciée des réunionnais, occupe 50 % des vergers de manguiers et la Cogshall n'en représente que 30 %. Cette dernière a été introduite par le Cirad et se rapproche plus des variétés de mangues que les consommateurs internationaux ont l'habitude d'acheter, par sa forme, son calibre, sa couleur et ses caractéristiques sensorielles. De par ses qualités, une partie de la production de l'île est réservée à l'export : depuis 2006, environ 110 tonnes par an sont envoyées par avion sur le marché mondial (DAAF La Réunion, 2009). Que ce soit la mangue, l'ananas Victoria ou le letchi, les fruits exportés de la Réunion sont destinés à un marché de niche étant donné les coûts élevés de production et de transport. La production totale de mangues sur l'île peut dépasser les 3 000 tonnes de mangues selon les années et ne représente qu'une infime partie de la production mondiale qui est de plus de 33 millions de tonnes. L'Inde représente à elle seule 13 millions de tonnes (Vincenot et Normand, 2009).

1.3. Le manguiers et ses bio-agresseurs

Le manguiers, connu sous le nom latin *Mangifera indica*, appartient à la famille des *Anacardiaceae* composée d'environ 600 espèces réparties en 70 genres (Watson et Dallwitz, 1992). On y retrouve l'anacardier, arbre appartenant au genre *Anacardium* et producteur de noix de cajou, et l'espèce produisant des pistaches, *Pistacia vera*. Le manguiers, l'espèce la plus connue du genre *Mangifera*, est un arbre pouvant atteindre 50 m de hauteur et vivre plus de 100 ans. A la Réunion, plusieurs bio-agresseurs peuvent infliger des dégâts au manguiers, dont trois principaux ravageurs qui sont la cécidomyie des fleurs *Procontarinia mangiferae* (ordre *Diptera*), la punaise *Orthops palus* (syn. *Taylorilygus palus*) (ordre *Heteroptera*) et les mouches des fruits appartenant à la famille des *Tephritidae* (ordre *Diptera*). Les thrips, la cécidomyie des feuilles, les cochenilles ainsi que les maladies telles que la bactériose, l'anthracnose et l'oïdium représentent les autres problèmes rencontrés sur manguiers.

Parmi toutes les espèces de mouches appartenant à la famille des *Tephritidae*, seulement huit d'entre elles causant des dégâts agronomiques sur les cultures fruitières et maraichères sont aujourd'hui présentes à la Réunion (Etienne, 1972). Ces huit espèces font partie de la sous-famille des *Dacinae* et appartiennent à deux tribus : *Dacini* et *Ceratitidini*. Quatre espèces appartiennent à la tribu des *Ceratitidini*. Ce sont la mouche de la tomate *Neoceratitis cyanescens*, la mouche du Natal *Ceratitis rosa* (ou *Ceratitis quilicii* ?), la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* et la mouche des Mascareignes *Ceratitis catoirii*. Les quatre autres espèces font partie de la tribu des *Dacini* et sont la mouche Ethiopienne des Cucurbitaceae *Dacus ciliatus*, la mouche des Cucurbitaceae de l'Océan Indien *Dacus demmerezi*, la mouche de la pêche *Bactrocera zonata* et la mouche du melon *Bactrocera (Zygodacus) cucurbitae*. Parmi ces huit espèces, deux sont endémiques de l'Océan Indien, *Ceratitis catoirii* et *Dacus demmerezi*. Les autres

ont été introduites en grande majorité dans la 2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle et proviennent de l'Afrique et de l'Asie (Baldy, 2014). Les mouches des fruits posant problème aujourd'hui pour le manguier sont *C. rosa*, prédominante en altitude (jusqu'à 1500 m), *C. capitata* présente à basse altitude, et *B. zonata* présente à basse altitude et dans les zones côtières. Une quatrième espèce, *C. catovirii*, est aussi nuisible pour le manguier mais n'est plus problématique puisqu'elle est en voie de disparition sur l'île. Le cycle de vie des mouches des fruits est similaire entre les espèces. Les femelles pondent dans les fruits dans lesquels vont se développer les larves en se nourrissant de la pulpe du fruit. Une fois sortie de la mangue, souvent tombée par terre suite à sa maturation précoce provoquée par l'infestation, les larves sautent pour tomber au sol et s'y enfouir afin de réaliser leur pupaison. L'adulte émerge ensuite et rentrera dans un nouveau cycle lorsqu'il sera arrivé à maturité sexuelle (Baldy, 2014).

1.4. Les méthodes pour lutter contre les mouches des fruits

Plusieurs méthodes de lutte contre les mouches des fruits existent. En raison notamment de leurs effets négatifs sur l'environnement et la santé des agricultures, les insecticides sont moins utilisés. Des méthodes alternatives de lutte, autorisées en agriculture biologique, se développent telles que le traitement localisé par taches avec le *Synéïs Appât* (attractif alimentaire à base de protéines ou de levures associé à un insecticide d'origine naturelle, le spinosad) et le piégeage de masse des mâles de *B. zonata* (MAT ou Male Annihilation Technique) et des Cératites (pièges *Ceratipack* ou *DecisTrap*). Les pièges utilisés sont à base de paraphéromones pour *B. zonata* et d'attractif alimentaire pour les Cératites, et contiennent tous les deux de petites quantités d'insecticide. Des mesures préventives de prophylaxie telles que le ramassage des fruits au sol ou la mise en place d'un enherbement attirent de plus en plus d'agriculteurs. Cette dernière méthode permet une lutte biologique par conservation en créant un environnement favorable à la présence d'ennemis naturels qui jouent un rôle dans le contrôle des mouches des fruits.

1.5. Problématique et objectifs du stage

De manière générale, les mouches des fruits préfèrent les fruits mûrs. Une autre stratégie, appelée « stratégie d'évitement », consiste à récolter les mangues à un stade précoce de maturation afin de diminuer le risque d'infestation par les mouches des fruits. C'est ce qui va être développé lors de ce stage. La qualité organoleptique des mangues est influencée par différents facteurs tels que l'exposition du fruit à la lumière et la disponibilité de la plante en eau et en carbone (Normand et Léchaudel, 2008), ainsi que l'état de maturité du fruit à la récolte. Cette qualité augmente au cours de la maturation puis tend à décroître en cas de sur-maturité (Vincenot et Normand, 2009). Le consommateur étant soucieux de la qualité organoleptique des fruits, il est donc

important de ne pas récolter trop tôt afin de ne pas engendrer de perte de cette qualité. En présence de mouches des fruits dans les vergers, il est nécessaire de bien maîtriser le stade de maturité des mangues à la récolte pour garantir une qualité organoleptique optimale des fruits tout en minimisant les risques d'infestation de ces derniers. Un compromis pourra être recherché.

Le principal objectif de ce stage est d'évaluer l'effet de l'état de maturité des mangues sur leur niveau d'infestation. Un second objectif est d'établir un lien éventuel entre les dynamiques d'abondance et de maturation des fruits, les dynamiques d'abondance des mouches des fruits et le niveau d'infestation des mangues dans les vergers. Afin de répondre à ces objectifs, nous mettrons en place des suivis et des tests en vergers et en laboratoire.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Les vergers d'étude

L'étude a été menée sur quatre vergers. Deux d'entre eux sont situés dans le Sud, sur la station Bassin Plat du Cirad (site 1 et 4 - BP) à Saint-Pierre, et deux autres sont localisés dans le Nord-Ouest de l'île (Figure 1) chez deux producteurs (site 2 - PA et site 3 - PR). Ces quatre vergers ont l'intérêt d'avoir des caractéristiques différentes, tant au niveau du paysage environnant qu'au niveau climatique (Tableau 1). Tandis que les sites 1 à 3 sont composés d'une seule variété, la mangue *Cogshall*, le site 4 est composé de deux variétés, la mangue *José* et la mangue *Kent*.

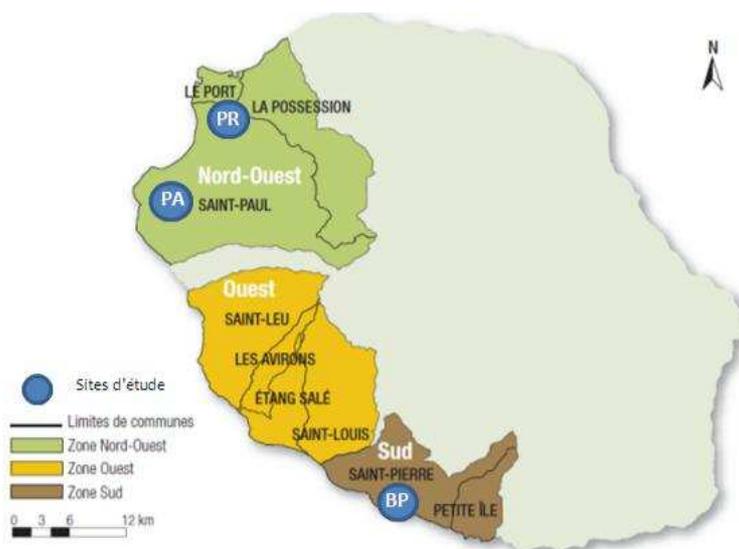


Figure 1. Principales zones de production de mangues à la Réunion et localisation des sites d'étude (adapté de Vincenot et Normand, 2009)

Tableau 1. Caractéristiques des différents vergers suivis au cours de l'étude

Code Verger	Age verger	Variété	Localisation (altitude)	Paysage environnant	Méthode(s) de gestion des mouches
Site 1 (BP)	13 ans	<i>Cogshall</i>	Saint-Pierre Bassin Plat (156 m)	Vergers de manguiers (10 variétés), litchis, agrumes, haies de jacquiers, pieds isolés d'autres fruitiers.	Aucune
Site 2 (PA)	>30 ans	<i>Cogshall</i>	Saint-Gilles (70 m)	Vergers de manguiers (<i>Cogshall</i> , <i>José</i> , <i>Auguste</i>), quelques pieds de papayers et cœurs de bœuf.	Pièges à paraphéromones, bouteilles engluées
Site 3 (PR)	20 ans	<i>Cogshall</i>	Saint-Paul Piton Défaud (105 m)	Vergers de manguiers (<i>Cogshall</i>), cultures maraîchères (piment, bringelles, etc ...).	Pièges à paraphéromones, Cératipack, panneaux jaunes englués, Synéis Appât.
Site 4 (BP)	5 ans	<i>José</i> <i>Kent</i>	Saint-Pierre Bassin Plat (156 m)	Vergers de manguiers (10 variétés), litchis, agrumes, haies de jacquiers, pieds isolés d'autres fruitiers.	Aucune

2.2. Méthode de caractérisation de la dynamique des mouches des fruits dans les vergers

La dynamique des mouches des fruits a été suivie dans les vergers grâce à la mise en place de pièges à entonnoir renversé de type « *Mac Phail* » contenant un attractif alimentaire, le *Torula*. Le *Torula* est une levure connue aujourd'hui sous le nom de *Candida utilis* mais anciennement appelée *Torula utilis*. Inactive, hydrosoluble et riche en protéines et en acides aminés, elle a l'avantage d'attirer une large gamme d'espèces de mouches et aussi bien les femelles que les mâles. Chaque piège contiendra 10 g de *Torula* dilué préalablement dans 200 ml d'eau (concentration à 50 g.L⁻¹) et la solution sera renouvelée toutes les semaines.

A l'aide de photos (Figure 2), de clé de détermination (Annexe 1) et d'une loupe binoculaire, les mouches piégées seront identifiées et dénombrées par espèce et par sexe.

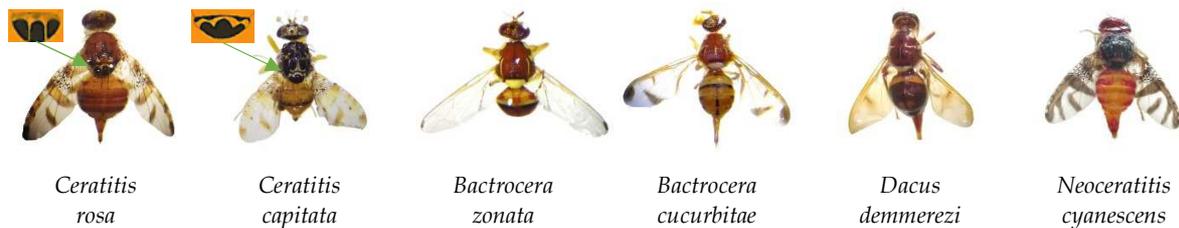


Figure 2. Photos des différentes mouches des fruits et légumes trouvées dans les pièges

2.3. Méthode de caractérisation de la maturité des mangues

La maturité des mangues a été évaluée à l'aide de quatre indicateurs de maturité : le stade visuel de maturité, la fluorescence chlorophyllienne, la fermeté et la dureté de l'épiderme du fruit.

2.3.1. Evaluation visuelle du stade de maturité

Au cours de sa maturation, la mangue passe par plusieurs stades de maturité (*Annexe 2*). Sept stades ont été définis pour la mangue *Cogshall* (V : vert, T : tournant, PJ25/50/75 : point jaune à 25, 50 et 75%, M : mûr, MM : sur-mature) et seulement six chez la mangue *José* (V : vert, T : tournant, PJ1/2 : point jaune 1 et 2, M : mûr, MM : sur-mature). C'est l'apparition et la proportion de la couleur jaune par rapport à la couleur verte sur tout le fruit qui va permettre de placer la mangue *Cogshall* (ou *José*) dans un de ces sept (ou six) stades de maturité. La pigmentation jaune ou verte est parfois remplacée par une pigmentation rouge ou violette qui est très présente chez les mangues *Cogshall* sur les zones exposées au soleil. L'évaluation visuelle du stade de maturité a l'avantage d'être rapide, immédiate et accessible à tous puisqu'elle ne demande pas de matériel particulier. Toutefois, cette méthode reste subjective et n'est pas toujours facile.

2.3.2. Mesure de la fluorescence chlorophyllienne

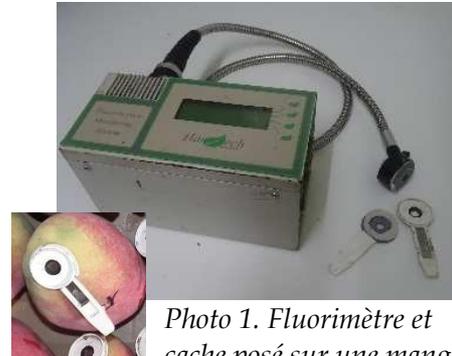
La chlorophylle, une fois excitée par de la lumière, a la capacité d'émettre de la fluorescence. Ce sont les pigments chlorophylliens, associés au photosystème II de l'épiderme qui vont dissiper de l'énergie sous forme de fluorescence afin de revenir à un état stable. Une diminution de la fluorescence de la chlorophylle a été observée sur plusieurs fruits au cours de la maturation en lien avec des modifications de couleur de l'épiderme, elle-même associée à une dégradation de la chlorophylle présente dans les tissus de l'épiderme. La mesure de l'intensité de la fluorescence est donc une méthode non-destructive qui permet d'évaluer l'état de maturité des fruits (Léchaudel et al., 2010).

L'appareil utilisé pour mesurer la fluorescence chlorophyllienne est un fluorimètre PEA portable (Fluorescence Monitoring System FMS 2, Hansstech, *Photo 1*).

Les paramètres mesurés par l'appareil sont :

F _o	:	Fluorescence à l'état initial
F _m	:	Fluorescence maximale
F _v = F _m - F _o	:	Fluorescence variable
F _v /F _m	:	Rendement quantique maximal du PSII

La valeur retenue comme indicateur de maturité du fruit sera la fluorescence variable *F_v* (Léchaudel et al., 2010).



Pour réaliser la mesure, un cache est posé près de l'apex, où les premiers changements de couleur de l'épiderme apparaissent (*Photo 1*), et sur la partie du fruit qui n'a pas été exposée au rayonnement direct du soleil. Le cache est fixé sur le fruit grâce à une pâte appelée « térostat ». Par convention, le cache doit être maintenu fermé les deux heures précédant la mesure. Cette étape de mise à l'obscurité ne sera cependant pas réalisée pour les mangues *Cogshall* utilisées pour les tests en laboratoire et les mangues *José*, faute de temps mis à la disposition de l'opérateur pour réaliser les mesures. Toutefois, des analyses complémentaires sur les mangues *Cogshall* ont montré que cette mise à l'obscurité ne modifiait pas sensiblement le paramètre *F_v* puisque $F_{v_{SO}} = 0.95 (\pm 0.01) F_{v_0}$ (avec $F_{v_{SO}}$ et F_{v_0} les valeurs respectivement mesurées sans et avec mise à l'obscurité; $R^2=0.97$).

2.3.3. Mesure de la fermeté et de la dureté de l'épiderme

La fermeté et la dureté de l'épiderme ont été calculées à partir de mesures faites avec un pénétromètre (*Photo 2*). Après avoir placé le fruit sur une plateforme, une tige de 3 mm de diamètre descend avec une vitesse de déplacement de 5 mm/s pour perforer le fruit sur 10 cm au maximum. Deux perforations seront effectuées, une de chaque côté de la mangue. La moyenne des deux mesures sera faite et utilisée pour la suite.



Photo 2. Relevé par Anne-Laure des valeurs mesurées par le pénétromètre

Deux variables sont mesurées par l'appareil (Figure 3):

- **Fr (N)** : la **force** au point de rupture, c'est-à-dire la force nécessaire pour percer le fruit.
- **ΔD (mm)** : la **déformation** de la peau jusqu'au point de rupture.

A partir de ces mesures, la fermeté et la dureté sont calculées à l'aide des formules suivantes (Sirisomboon et al, 2012) :

- **Fermeté** (N/mm) = $Fr / \Delta D$
- **Dureté** (N mm) = $Fr \times \Delta D / 2$

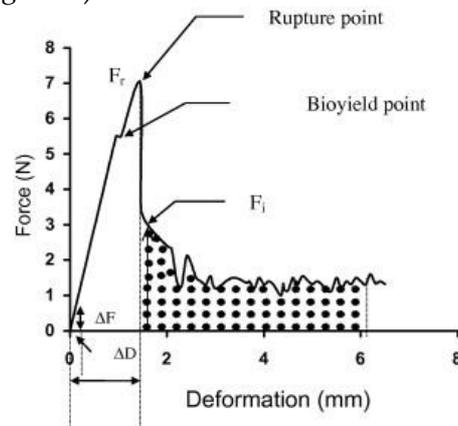


Figure 3. Courbe de force-déformation obtenue après perforation du fruit (Sirisomboon et al., 2012)

2.4. Méthode de caractérisation de l'infestation des fruits

Les fruits suivis sont mis dans des sachets (housses à fruits perméables à l'eau et à l'air ; Figure 3a) individuels. Chaque sachet, fermé par deux trombones, contiendra une mangue et une petite quantité de sable noir préalablement tamisé et passé l'étuve (24h à 80°C) pour être stérilisé. Le numéro de la mangue est noté sur le sachet. Les sachets contenant les fruits sont ensuite conservés plusieurs jours au laboratoire, à environ 25°C, pour permettre le développement des œufs et des larves jusqu'à atteindre le stade de pupes.



Photo 3a. Housses à fruits NORTENE contenant les mangues échantillonnées

Au bout de 15 à 16 jours, les sachets sont ouverts et le sable est tamisé afin de récupérer les pupes et les larves déjà sorties des mangues. Les mangues et le sable sont ensuite remis dans les sachets qui sont à nouveau ouverts au bout de 8 à 12 jours. Cette fois-ci, en plus du tamisage, les mangues sont décortiquées afin de collecter les larves qui pourraient encore se trouver à l'intérieur de la mangue. Ces durées d'attente ont été définies de façon à permettre aux œufs ou aux larves potentiellement présentes dans le fruit de se transformer en pupes mais sans atteindre le stade adulte qui est difficile à collecter dans les sachets. En effet, la durée de développement des œufs, à 25°C, est d'environ 2 jours, celle des larves varie entre 5 et 10 jours selon les espèces de mouches de fruits et celle des pupes dure environ 10 jours (Annexe 3). La présence d'au moins un individu, mort ou vivant, collecté dans les sachets à l'état de larve, de pupes ou d'adulte suffira pour considérer le fruit comme étant infesté.

Pour chaque fruit, les larves et les pupes collectées sont conservées dans des boîtes en plastique (*Photo 3b*). Les individus placés dans ces boîtes sont conservés plusieurs jours pour que les adultes émergent, rendant ainsi possible l'identification (espèce et sexe) des mouches des fruits. Le taux de survie des pupes sera également noté à l'aide du dénombrement des pupes.



Photo 3b. Boîtes contenant les individus collectés après tamisage

2.5. Caractéristiques des suivis réalisés en vergers

2.5.1. Dynamique des mouches des fruits dans les vergers

L'objectif de ce suivi est de caractériser la dynamique d'abondance des mouches des fruits présentes dans chacun des quatre vergers et leur répartition par espèce et par sexe. Dans chaque verger, quatre pièges ont été déposés avant que la récolte des fruits ne commence. Ayant une distance d'attractivité d'une dizaine de mètres, les pièges ont été espacés dans le verger de sorte que les zones d'attractivité de différents pièges se recouvrent le moins possible (*Annexe 4*). Les suivis ont été réalisés chaque semaine du 23 novembre 2016 au 06 avril 2017. Sur le verger du site 4, à cause de stocks en torula insuffisants et comme les mangues *José* et *Kent* sont plus tardives, les suivis n'ont été réalisés que du 11 janvier au 15 mars 2017. La dynamique d'abondance des mouches des fruits sera étudiée à l'échelle du verger et non par piège. Les dynamiques des mouches des fruits pourront ensuite être comparées avec les dynamiques d'abondance et de maturité des mangues.

2.5.2. Dynamique d'abondance et de maturité des fruits dans les vergers

L'objectif de ces suivis est d'avoir une idée générale de l'évolution, au cours de la saison de récolte des mangues, de la charge en fruits des arbres et de la part que représente chaque stade de maturité des fruits dans les arbres des vergers suivis. Chez les producteurs, le suivi d'abondance des fruits a été réalisé chaque semaine sur dix arbres par verger (*Annexe 4*), à partir du 15 novembre 2016 et jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de fruits dans les arbres suivis. On suppose que la dynamique d'abondance des fruits sur ces arbres est représentative de celle de l'ensemble du verger. Les arbres suivis sont ceux portant les pièges (excepté celui portant le piège n°4 du site 3 car sans fruits) et leurs voisins. Pour faciliter le comptage, le suivi n'a été fait que sur une partie de l'arbre (une ou deux charpentières ou sous-charpentières) pour les arbres avec une trop forte charge en fruits. De plus, pour les sites 2 et 3, afin d'estimer le nombre total de fruits dans

chaque verger avant récolte, noté NF, le comptage du nombre de fruits sur arbre entier de respectivement 28 % et 38 % des arbres du verger a été réalisé lors du suivi n°6 du 21 décembre 2016. Ce suivi a été fait quand les récoltes étaient déjà bien avancées pour faciliter le comptage des fruits dans les arbres, mais avant qu'il n'y ait presque plus de fruits dans les arbres pour éviter une mauvaise estimation de la charge totale de chaque verger. Cette charge a pu être calculée avec la formule suivante :

$$NF = \frac{X6}{PY} \quad \text{avec}$$

$X6$: nombre total de fruits comptés au suivi n°6 sur arbre entiers
 P : pourcentage d'arbres suivis au suivi n°6 (~ 30%)
 Y : pourcentage de mangues restant dans le verger au suivi n° 6
 (obtenu grâce à la dynamique d'abondance des fruits)

Pour les sites 1 et 4 à Bassin Plat, la dynamique d'abondance des fruits et le nombre total de fruits dans chaque verger ont été obtenus grâce aux suivis réalisés lors des récoltes par Doralice JESSU et Muriel SINATAMBY. A chaque récolte, une à deux fois par semaine, les fruits ramassés sur un même arbre sont comptés et pesés.

Pour reconstruire la dynamique de maturité des fruits dans chaque verger (excepté celui du site 4), le stade de maturité visuel d'environ 150 à 200 fruits, pris au hasard dans le verger, a été évalué chaque semaine du 15 novembre 2016 au 10 janvier 2017 (sites 2 et 3) et 22 février 2017 (site 1). Ce suivi a été complété par le relevé du stade de maturité des fruits récoltés à deux dates espacées dans le temps (en milieu et fin de saison). La dynamique de maturité des fruits obtenue par ces suivis peut toutefois être biaisée par les récoltes effectuées par les producteurs, en particulier quand celles-ci étaient réalisées avant les suivis. Une récolte quotidienne fait diminuer les fruits de stades avancés dans les arbres. Les résultats obtenus lors des suivis de maturité ne sont peut-être pas représentatifs de la dynamique réelle de maturité des fruits dans le verger.

2.5.3. Infestation des fruits dans les vergers

L'objectif de ce suivi est d'étudier la relation entre l'état de maturité des fruits et leur niveau d'infestation par les mouches des fruits pour les mangues *Cogshall* mais aussi pour les mangues *José*. Trois récoltes ont été faites pour chaque verger à trois dates différentes. Trente fruits sont ramassés par récolte et répartis entre les différents stades de maturité, selon les disponibilités dans le verger, de la façon suivante : 5 V, 4 T, 4 PJ25, 4 PJ50, 4 PJ75 et 9 M/MM pour la mangue *Cogshall* et 5 V, 5 T, 5 PJ1, 5 PJ2 et 10 M/MM pour la mangue *José*. Pour la mangue *José*, il a été moins évident de trouver le nombre de fruits désiré aux stades T et MM dans le verger. Pour la mangue *Cogshall*, 270 fruits sont donc analysés et 90 seulement pour la mangue *José*. La *Figure 4* représente la répartition définitive des 90 mangues récoltées par verger selon leur stade de maturité.

Une fois récoltés, les fruits sont ramenés au laboratoire et analysés. Pour les fruits provenant des vergers de Bassin Plat, les fruits sont pesés individuellement. Pour ceux

provenant des vergers de producteurs, le poids total des 30 fruits récoltés est relevé. L'aspect extérieur du fruit (anthracnose, bactériose, tâches noires non identifiées, craquelures ou autres anomalies) est noté et la fluorescence, la fermeté et la dureté sont mesurées. Le lendemain matin, les fruits sont mis en sachet pour les suivis d'infestation par les mouches des fruits, en prenant la peine au préalable de désinfecter la partie perforée par le pénétromètre pour éviter tout type d'infection du fruit.

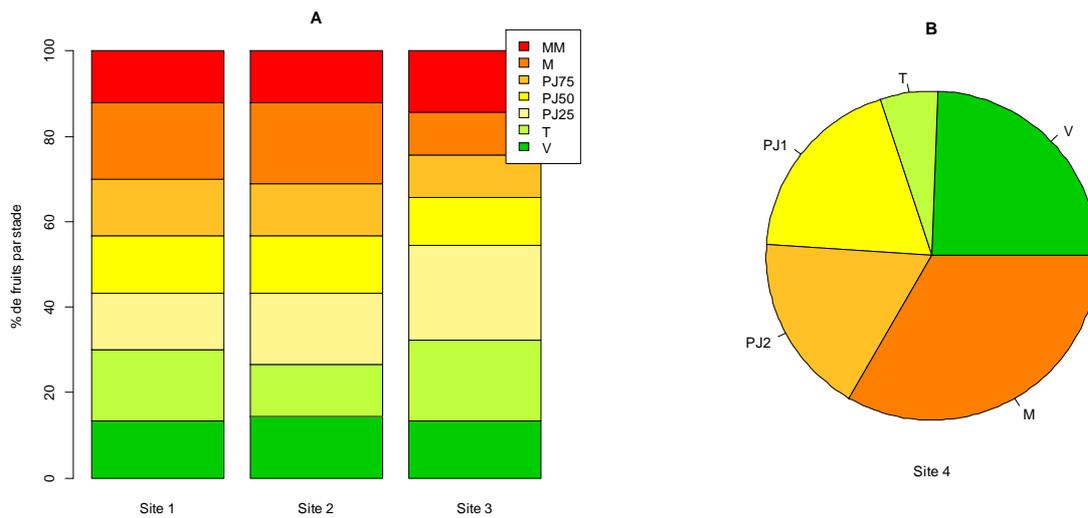


Figure 4. Répartition selon leur stade de maturité des 90 mangues récoltées dans les trois vergers de Cogshall (A) et dans le verger de José (B).

2.5.4. Calendrier des suivis en verger

Les périodes des différents suivis réalisés sur les vergers sont représentées sur la Figure 5.

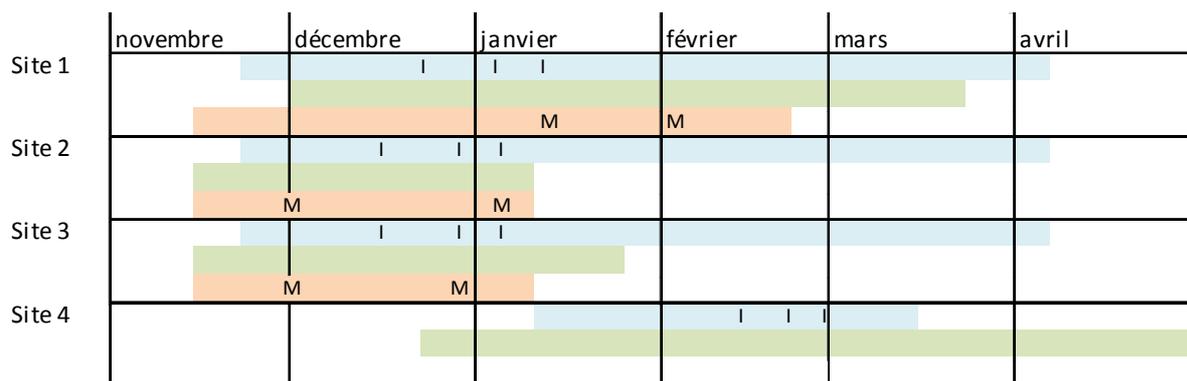


Figure 5. Calendrier des suivis réalisés dans les vergers des quatre sites étudiés

Période des suivis d'abondance des mouches des fruits (bleu), d'abondance des fruits (vert) et de maturité des fruits dans les vergers (orange), et dates de prélèvement des fruits utilisés pour le suivi de maturité des fruits récoltés par les producteurs ou techniciennes (M) et le suivi d'infestation des fruits par les mouches des fruits (I).

2.6. Tests d'infestation artificielle des fruits en laboratoire

L'objectif de cette expérimentation est d'étudier les préférences de ponte pour le stade de maturité des mangues chez la mouche des fruits *B. zonata*. Ces préférences sont appréhendées avec un test, appelé « test de choix », qui va permettre de compléter les résultats obtenus par l'infestation naturelle des fruits en verger. Ce suivi a été fait uniquement sur les mangues *Coghsall*.

2.6.1. Caractéristiques du dispositif et des suivis

Le test de choix a consisté à mettre en cage trois mangues de stades de maturité différents, une verte (*V*), une point jaune à 25% ou 50% selon les disponibilités (*PJ*) et une mûre ou sur-mature (*M*). Six femelles *B. zonata* âgées de 28 à 37 jours sont introduites dans une cage (BugDorm Insect Cage : 40×40×40 cm³; *photo 4*) mise dans une chambre climatique à 26±1°C avec un taux d'humidité à 85±5% et une luminosité à 2 000 lux avec une photopériode 12h de lumière et 12h d'obscurité. De l'eau et un mélange de sucre et levure sont mis à disposition des mouches. Après 24h, les mouches sont retirées et les mangues sont ensachées individuellement pour les suivis d'infestation.



Photo 4. Chambre climatique contenant les cages utilisées pour le test à choix

Théoriquement à 25°C, *B. zonata* atteint le stade de pupes au bout de huit jours et les adultes émergent au bout de 18 jours. Un premier tamisage du sable a été réalisé après 15 jours afin de prélever les individus au stade de pupes. Un deuxième tamisage, réalisé 10 jours après le premier, permet de s'assurer qu'aucun individu n'a été oublié. Les mangues sont ensuite décortiquées. Cette étape a dû être anticipée à cause d'un taux d'humidité devenu beaucoup trop élevé dans la salle de stockage. La hausse du taux d'humidité pourrait s'expliquer par une mauvaise ventilation de la salle, différente de celle utilisée pour les suivis d'infestation en verger. Les individus collectés sous forme de larves ou de pupes après les deux tamisages ont été dénombrés puis jetés car l'identification des espèces n'était pas utile. Le test a été répété cinq fois. Chaque test était constitué de sept cages, nécessitant au total 105 fruits qui ont été prélevés dans le verger de Bassin Plat (site 1).

Deux étapes préliminaires ont été nécessaires pour réaliser ce suivi. La première a consisté à faire un élevage de mouches *B. zonata* (cf § 2.6.2). La deuxième a été d'ensacher une grande quantité de fruits dans le verger du site 1 afin de disposer de 105 fruits non infestés répartis en trois groupes : 35 *V*, 35 *PJ* et 35 *M*. Onze jours avant le

premier test, 150 fruits ont été ensachés avec des housses à fruits NORTENE (80 V, 35 T et 35 PJ25). L'essentiel des fruits ensachés étaient aux stades V et T, mais quelques fruits à un stade PJ25 plus avancé ont été ensachés pour s'assurer d'avoir des fruits au stade M pour les premiers tests. Lors de l'ensachage, une observation à l'œil nu du fruit permettait de vérifier l'absence de piqûre. Le jour des tests, les fruits récoltés étaient à nouveau vérifiés visuellement pour s'assurer qu'ils n'étaient effectivement pas infestés. Si les fruits avaient été infestés, le délai entre l'ensachage des fruits et leur récolte étant a minima de onze jours, les mouches auraient été suffisamment développées pour induire des symptômes visuels sur les fruits, voir même pour atteindre le stade de pupes ou d'adulte. Tous les deux à trois jours, le stade des mangues ensachées était contrôlé. La difficulté de ce suivi a donc été de synchroniser la maturité des mouches avec la disponibilité en fruits de différents stades dans le verger.

2.6.2. Elevage des mouches des fruits *Bactrocera zonata*

Les mouches des fruits *B. zonata* ont été élevées dans le laboratoire d'écologie terrestre et de lutte intégrée du Pôle de protection des plantes de Saint-Pierre situé à Ligne-Paradis. L'élevage des mouches est divisé en plusieurs étapes.

La première étape consiste à déposer un pondoir dans une cage contenant des mouches en capacité de pondre. Après 24h, les œufs sont récupérés et déposés dans des boîtes contenant un premier milieu (milieu 1) riche en protéines et en glucides permettant leur développement. Après deux jours, temps nécessaire pour que les œufs éclosent, le mélange larves-milieu 1 est transféré dans des boîtes plus grandes contenant un deuxième milieu (milieu 2). Ces boîtes sont posées dans un large récipient contenant du sable, prêt à recevoir les pupes, après que les larves de dernier stade auront sauté des boîtes. La composition des milieux 1 et 2 est détaillée en *Annexe 5*.

Les pupes sont ensuite mises dans des cages contenant chacune une boîte remplie d'eau et fermée par un couvercle perforé où était inséré un morceau d'éponge, et une coupelle contenant du sucre cristallisé mélangé à de l'hydrolysate enzymatique de levure de bière. La salle dans laquelle ont été déposées les cages est une chambre climatique dont la température est fixée à $26 \pm 1^\circ\text{C}$, le taux d'humidité à $85 \pm 5\%$ et la luminosité à 2 000 lux avec une photopériode correspondant à 12h d'éclairage et 12h d'obscurité. Après émergence des mouches, un temps d'attente avant le début des tests de choix était nécessaire afin que les mouches aient atteint un âge optimal pour s'accoupler et pondre.

2.7. Méthodes d'analyse de données

Les données brutes des différents suivis et expérimentations réalisés au cours de ce stage ont été dans un premier temps saisies dans un fichier EXCEL pour être analysées à l'aide du logiciel R dans un deuxième temps. Les analyses de ces données ont consisté à

construire des graphiques et à réaliser des analyses statistiques. Les différents types d'analyses statistiques réalisées sont les suivantes : une ANOVA à 1 facteur, un test du chi-2 et un modèle linéaire généralisé (GLM).

L'ANOVA a permis de tester si la fluorescence, la fermeté et la dureté des fruits étaient différentes entre les stades de maturité, autrement dit, si ces paramètres sont des bons indicateurs de la maturité des fruits. Les conditions d'application de l'ANOVA ont été vérifiées à l'aide de graphiques et de deux tests statistiques, le test de Shapiro-Wilk (normalité de la distribution des échantillons) et le test de Fligner (homoscedasticité des échantillons). Si ces conditions n'étaient pas respectées, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été employé à la place de l'ANOVA. Si une différence significative était observée, le test de comparaison de Tukey (HSD) après une ANOVA et le test de comparaison multiple après un test de Kruskal-Wallis ont été effectués pour identifier les stades de maturité qui se distinguaient significativement des autres.

Le test du chi-2 a été utilisé pour voir si l'infestation des fruits variait suivant le stade de maturité, et plus précisément pour caractériser le stade de maturité le plus sensible à l'infestation. Si les conditions de Cochran n'étaient pas respectées (situation souvent rencontrée quand l'échantillon est trop petit par exemple), un test exact de Fisher a été appliqué. Le GLM avec une loi d'erreur binomiale suivi d'une analyse de déviance avec un test du chi-2 a permis de tester l'effet de la fluorescence, de la fermeté et de la dureté des fruits sur leur infestation par les mouches des fruits.

3. Résultats et Discussion

3.1. Caractérisation de la maturité des fruits

Les relations entre la fluorescence, la fermeté et la dureté et le stade de maturité des mangues *Cogshall* pour chacun des sites 1 à 3 sont présentées en *Annexe 6*. Dans la suite de ce paragraphe, les résultats présentés ont été obtenus en regroupant l'ensemble des données des sites 1 à 3.

3.1.1. Fluorescence

Le paramètre de fluorescence F_v varie significativement avec le stade de maturité des fruits sur la variété *Cogshall* ($\text{chi-2} = 211.47$, $\text{df} = 6$, $p\text{-value} < 0.001$; *Figure 6A*) et sur la variété *José* ($\text{chi-2} = 69.75$, $\text{df} = 4$, $p\text{-value} < 0.001$; *Figure 6B*). Quelle que soit la variété, F_v décroît progressivement du stade *Vert* (*V*) au premier stade *Point Jaune* (*PJ25* pour *Cogshall* et *PJ1* pour *José*) dans un premier temps, et du dernier stade *Point Jaune* (*PJ75* pour *Cogshall* et *PJ2* pour *José*) au dernier stade de maturité (*MM* pour *Cogshall* et *M* pour *José*) dans un deuxième temps. Entre *PJ25* et *PJ50* pour *Cogshall* et entre *PJ1* et *PJ2*

pour *José*, une diminution plus marquée de *Fv* est observée, s'expliquant par l'apparition franche de jaune au niveau de l'apex à un stade supérieur à PJ25. De plus, pour la variété *Cogshall*, *Fv* varie très peu entre les stades PJ50 et PJ75. Le changement de couleur se faisant à partir de l'apex, endroit où est disposé l'appareil de mesure de fluorescence, les différences de couleur entre les stades qui apparaissent sur le haut de la mangue ne peuvent pas être décelées.

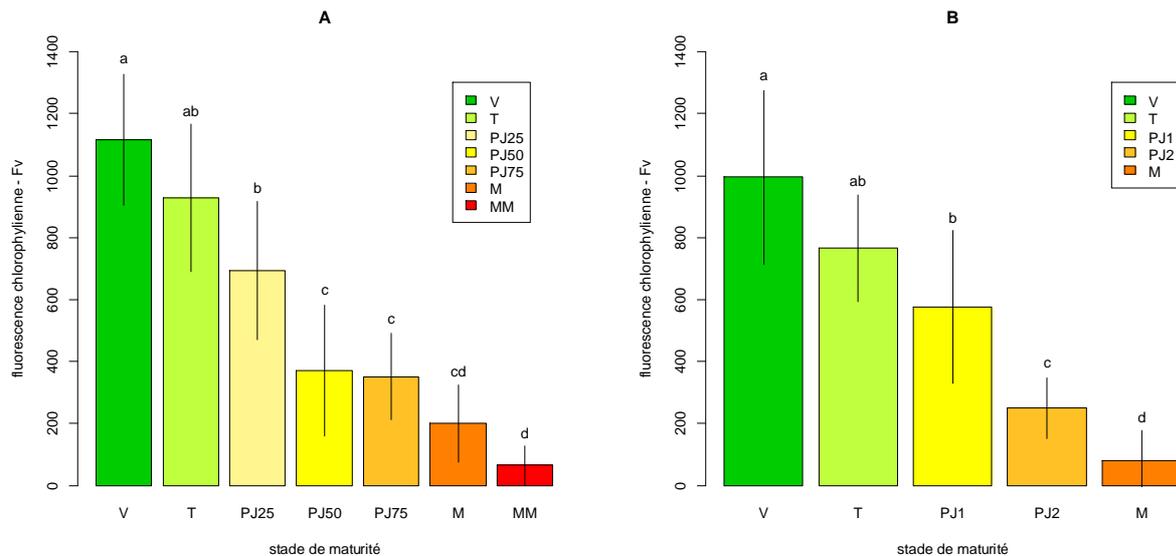


Figure 6. Fluorescence variable *Fv* en fonction du stade de maturité des mangues *Cogshall* (A) et *José* (B). Moyenne \pm écart-type calculés sur l'ensemble des données des quatre sites (sites 1 à 3 pour *Cogshall* et site 4 pour *José*). Les groupes avec la même lettre ne sont pas significativement différents (A et B : Test de comparaison multiple après Kruskal-Wallis)

3.1.2. Fermeté et dureté

D'après les résultats, la variété *José* est plus ferme que la variété *Cogshall* (Figure 7), tandis que la dureté est sensiblement identique entre les deux variétés (Figure 8).

Pour ces deux variétés, la fermeté varie significativement avec le stade de maturité des fruits (*Cogshall* : $\chi^2 = 193.36$, $df = 6$, p -value < 0.001 ; *José* : $\chi^2 = 66.95$, $df = 4$, p -value < 0.001). Pour la variété *Cogshall*, la fermeté diminue avec la maturité du fruit. Cette diminution n'est pas significative entre les stades V et PJ25 mais est bien marquée entre les stades PJ25 et PJ50 puis progressive entre les stades PJ50 et MM. Pour la variété *José*, la fermeté augmente très légèrement entre le stade V et T puis diminue progressivement jusqu'au stade M.

Comme la fermeté, la dureté varie significativement avec le stade de maturité des fruits (*Cogshall* : $\chi^2 = 136.27$, $df = 6$, p -value < 0.001 ; *José* : $\chi^2 = 42.93$, $df = 4$; p -value <

0.001). De façon globale pour les deux variétés, la dureté est assez stable pour les stades de maturité moins avancés (V à PJ50 pour *Cogshall* et V à PJ2 pour *José*) et diminue avec la maturité entre les stades PJ50 et MM pour *Cogshall* et PJ2 et M pour *José* (Figure 8).

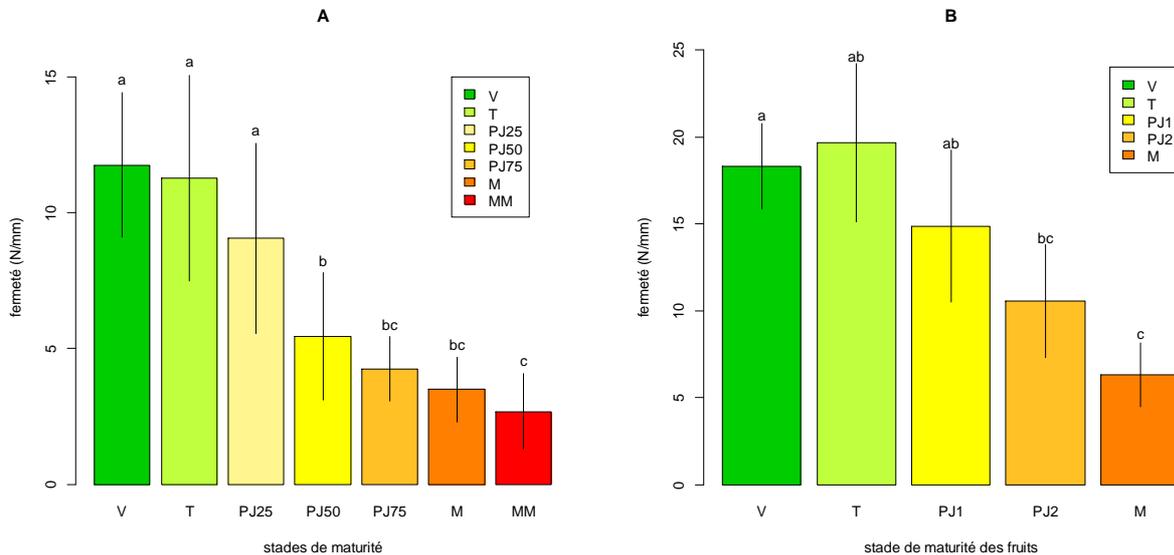


Figure 7. Fermeté en fonction du stade de maturité des mangues *Cogshall* (A) et *José* (B). Moyenne \pm écart-type calculés sur l'ensemble des données des quatre sites (sites 1 à 3 pour *Cogshall* et site 4 pour *José*). Les groupes avec la même lettre ne sont pas significativement différents (A et B : Test de comparaison multiple après Kruskal Wallis).

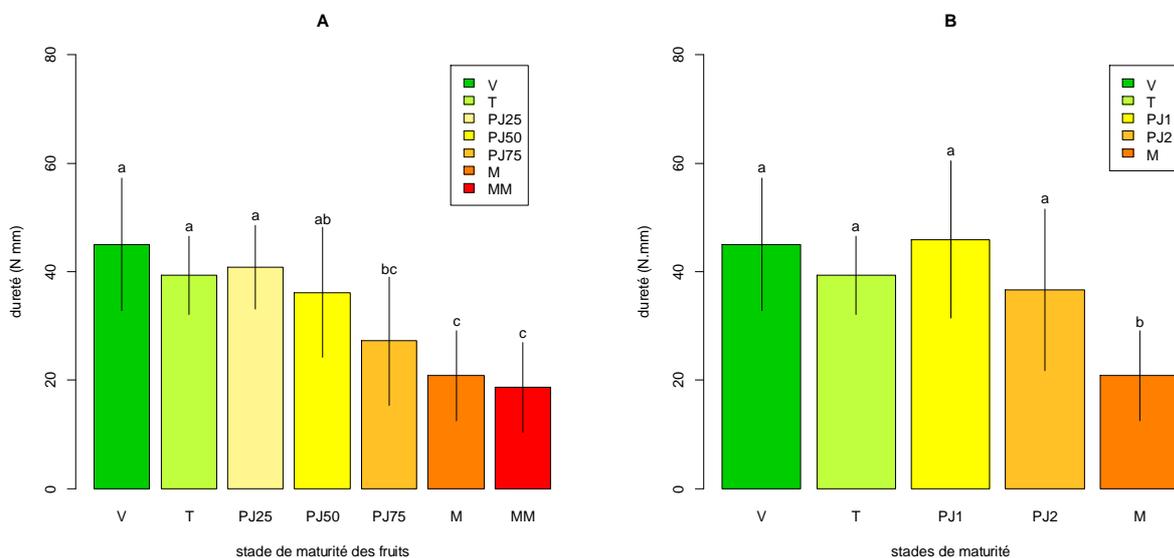


Figure 8. Dureté en fonction du stade de maturité des mangues *Cogshall* (A) et *José* (B). Moyenne \pm écart-type calculés sur l'ensemble des données des quatre sites (sites 1 à 3 pour *Cogshall* et site 4 pour *José*). Les groupes avec la même lettre ne sont pas significativement différents (A et B : Test de comparaison multiple après Kruskal Wallis).

3.1.3. Avantages et inconvénients des méthodes de mesure

Les trois méthodes utilisées pour évaluer la maturité des fruits ont chacune des avantages et des inconvénients. L'évaluation visuelle du stade de maturité est une méthode immédiate et rapide mais parfois difficile à mettre en œuvre avec une évaluation qui peut être subjective surtout lorsque les fruits sont atypiques (couleur jaune pâle observée sur certains fruits pouvant être à l'origine d'une surestimation du stade de maturité par exemple) ou lorsqu'ils sont en phase de transition entre deux stades. Concernant les mangues *José*, il a été encore plus difficile de placer les mangues dans la gamme de maturité. Et par exemple, la différence entre les mangues mures et sur-mures n'a pas été faite. Les méthodes quantitatives, quant à elles, sont faciles à mettre en place mais nécessitent toutefois d'avoir le matériel de mesure à disposition, ce qui reste un investissement pour des producteurs. La maturité du fruit étant assez hétérogène à l'échelle du fruit, ces techniques peuvent paraître approximatives. En effet, la fluorescence dépend de la position du cache sur l'apex du fruit et la fermeté et la dureté varient en fonction de l'endroit choisi pour percer le fruit. Pour réduire ce biais pour la fermeté et la dureté, une mesure sur chaque joue du fruit est réalisée et la moyenne de ces deux mesures est utilisée. Par ailleurs, le plus faible échantillonnage sur la mangue *José* pourrait expliquer que les tendances observées soient moins marquées sur *José* que sur *Cogshall*.

3.2. Dynamique d'abondance et de maturité des fruits dans les vergers

3.2.1. Abondance des fruits dans les vergers

Les suivis réalisés ont permis de caractériser et de comparer les vergers entre eux (Tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques des récoltes faites sur les quatre vergers d'étude.

Code Verger	Caractéristiques des vergers						Période de récolte (j)	
	Âge (ans)	Surface (ha)	Nombre d'arbres	Charge en fruits moyenne	Nombre total de fruits	MF (g) moyenne d'un fruit	50% des fruits récoltés	90% des fruits récoltés
Site 1	13	0.46	153	152	23 329	403	16	41
Site 2	30	0.90	194	84	16 240	383	17	36
Site 3	20	0.42	87	31	2 708	349	22	43
Site 4	5	0.19	62	57/92 ^(*)	4 729	214/549 ^(*)	28	57

^(*) José / Kent

Les mangues *José* (site 4) sont presque deux fois plus petites que les mangues *Cogshall* (sites 1 à 3). Pour la variété *Cogshall*, le calibre des fruits varie sensiblement entre les vergers. La charge en fruits moyenne d'un arbre est très variable et ne semble pas

dépendre de l'âge du verger. La durée de récolte varie peu entre les vergers des sites 1 à 3, constitués uniquement de la mangue *Cogshall* (Tableau 2 et Figure 9). Toutefois, la récolte sur le site 1, dans le Sud, est plus tardive que celles des sites 2 et 3, dans l'Ouest. Le site 4 étant composé de deux variétés, la mangue *José* et la mangue *Kent*, la durée de récolte sur ce site est plus étalée.

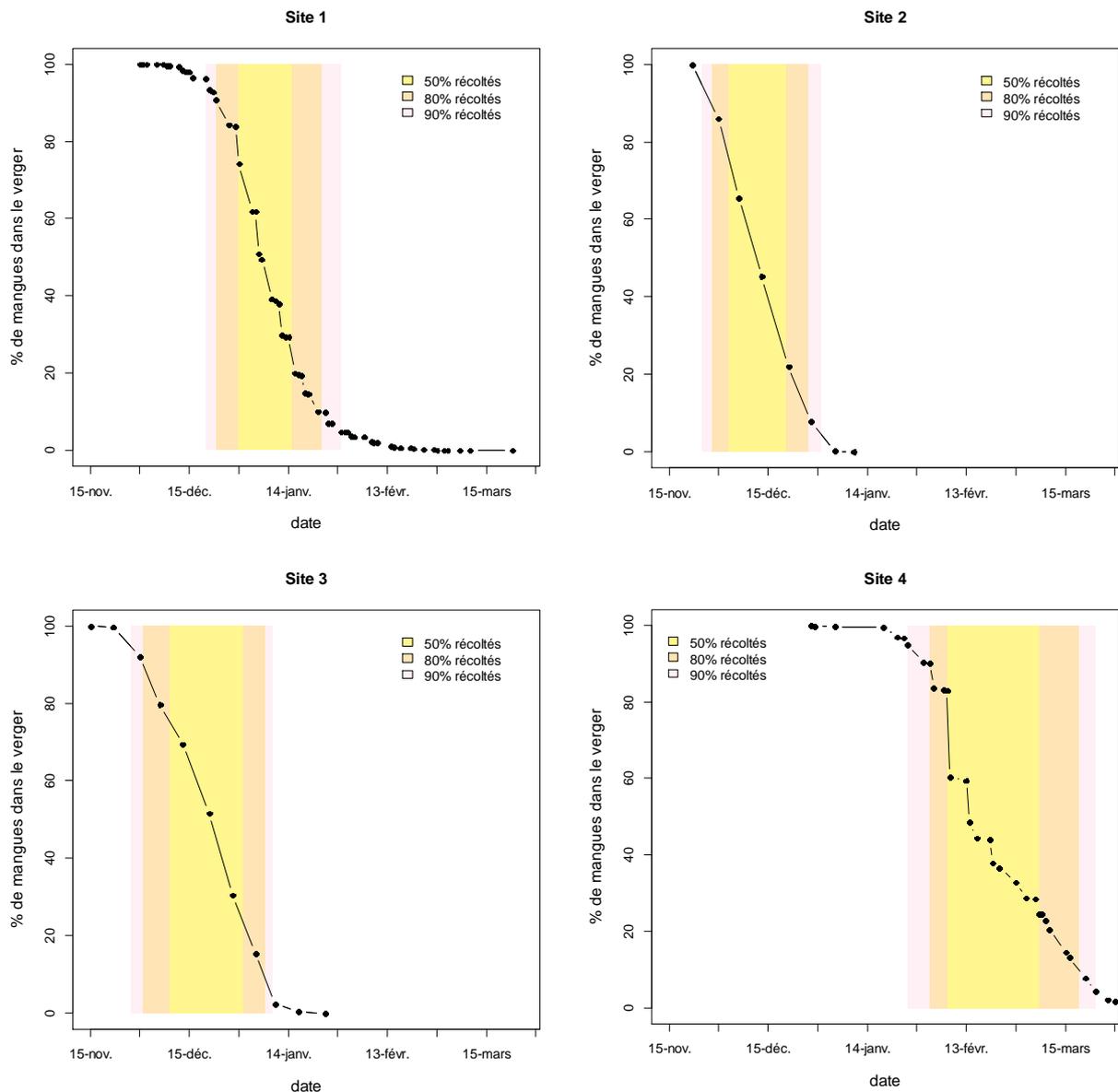


Figure 9. Dynamique d'abondance des fruits dans les vergers d'étude. Le pic (50% des fruits récoltés) et l'étalement (80% et 90% des fruits récoltés) de récolte sont représentés par des zones colorées.

En plus de l'effet « variété » et « site », d'autres caractéristiques propres à chaque verger ont pu influencer leur production tels que la dimension des arbres, les pratiques culturales (fertilisation, irrigation, enherbement, taille, éclaircissage) et les facteurs

biotiques (cécidomyie des fleurs, punaises). Ces facteurs n'ont toutefois pas été caractérisés dans les vergers.

3.2.2. Maturité des fruits dans les vergers

La dynamique de maturité des fruits n'est pas exactement la même sur les trois vergers de mangues *Cogshall* (Figure 10).

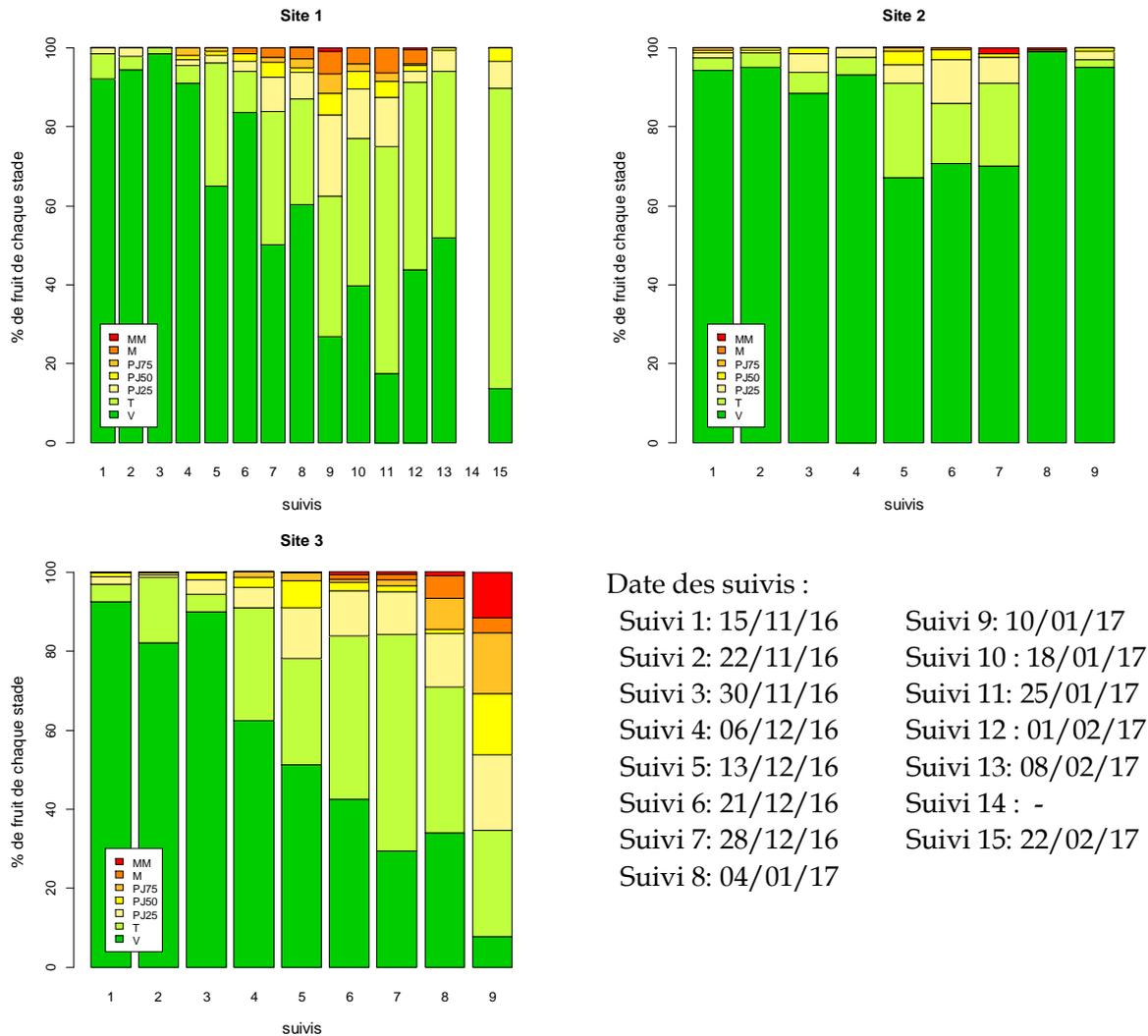


Figure 10. Dynamique de maturité des mangues sur les vergers des différents sites d'études.

Cette dynamique est dépendante du moment auquel les suivis hebdomadaires sont réalisés. En effet, le profil des arbres ne sera pas le même si le suivi est réalisé avant ou après le passage des producteurs (sites 2 et 3) et des techniciennes (site 1) puisqu'ils vont récolter tous les fruits ayant atteint un niveau de maturité fixé par leur stratégie de récolte. La fréquence des récoltes pourrait également impacter la dynamique de

maturité des fruits dans le verger. On peut s'attendre à ce qu'il y ait moins de fruits à des stades avancés de maturité quand les récoltes sont fréquentes. Sur le site 1, les récoltes avaient lieu deux fois par semaine et le suivi de maturité était généralement réalisé deux jours après la première récolte. Sur ce site, le profil de maturité des fruits dans le verger évolue au cours de la saison, avec beaucoup de mangues au stade *V* au début puis de plus en plus de mangues aux stades *T* et *PJ*. Sur les sites 2 et 3, les producteurs récoltaient les mangues quotidiennement, en général avant le suivi de maturité pour le site 2 et après ce suivi pour le site 3. Ceci explique que tout au long de la saison, les arbres du verger du site 2 sont constitués en grande majorité de mangues au stade *V* et que les mangues à des stades de maturité plus avancés sont très rares. Seuls peut-être les suivis n°5 à 7 ont été réalisés avant le passage du producteur, ce qui expliquerait qu'il y ait plus de mangues aux stades *T* et *PJ25* lors de ces suivis. Sur le site 3, le profil de maturité devient de plus en plus hétérogène au cours de la saison. Les mangues au stade *V* sont dominantes en début de saison laissant en partie place à des mangues de stades *T* et *PJ*. Lors du dernier suivi, les sept stades de maturité sont représentés. Il est possible qu'en toute fin de saison, le producteur ait espacé la fréquence des récoltes sur ce site. L'évolution de la répartition des stades de maturité au cours de la saison observée sur les sites 1 et 3 est certainement plus indicatrice du profil d'évolution de la maturité des fruits dans un verger de manguier au cours de la saison que celle observée sur le site 2.

Les stades de maturité des fruits récoltés par les producteurs et les techniciennes sont représentés sur la *Figure 11*.

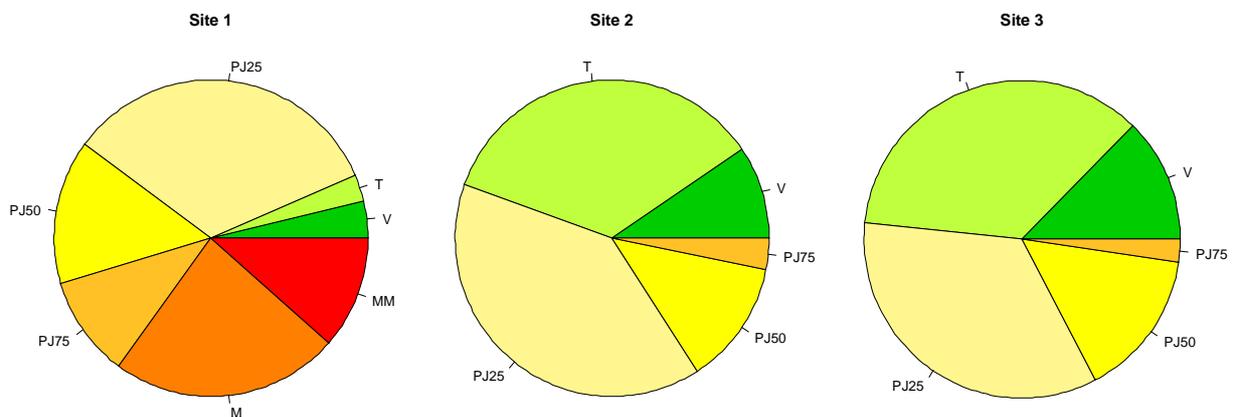


Figure 11. Stades de maturité des mangues Cogshall récoltées par les producteurs (sites 2 et 3 - 30/11/2016) et les techniciennes de station (site 1 - 12/01/2017).

Ces stades varient avec la fréquence et la stratégie de récolte des opérateurs. La stratégie de récolte des producteurs (sites 2 et 3) est la même : ils récoltent en majorité des mangues aux stades *T* et *PJ25*. Certaines mangues *PJ25* ont pu être oubliées lors d'une récolte, elles sont donc récoltées quelques jours après, atteignant ainsi le stade *PJ50* mais

rarement le stade *PJ75*. Certaines mangues sont également récoltées au stade *V*, ce stade pouvant facilement être confondu avec le stade *T*. A Bassin Plat (site 1), les récoltes étant moins fréquentes, les mangues sont récoltées à des stades de maturité plus avancés (*PJ25* à *MM*). Sur le site 1, les fruits ne sont pas récoltés à des fins commerciales mais de recherche : les vergers servent, entre autres, à évaluer l'effet de facteurs variétaux et techniques sur la productivité des manguiers. Les objectifs et les contraintes ne sont pas les mêmes que chez les producteurs ce qui explique une stratégie de récolte différente. Sur les sites 1 et 3, les stratégies de récolte sont relativement stables au cours de la saison (*Annexe 7*) : aux deux dates de récolte, la majorité des fruits sont récoltés aux stades *T* et *PJ25* sur le site 3, et du stade *PJ25* à *MM* sur le site 1. Sur le site 2, la majorité des fruits sont récoltés aux stades *T* et *PJ25* lors de la première récolte mais aussi aux stades *M* et *MM* lors de la seconde récolte (*Annexe 7*). Toutefois, les dernières récoltes sur les sites 1 et 2 ayant été faites alors qu'il restait moins de 4% des fruits dans le verger, et il n'est pas certain qu'elles reflètent une réelle stratégie de récolte.

3.3. Dynamique des mouches des fruits dans les vergers

A noter que les suivis de piégeage des mouches des fruits ont débuté dès le 15 novembre 2016. Toutefois, les deux premiers suivis n'ont pas pu être utilisés à cause d'un problème lié à l'attractif alimentaire utilisé. Le produit fourni en 2016 s'est avéré différent du produit utilisé en 2015, attirant en très grande quantité de grosses mouches n'appartenant pas à la famille des *Tephritidae*. Les mouches n'ont pas été identifiées formellement mais correspondaient probablement à la mouche bleue *Calliphora vomitoria*. Après une semaine, il n'y avait plus d'attractifs dans les pièges qui étaient remplis d'asticots et de mouches de ce type. Suite à ce problème, le comptage de ces grosses mouches a été fait à chaque suivi et le torula de 2015 a été utilisé à partir du 23 novembre 2016. Du 23 novembre 2016 au 06 avril 2017, 8 209 mouches des fruits ont été piégées sur l'ensemble des vergers. Sur cette même période, 3 253 grosses mouches ont également été piégées, représentant 28% de l'ensemble des mouches dénombrés. Dans les résultats présentés par la suite, seules les mouches des fruits sont considérées.

Parmi les mouches des fruits, les espèces dominantes au sein des quatre vergers pendant toute la période des suivis sont *C. rosa* et *B. zonata*, représentant à elles deux presque 80% des mouches piégées sur les vergers (*Figure 12*). *B. cucurbitae* et *C. capitata* ont également été retrouvées en quantité non négligeable dans les pièges, de l'ordre de 10% par espèce. Cependant, si on regarde la répartition uniquement sur la période de récolte, la proportion de *B. cucurbitae* diminue largement passant de 11.5% à seulement 2.7%. En dehors de la période de récolte, *B. cucurbitae* représente 21.4% des effectifs totaux (*Annexe 8A*). Les mouches des légumes *N. cyanescens* et *D. demmerezi* ont également été piégées mais en très faible quantité (<1%).

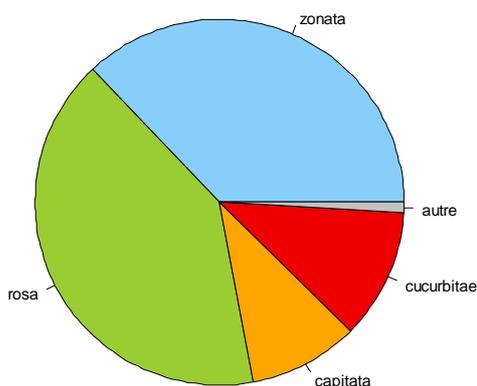


Figure 12. Répartition par espèce des mouches des fruits piégées sur l'ensemble des vergers

Les espèces les plus abondantes lors de la période de récolte (*C. rosa*, *B. zonata* et *C. capitata*) correspondent aux trois espèces nuisibles pour la mangue.

Le nombre de mouches des fruits piégées au cours de l'étude et leur répartition par espèces varient entre les vergers (Tableau 3 et Annexe 8B).

Tableau 3. Nombre total de mouches des fruits piégées par site et répartition par espèce

Site	Nb de mouches	Espèce (%)					
		<i>B. zonata</i>	<i>C. rosa</i>	<i>C. capitata</i>	<i>B. cucurbitae</i>	<i>N. cyanescens</i>	<i>D. demmerezi</i>
Site 1	1127	20.9	52.4	16.1	9.2	1.3	0.0
Site 2	2452	61.1	33.3	2.9	1.8	0.8	0.0
Site 3	4088	23.7	45.6	11.6	18.6	0.0	0.5
Site 4	542(*)	63.3	14.2	12.4	7.6	2.6	0.0

(*) durée de piégeage de 63 jours contre 133 jours pour les sites 1 à 3

Le nombre de mouches piégées est plus élevé sur les deux vergers de producteurs situés au Nord-Ouest, en particulier sur le site 3, que sur les deux autres vergers situés sur la station de Bassin Plat dans le Sud (sites 1 et 4). Sur le site 2, les mouches majoritairement piégées sont *B. zonata* suivi de *C. rosa*, tandis que les autres espèces de mouches des fruits sont très peu présentes (<2%). Ce n'est pas le cas sur le site 3 où l'espèce majoritairement piégée n'est pas *B. zonata* mais *C. rosa*, et où la proportion de *B. cucurbitae* et de *C. capitata* piégées n'est pas négligeable (respectivement 18.6% et 11.6%). Sur le site 1, la répartition des mouches est semblable à celle du site 3. Sur le site 4, l'espèce majoritairement piégée est *B. zonata*, comme sur le site 2. Par contre les autres mouches piégées sont réparties entre les espèces *C. rosa*, *C. capitata* et *B. cucurbitae* (7.6% à 14.2%).

Les dynamiques d'abondance des principales mouches des fruits piégées au cours de la période de suivi sur chacun des trois sites d'étude sont représentées sur la Figure 13. Comme précédemment indiqué, *B. cucurbitae* est essentiellement piégée en dehors de la période de récolte. Pour *B. zonata* et *C. rosa*, le pic d'abondance des mouches coïncide

avec le pic de récolte des mangues. Toutefois, les populations de ces deux espèces de mouches peuvent se maintenir à des niveaux d'abondance élevés après cette période de récolte (cf *B. zonata* sur le site 2 et *C. rosa* sur le site 3 par exemple). Pour *C. capitata*, très peu abondantes dans les pièges, il n'y a pas de tendance qui semble se dégager.

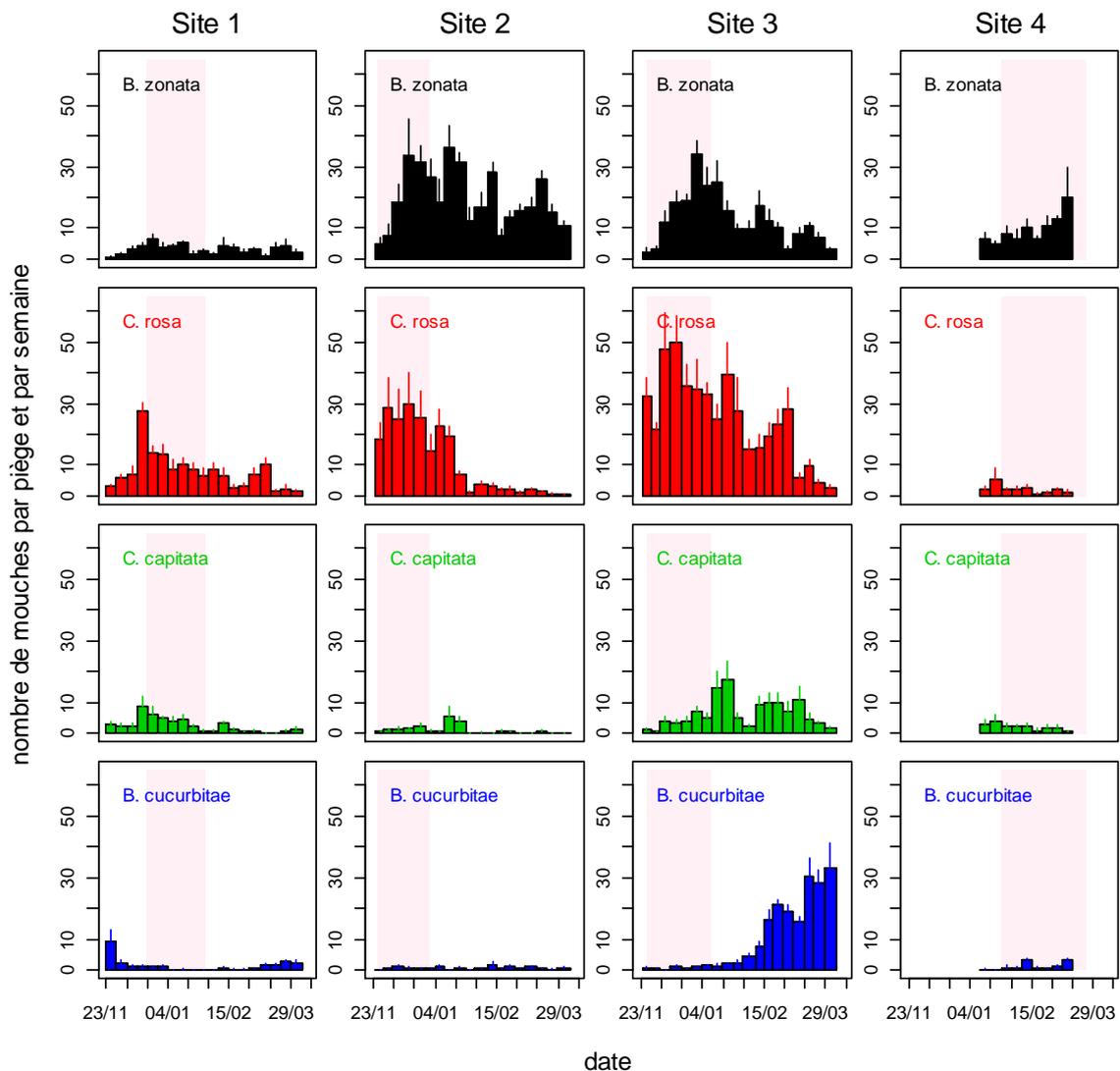


Figure 13. Dynamique d'abondance des principales mouches des fruits et des légumes piégées au cours de la période de suivi sur chacun des trois sites d'étude. La zone rosée représente la période pendant laquelle 90% des fruits ont été récoltés.

Tous sites et espèces confondus, 58.6% des mouches des fruits piégées sont des femelles. Ce pourcentage varie suivant les sites et les espèces de mouches (Annexe 8C).

3.4. Infestation des fruits et lien avec leur maturité

3.4.1. Infestation des fruits dans les vergers

Les mangues *Cogshall* ont été infestées uniquement par *B. zonata* alors que les mangues *José* ont été infestées à la fois par *B. zonata* et *C. rosa* (*C. rosa* représente 32.8% des mouches qui ont émergé des fruits), bien que la proportion de *C. rosa* (vs. *B. zonata*) dans les pièges soit plus faible sur le site 4 que sur les trois autres sites avec la mangue *Cogshall* (Tableau 3). De façon globale, le taux d'infestation des mangues *Cogshall* est de 7%, variant de 3.3% sur le site 1 à 10% sur le site 3. Celui des mangues *José* est de 18.9%. Le taux d'infestation des mangues *José* est supérieur à celui des mangues *Cogshall* même si moins de mouches soient piégées sur le site 4 que sur les autres sites. Les mangues *José* semblent donc être plus sensibles aux mouches des fruits que les mangues *Cogshall* et semblent être davantage attaquées par *C. rosa* que les mangues *Cogshall*. Si on s'intéresse maintenant uniquement aux vergers de mangues *Cogshall*, on remarque que le taux d'infestation varie selon le verger et la date de récolte (Tableau 4). Le verger du site 1 semble être le verger le moins infesté. De façon générale, les vergers des sites 2 et 3 sont plus infestés, mais tandis qu'à la récolte 2 c'est le verger du site 3 qui a le taux d'infestation le plus élevé c'est celui du site 2 qui a le taux d'infestation le plus élevé à la récolte 3, atteignant 20% dans les deux cas.

Tableau 4. Taux d'infestation (en %) des mangues *Cogshall* et *José* par les mouches des fruits (*spp*) sur les différents sites d'étude, par récolte et globalement.

	Récolte 1	Récolte 2	Récolte 3	Global
Site 1	3.3	0	6.7	3.3
Site 2	0	3.3	20.0	7.8
Site 3	3.3	20.0	6.7	10.0
Cogshall	2.2	7.8	11.1	7.0
José (site 4)	3.3	30.0	23.3	18.9

Concernant le taux de survie des pupes (Tableau 5), il est assez élevé pour les vergers des sites 2 et 3, supérieur à 70% excepté pour la récolte 1 du verger du site 3. Il est plus faible pour le verger du site 1, en particulier pour la récolte 3. Il serait intéressant de faire augmenter le taux de survie afin de confirmer ou infirmer l'hypothèse selon laquelle la mouche *B. zonata* a été la seule mouche à avoir piqué les mangues *Cogshall*.

Tableau 5. Taux de survie (en %) des pupes de mouches des fruits (*spp*) issues des mangues *Cogshall* et *José* sur les différents sites d'étude, par récolte et globalement.

	Récolte 1	Récolte 2	Récolte 3	Global
Site 1	100	-	27.0	57.1
Site 2	-	86.4	71.8	78.2
Site 3	0	77.8	97.6	77.0
Cogshall	65.0	80.5	69.6	76.0
José (site 4)	85.7	32.5	69.7	48.0

Pour une même variété de mangue, il serait intéressant de voir si le taux d'infestation est plus élevé lorsque la densité de mouches dans le verger (en nombre d'individus par m² par exemple) est plus importante. Si on fait l'hypothèse que cette densité est proportionnelle au nombre de mouches piégées, il est possible de comparer les vergers de mangues *Cogshall* entre eux. Durant toute la période de piégeage des mouches des fruits, le nombre de mouches *B. zonata* piégées a été le plus faible sur le verger du site 1 avec une valeur de 0.44 mouches par piège et par jour en moyenne, comparé à 2.8 et 1.8 pour les sites 2 et 3 respectivement. Ce résultat est en partie cohérent avec le résultat obtenu précédemment. En effet, si on compare le site 1 aux sites 2 et 3, le taux d'infestation est plus élevé sur les sites 2 et 3 qui ont des densités de population des mouches des fruits beaucoup plus importantes que sur le site 1. Par contre, bien que la densité de mouches soit plus importante sur le site 2, c'est le site 3 qui a un taux d'infestation plus élevé. Les différences entre ces deux sites sont toutefois moins marquées que celles avec le site 1.

3.4.2. Infestation des fruits en verger : relation avec le stade visuel de maturité, la fluorescence, la fermeté et la dureté

Les suivis d'infestation en verger des mangues *Cogshall* et *José* (Figures 14A, 15A) montrent que, de manière générale, plus la mangue est mûre, plus elle a de risque d'être infestée par les mouches des fruits (*Cogshall* : p-value < 0.05 ; *José* : p-value = 0.16 ; Test Exact de Fisher). Quand les fruits sont regroupés en seulement trois stades de maturités (Figures 14B, 15B), cette tendance est plus marquée (*Cogshall* : p-value = 0.08 ; *José* : p-value = 0.09 ; Test Exact de Fisher).

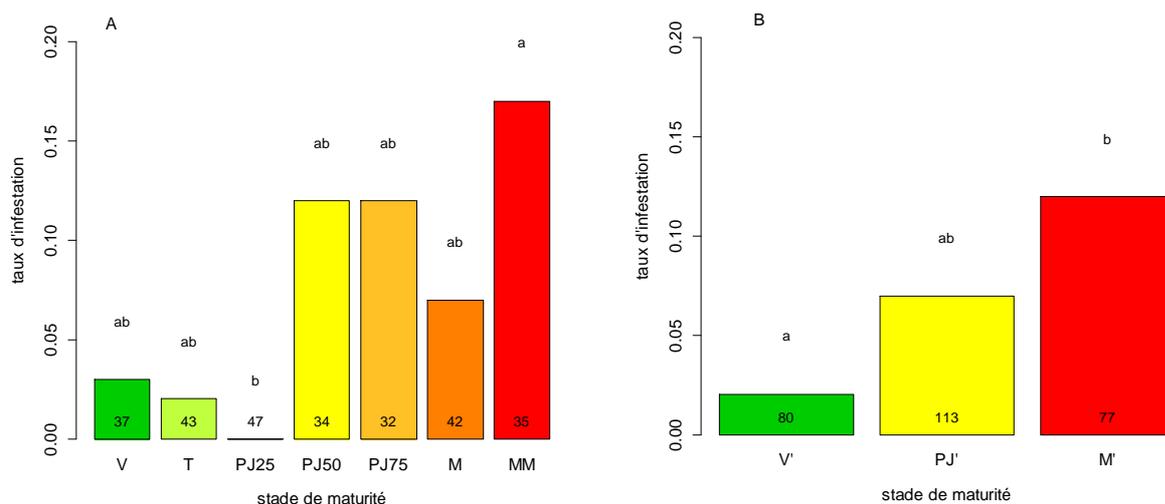


Figure 14. Taux d'infestation des mangues *Cogshall* récoltées en verger (sites 1, 2 et 3) en fonction de leur stade de maturité. Relation pour les 7 stades de maturités (A) et les 7 stades de maturité regroupés en 3 stades (B) : V' (V et T), PJ' (PJ25, PJ50 et PJ75) et M' (M et MM). Le nombre de

fruits échantillonnés par stade est indiqué. Les groupes avec la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 10% (test de comparaison deux à deux : Test Exact de Fisher avec correction de Bonferroni).

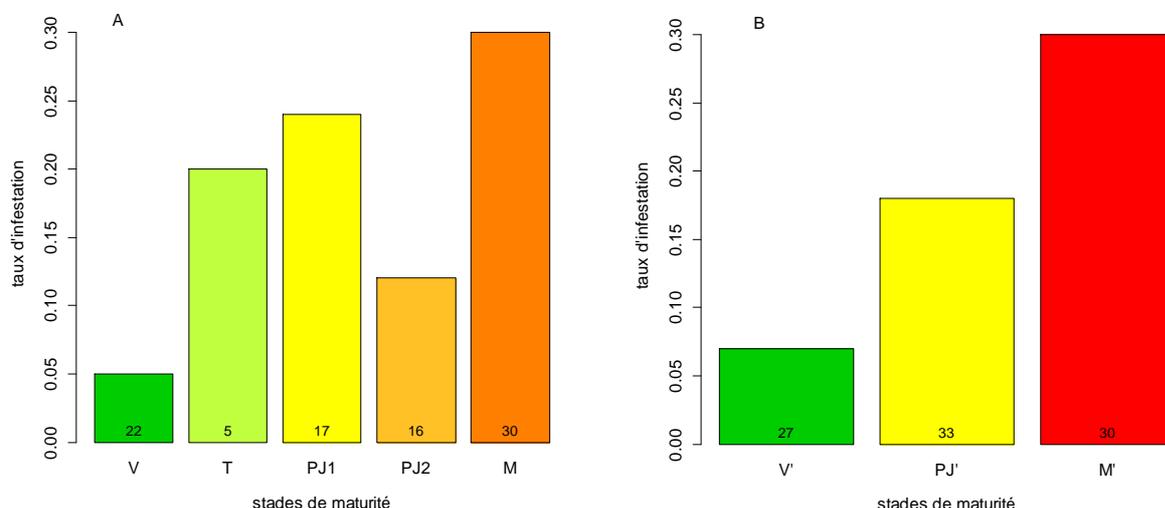
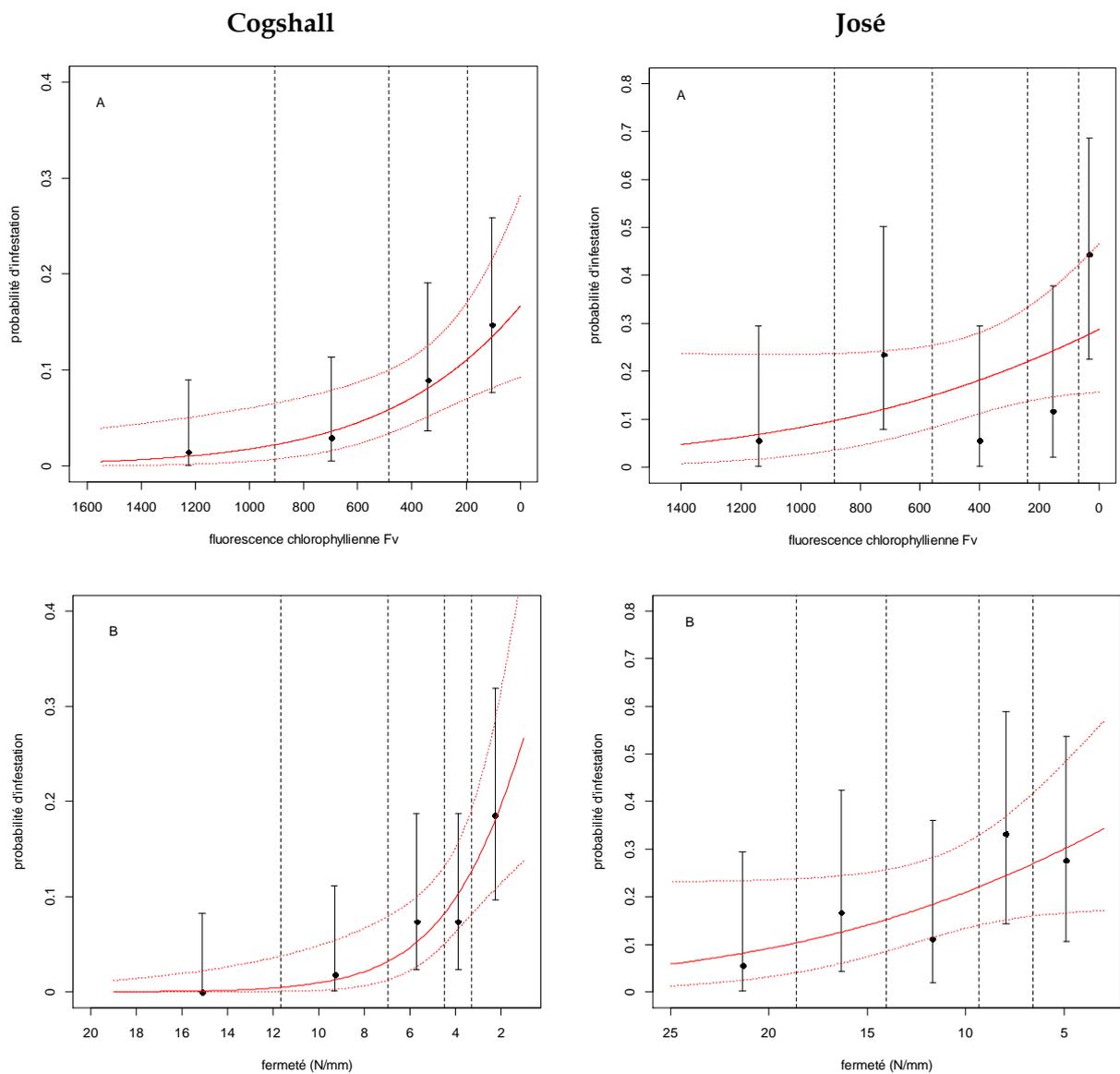


Figure 15. Taux d'infestation des mangues José récoltées en verger (site 4) en fonction de leur stade de maturité. Relation pour les 6 stades de maturités (A) et les 6 stades de maturité regroupés en 3 stades (B) : V' (V et T), PJ' (PJ1 et PJ2) et M' (M et MM). Le nombre de fruits échantillonnés par stade est indiqué.

Concernant la mangue *Cogshall* (Figure 14), le taux d'infestation est le plus élevé pour les mangues sur-matures MM, atteignant 17%. Il est relativement bas pour les mangues mûres M (7%) et intermédiaire pour les mangues aux stades point jaune PJ50 et PJ75 (12%). Aucun fruit au stade point jaune PJ25 n'a été infesté et les mangues vertes V ou tournantes T ont été piquées à de très faibles taux (respectivement 3% et 2%). Les taux d'infestation des mangues *Cogshall* en fonction de leur stade de maturité pour chacun des trois sites 1, 2 et 3 sont présentés en Annexe 9. Pour la mangue José (Figure 15), les fruits tendent à être infestés à des stades de maturité plus précoces que pour la mangue *Cogshall*. Le taux d'infestation est le plus élevé pour les mangues mures M (30%) et le moins élevé pour les mangues vertes V (5%). Par contre les mangues ont des taux d'infestation relativement élevés dès le stade T (20%), du même ordre de grandeur que ceux observés sur les mangues aux stades point-jaune PJ1 et PJ2 (respectivement 24% et 12%).

Pour les mangues *Cogshall*, les valeurs de fluorescence, de fermeté et de dureté des fruits infestés, en fonction de leur stade de maturité, sont comparées à celles de l'ensemble des fruits, sains et infestés, en Annexe 10. Les relations entre la probabilité d'infestation des mangues et les trois indicateurs quantitatifs de maturité du fruit sont par ailleurs représentées sur la Figure 16 pour les mangues *Cogshall* et José. La probabilité d'infestation des mangues *Cogshall* augmente significativement à mesure que la

fluorescence chlorophyllienne ($\chi^2 = 11.0$, $df=1$, $p\text{-value} < 0.001$; *Figure 16A*), la fermeté ($\chi^2 = 19.4$, $df=1$, $p\text{-value} < 0.001$; *Figure 16B*) et la dureté ($\chi^2 = 6.03$, $df=1$, $p\text{-value} < 0.05$; *Figure 16C*) du fruit diminuent. Les mêmes tendances sont observées pour la mangue *José* avec la fluorescence chlorophyllienne ($\chi^2 = 3.82$, $df=1$, $p\text{-value} = 0.05$; *Figure 16A*) et la fermeté ($\chi^2 = 3.86$, $df=1$, $p\text{-value} < 0.05$; *Figure 16B*) du fruit, mais pas avec la dureté du fruit ($\chi^2 = 1.14$, $df=1$, $p\text{-value} = 0.29$; *Figure 16C*). Toutefois, l'échantillon étant beaucoup plus petit pour la mangue *José*, il serait nécessaire d'échantillonner davantage de fruits pour confirmer ces tendances.



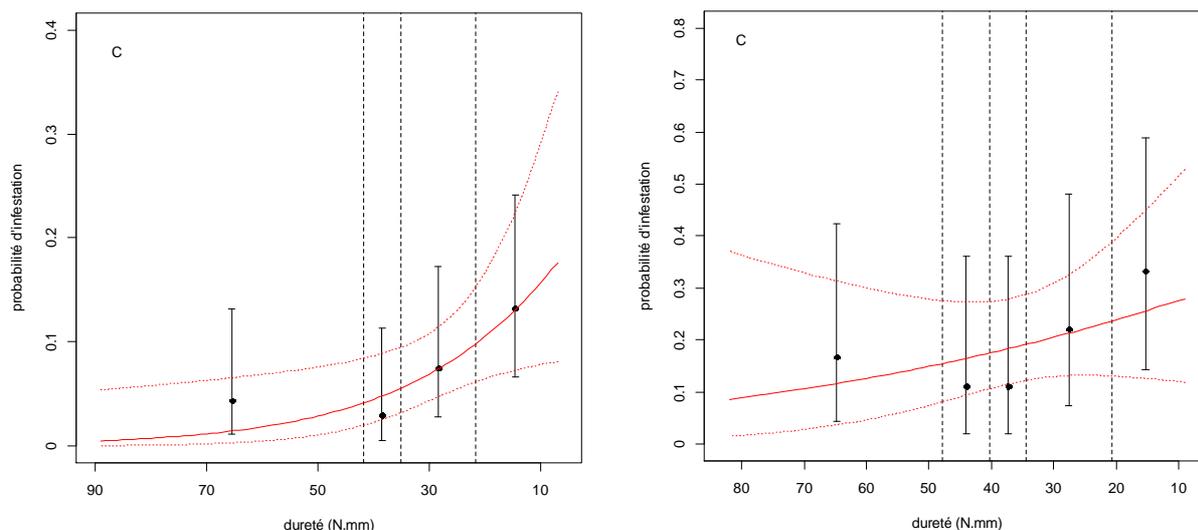


Figure 16. Prédiction et IC à 95% de la probabilité d'infestation d'une mangue Cogshall et José récoltée en verger en fonction de sa fluorescence (A), de sa fermeté (B) et de sa dureté (C). Points et segments : observations (valeurs moyennes de la variable et IC à 95% des probabilités d'infestation observées dans chaque classe de valeurs délimitée par les traits en pointillé). Traits rouges : valeurs moyennes et IC à 95% des probabilités d'infestation prédites par le GLM.

3.4.3. Infestation des fruits en laboratoire : relation avec le stade visuel de maturité

La répartition des stades de maturité des mangues échantillonnées pour les tests en cage n'était pas la même en début et en fin de test. Cette répartition était homogène en début de test (1/3 des fruits au stade V' , 1/3 au stade PJ' et 1/3 au stade M') mais après 24h d'infestation, les stades de maturité des mangues ont légèrement évolué (*Annexe 11*). Les mangues qui étaient vertes ou tournantes (V') avant la mise en cage sont restées vertes ou tournantes. Par contre, cinq mangues qui étaient au stade point-jaune (PJ') en début de test sont devenues mûres (M') après 24h de mise en cage. Les stades de maturité considérés par la suite correspondent aux stades initiaux, caractérisés en début de test.

Le taux de survie des mouches des fruits dans les cages était supérieur à 90% sur l'ensemble des tests sauf sur le test n°2 où il était de seulement 66.7% (*Tableau 6*).

Sur l'ensemble des tests, le taux d'infestation des mangues a été de 9.5% (*Tableau 6*), et 25.7% des cages avaient au moins une mangue infestée. Un seul fruit a été infesté par cage, excepté lors du test n°3, au cours duquel deux mangues, une verte et une mûre, ont été piquées dans la cage n°3. Les résultats obtenus grâce à ces tests permettent de confirmer que les mangues mûres à sur-matures (M') sont plus infestées que les mangues vertes (V) mais aussi que les mangues au stade point-jaune (PJ'): le taux d'infestation pour ces trois stades est respectivement de 22.9%, 5.7% et 0% (*Figure 17*).

Tableau 6. Taux d'infestation des mangues par les mouches *B. zonata* et taux de survie des mouches après 24h de mise en cage

Test	Taux d'infestation (%)	Taux de survie (%)
1	19.0	95.2
2	4.8	66.7
3	19.0	95.2
4	0	100
5	4.8	95.2
GLOBAL	9.5	90.5

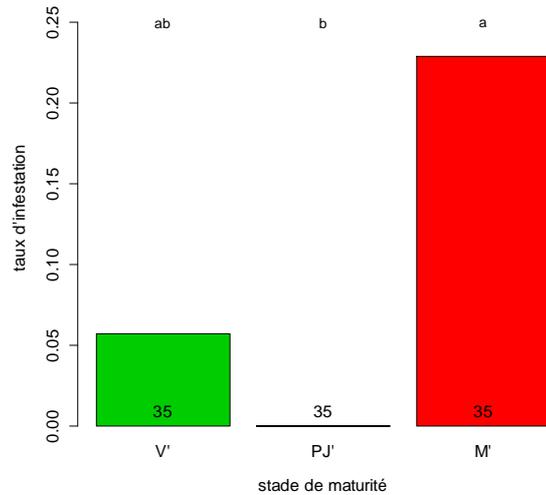


Figure 17. Taux d'infestation des mangues Cogshall, après 24h en cage, en fonction de leur stade de maturité. Le nombre de fruits échantillonnés par stade est indiqué. Les groupes avec la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5% (test de comparaison deux à deux : Test Exact de Fisher avec correction de Bonferroni).

4. Conclusion

Les résultats obtenus lors du stage, sur la période de novembre 2016 à avril 2017, permettent de confirmer ceux de l'année précédente (Caillat, 2016) concernant l'influence de l'état de maturité des mangues sur leur niveau d'infestation. En effet, d'une manière générale, le taux d'infestation augmente avec la maturité du fruit. Suite aux résultats obtenus, la stratégie de récolte pour minimiser ce taux d'infestation pourrait être, d'une part, de cueillir les fruits aux stades V à PJ25 et d'autre part, de récolter tous les jours pour éviter de laisser dans le verger des fruits qui pourraient atteindre des stades de maturité sensibles aux mouches des fruits. Les mangues récoltées vertes ayant une moins bonne qualité gustative, elles sont toutefois peu récoltées. Celles récoltées au stade T ont le potentiel d'une mangue cueillie mûre en termes de qualité (Vincenot et Normand, 2009), mais ce stade est très difficile à identifier visuellement par le cueilleur et peut être confondu avec le stade V. Par ailleurs, selon un des producteurs, quand le fruit est vendu 24 à 48h après la récolte, il n'aurait pas systématiquement le temps de se colorer avant la mise en marché et serait moins attractif. Le consommateur, soucieux de l'aspect du fruit, exige souvent d'avoir un fruit où la coloration jaune apparaît. L'apparition du "point jaune" indique l'approche de la maturité et garantit une qualité optimale du fruit (Vincenot et Normand, 2009). Finalement, en récoltant les fruits au stade PJ25, le producteur s'assure de n'avoir que 5% de mangues infestées (résultat obtenu en combinant les résultats des périodes 2015-2016 et 2016-2017) sans impacter sur la qualité organoleptique du fruit.

Cette année, les mangues *Cogshall* des trois vergers suivis semblent avoir été infestées uniquement par *B. zonata* bien que les trois espèces de mouches des fruits nuisibles du manguier (*B. zonata*, *C. rosa* et *C. capitata*) soient présentes dans les vergers. La conclusion selon laquelle une seule espèce de mouches des fruits infeste les mangues est toutefois à discuter. Ce phénomène inattendu pourrait s'expliquer par plusieurs raisons. Tout d'abord, les conditions de stockage des mangues en sachet n'étaient peut-être pas optimales pour le développement des deux autres mouches, *C. rosa* et *C. capitata*. Cette raison n'est pas valable puisque les conditions étaient les mêmes que l'année précédente au cours de laquelle 15.4% et 5.3% des mouches ayant infesté les mangues étaient *C. rosa* et *C. capitata*, respectivement. Les mouches des fruits *C. rosa* et *C. capitata* pourraient être capturées en plus grand nombre que *B. zonata* par d'autres pièges installés par les producteurs sur le verger, rendant ainsi le risque d'infestation des mangues par ces deux espèces plus faible. Toutefois, aucun piège n'a été mis en place sur le site 1, et uniquement des bouteilles engluées ont été utilisées sur le site 2, rendant cette explication peut vraisemblable. Enfin, une potentielle dominance de la part de *B. zonata* pourrait être à l'origine de cette exclusivité d'infestation par cette même espèce. Introduite en dernière sur l'île, *B. zonata* est connue pour être plus compétitive. L'arrivée prévue de *Bactrocera dorsalis*, autre espèce connue pour être très compétitive, pourrait modifier considérablement cette tendance.

Différentes limitations sont apparues dans cette étude. Il serait intéressant de développer des solutions pour les minimiser afin d'améliorer la compréhension du risque d'infestation des mangues par les mouches des fruits.

- Premièrement, les trois méthodes utilisées pour déterminer l'état de maturité des fruits semblent fournir de bons indicateurs de maturité d'après les résultats obtenus. Toutefois, pour chaque méthode, il existe une erreur de mesure potentielle qu'il faut chercher à diminuer. Concernant l'évaluation visuelle du stade de maturité, c'est une méthode subjective qui dépend de l'appréciation de l'observateur, surtout quand le fruit est en phase de transition entre deux stades ou qu'il présente une coloration atypique. Les autres outils d'évaluation de la maturité dépendent beaucoup de l'endroit où est faite la mesure. Pour mesurer la fluorescence, le cache est posé systématiquement au niveau de l'apex, qui est la zone du fruit où la coloration jaune du fruit apparaît généralement en premier. Toutefois, la couleur jaune qui influence la mesure n'est pas toujours répartie de façon homogène au niveau de l'apex. Pour les fruits au stade *PJ25*, la position du cache peut alors influencer énormément la mesure. Une règle pourrait être imposée comme par exemple de disposer le cache sur la partie la plus mûre du fruit. De plus, les parties avec une coloration rouge ou violette, dues à l'exposition directe du fruit au soleil, doivent être évitées. Par convention, il a été convenu positionner le cache sur la face du fruit non exposée au soleil. Pour la fermeté et la dureté des fruits, deux mesures

par fruit ont été faites, une sur chacune des deux joues du fruit, afin de réduire la variabilité liées à la position de la mesure.

- Deuxièmement, des points d'amélioration au niveau de chaque suivi sont à relever. Les arbres utilisés pour caractériser la dynamique d'abondance des fruits dans les vergers des producteurs ont été choisis au hasard, et il est difficile de s'assurer que l'échantillon est bien représentatif du verger dans sa totalité. Concernant la dynamique de maturité des fruits, ce suivi était fortement dépendant de l'heure à laquelle il était effectué puisque le passage des agriculteurs pour la récolte modifiait considérablement le profil de maturité des fruits dans les vergers. De manière générale, le suivi avait lieu après le passage des agriculteurs sur le site 2, alors qu'il avait lieu avant leur passage sur le site 3. Concernant la dynamique des mouches des fruits, la répartition des pièges dans les vergers est à repenser puisque les zones d'attractivité de certains pièges pouvaient en partie se superposer.
- Troisièmement, bien que la tendance selon laquelle le taux d'infestation des mangues augmente avec leur maturité a été démontrée, une certaine variabilité de cette réponse amène à réfléchir sur les potentielles causes de cette variabilité. La position de chaque fruit récolté n'a pas été repérée. Or le risque d'infestation pourrait varier en fonction de cette position du fruit au niveau de l'arbre (exposition ou pas à la lumière, charge en fruits de l'arbre) et du verger (effet bordure, charge des arbres environnants). Certaines caractéristiques du fruit (composition biochimique, calibre, épaisseur de cuticule, profil aromatique, etc.), qui varient entre les variétés, pourraient également influencer l'infestation du fruit par les mouches des fruits puisqu'une différence entre les mangues *José* et *Cogshall* existe. Au sein d'une même variété, certaines caractéristiques du fruit peuvent aussi dépendre des conditions de croissance du fruit, entre autre de son exposition à la lumière.
- Quatrièmement, les résultats obtenus suite aux tests réalisés en laboratoire avec les mouches d'élevage sont aussi à discuter. En effet, les conditions d'élevage de *B. zonata* et de tests n'ont pas toujours été optimales puisque des variations au niveau du taux d'humidité ainsi que de la photopériode ont été repérées. Lors de la mise en sachet, le taux d'humidité a par exemple atteint 95% alors qu'il aurait dû rester à 70%. Ces déviations des conditions optimales ont pu ainsi modifier le comportement des mouches et altérer les résultats des tests. De plus, le nombre de six mouches par cage est également à discuter. Du fait de la variabilité qui existe entre les individus, un nombre important de mouches permet de réduire cette source de variabilité. Par contre il peut alors exister un risque de compétitivité réel entre les individus, rendant les résultats biaisés et difficile à interpréter. Le choix de six mouches pour trois fruits est un compromis entre ces deux contraintes mais il ne s'appuie pas sur des quantifications précises de ces deux effets et reste donc discutable.

Des analyses statistiques complémentaires seraient intéressantes à faire afin d'atteindre l'ensemble des objectifs de l'étude, et notamment pour mieux caractériser les liens éventuels entre les dynamiques d'abondance des mouches des fruits et les dynamiques d'abondance et de maturation des fruits dans les vergers d'une part, et entre l'abondance relative de *B. zonata* dans les vergers et le niveau d'infestation des mangues d'autre part. De plus, les facteurs biotiques et abiotiques dans les vergers pourraient être pris en compte dans chaque analyse.

Des restitutions des résultats de l'étude auprès de chacun des deux agriculteurs des sites 2 et 3 ont été faites à la fin de la période de stage. Elles ont permis de discuter sur certains aspects de leur production et des obstacles auxquels ils doivent faire face. Ces obstacles ne semblent pas être exactement les mêmes bien qu'ils travaillent tous les deux sur la mangue *Cogshall*. Les mouches des fruits ne sont pas considérées comme un problème pour l'agriculteur du site 2 alors que pour celui du site 3, c'est le facteur le plus problématique pour sa production car, à l'heure d'aujourd'hui, il ne trouve pas de solution pour lutter efficacement contre ce ravageur. Le producteur du site 3 affirme que de nombreux produits phytosanitaires sont maintenant interdits en France et qu'il n'existe pas de produits homologués pour la mangue, et qu'à cela s'ajoute le fait que les particuliers, nombreux à posséder des manguiers ou autres fruitiers, ne peuvent pas se fournir en pièges et ne luttent pas systématiquement contre les mouches des fruits qui peuvent alors se maintenir et se multiplier sur ces arbres. Selon lui, tout cela n'aide pas à lutter efficacement contre ce ravageur qui se répand de mieux en mieux. Cet agriculteur, qui est toutefois favorable à la réduction des pesticides, reste très ouvert et se propose de mettre en place de nouvelles techniques pour lutter contre les mouches des fruits, telles que l'enherbement et l'implantation de bandes fleuries spécifiques qui permettraient de favoriser la biodiversité et les populations d'auxiliaires, et donc de réguler naturellement les ravageurs. De plus, cet agriculteur est à la recherche de molécules chimiques naturelles, provenant des plantes par exemple, répulsives des mouches des fruits. Bien que la lutte contre les mouches des fruits soit difficile, les deux agriculteurs sont d'accord sur le fait que les pertes liées aux facteurs abiotiques tels que le vent, les cyclones et le froid sont beaucoup plus importantes que celles liées aux mouches des fruits. Plus la variété est précoce, plus l'agriculteur aura de chance de récolter ses fruits avant l'arrivée des cyclones. Le choix de la variété est donc un compromis entre ses performances agronomiques, des exigences du marché et des consommateurs et sa période de récolte. Enfin, les deux agriculteurs reconnaissent que le ramassage des fruits tombés par terre est également un levier pour faire baisser le taux d'infestation des mangues par les mouches des fruits qu'ils estiment à moins de 5%, valeur relativement en accord avec nos résultats.

Références bibliographiques

Caillat A., 2016. Evaluation du niveau d'infestation des mangues par les mouches des fruits en fonction de leur état de maturité. Bordeaux, France : Bordeaux Sciences Agro, 32p. Stage de S8/césure.

Baldy S., 2014. Préférence des femelles chez une communauté de mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) vis-à-vis de la gamme de fruits-hôtes présente à la Réunion. Sciences agricoles. <dumas-01086831>

DAAF Réunion. <http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/Fruits-et-legumes>

DAAF Réunion, 2009. Données agricoles et rurales. Agreste Réunion n°45, 2p.

DAAF Réunion, 2016. Présentation générale de l'agriculture à la Réunion, 8p. http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/GAR-2012-LaReunion-MaquetteInternet_cle0ae949.pdf

Etienne J., 1972. Les principales Tephritidae de l'île de la Réunion. Annales de la Société Entomologique de France : 8 (2), 485-491.

Lechaudel M., Urban L., Joas J., 2010. Chlorophyll fluorescence, a non-destructive method to assess maturity of mango fruits (Cv. Cogshall) without growth conditions bias. Journal of Agricultural and Food Chemistry : 58 (13), 7532-7538.

Normand F., Léchaudel M., 2008. Améliorer la production et la qualité de la mangue. Cirad, 2p.

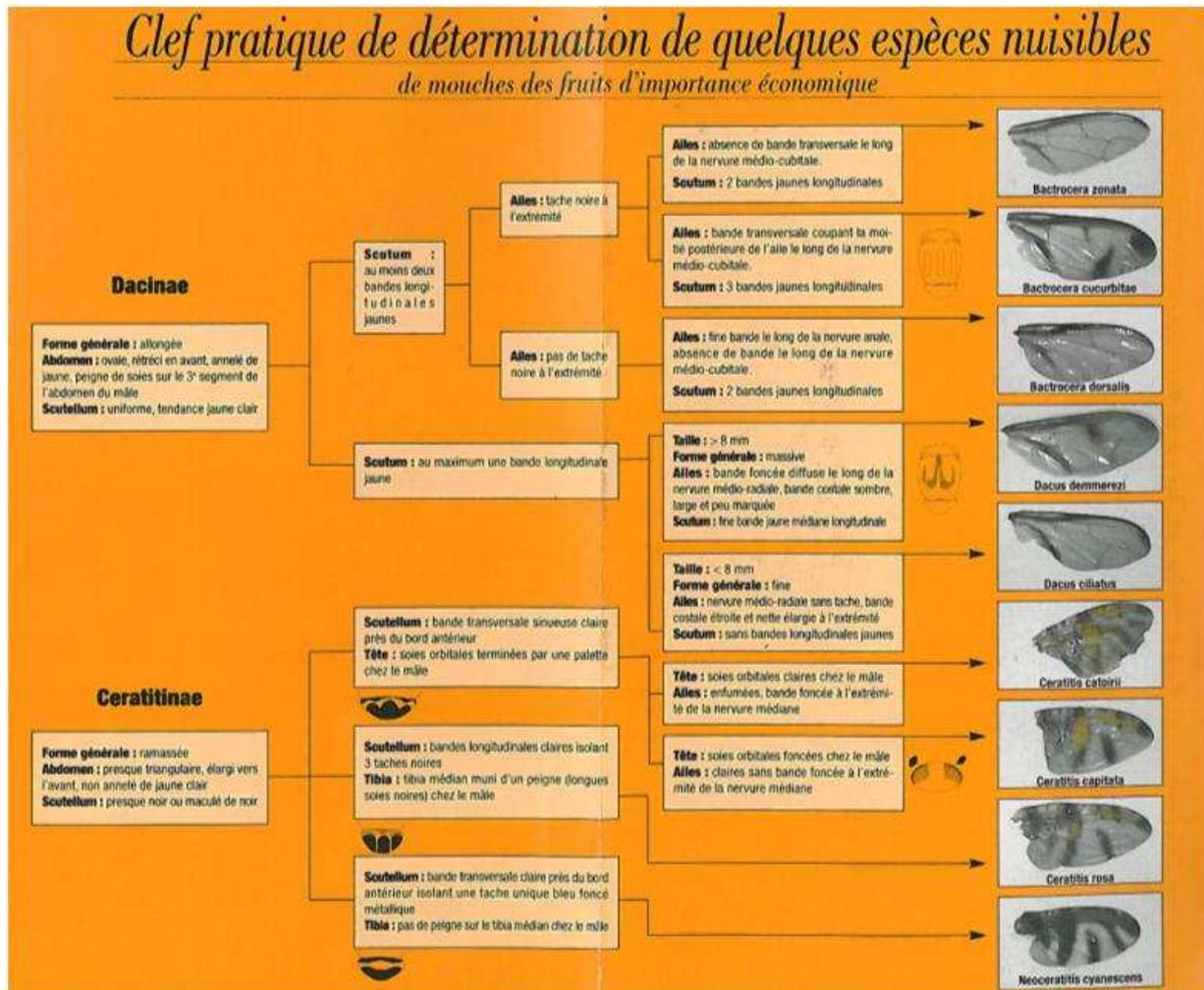
Sirisomboon P., Tanaka M., Kojima T., 2012. Evaluation of tomato textural mechanical properties. Journal of Food Engineering : 111, 618-624.

Vincenot D., F. Normand (Ed), 2009. Guide de production intégrée de mangues à la Réunion. Armefflor - Cirad - Chambre d'agriculture de la Réunion.

Watson L., Dallwitz M.J., 1992. The Families of Flowering Plants : Descriptions, Illustrations, Identifications and Information Retrieval. <http://delta-intkey.com> (version du 09/09/2009).

Annexes

Annexe 1. Clé de détermination des mouches des fruits et des légumes présentes à la Réunion.



Source : Quilici et Jeuffraut, 2001

Annexe 2. Gamme de maturité des mangues Cogshall et José

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

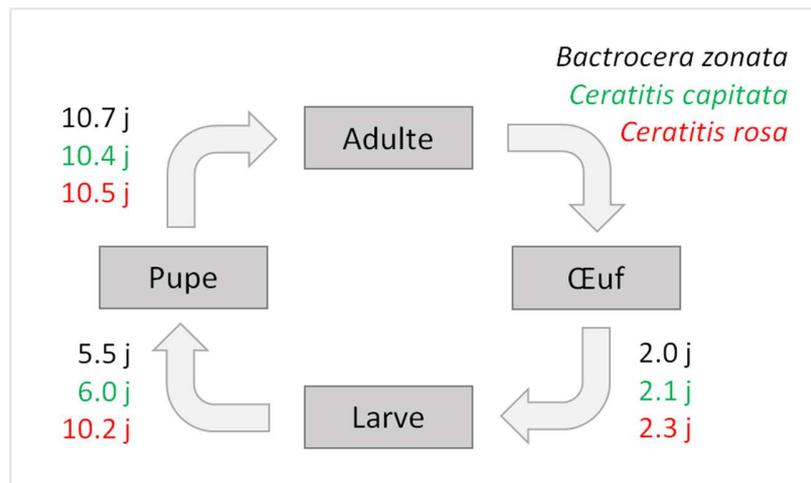
Annexe 3. Durée de développement des trois espèces de mouches des fruits nuisibles pour le manguier à la Réunion

Valeurs théoriques obtenues à 25°C sur milieu artificiel (Duyck et al., 2004)

A. Durée de développement (en jours)

	Emergence
<i>B. zonata</i>	18.3 j
<i>C. capitata</i>	18.5 j
<i>C. rosa</i>	23.0 j

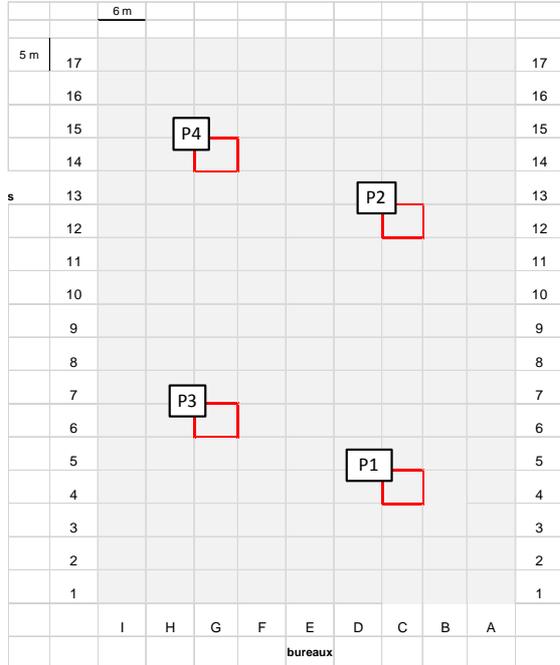
B. Cycle de développement détaillé



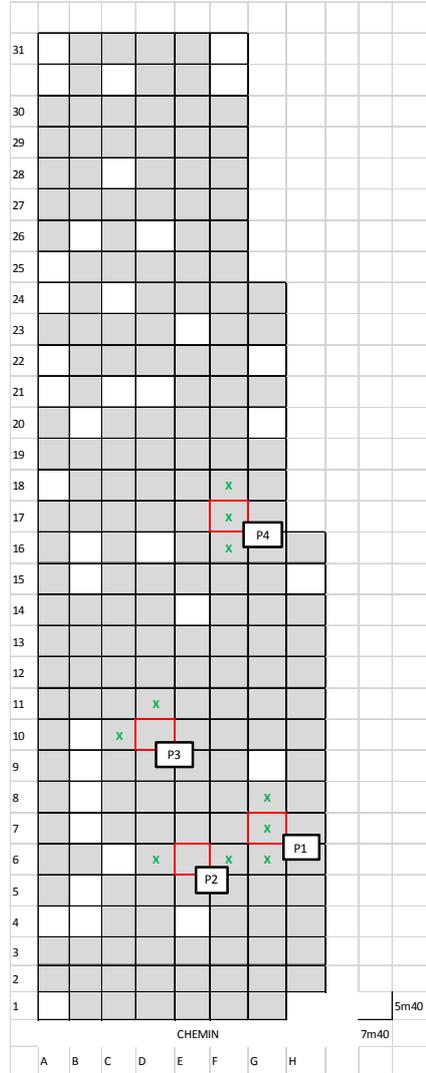
Duyck P.F., Sterlin J.F., Quilici S., 2004. Survival and development of different life stages of *Bactrocera zonata* (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures compared to other fruit fly species. Bulletin of Entomological Research 94, 89-93.

Annexe 4. Schémas des parcelles sur les sites 1 à 4

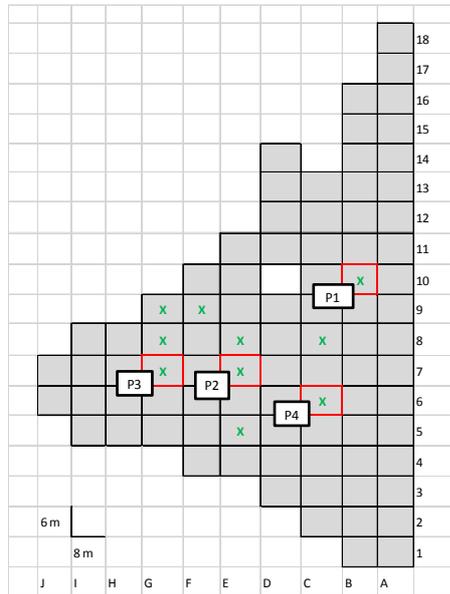
Site 1



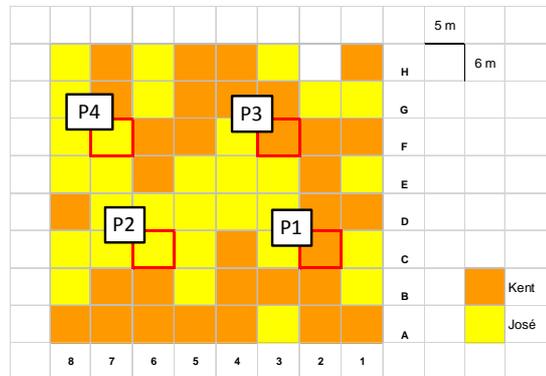
Site 2



Site 3



Site 4



piège à torula
 X suivi d'abondance des fruits

Annexe 5. Composition des milieux d'élevage de *Bactrocera zonata*

Milieu 1

Poudre de carotte déshydratée	56 g
Levure de bière	52 g
Eau + nipagine + benzoate (2%)	450 mL
HCl à 16.5 ‰	20 mL
Pomme de terre déshydratée	90 g

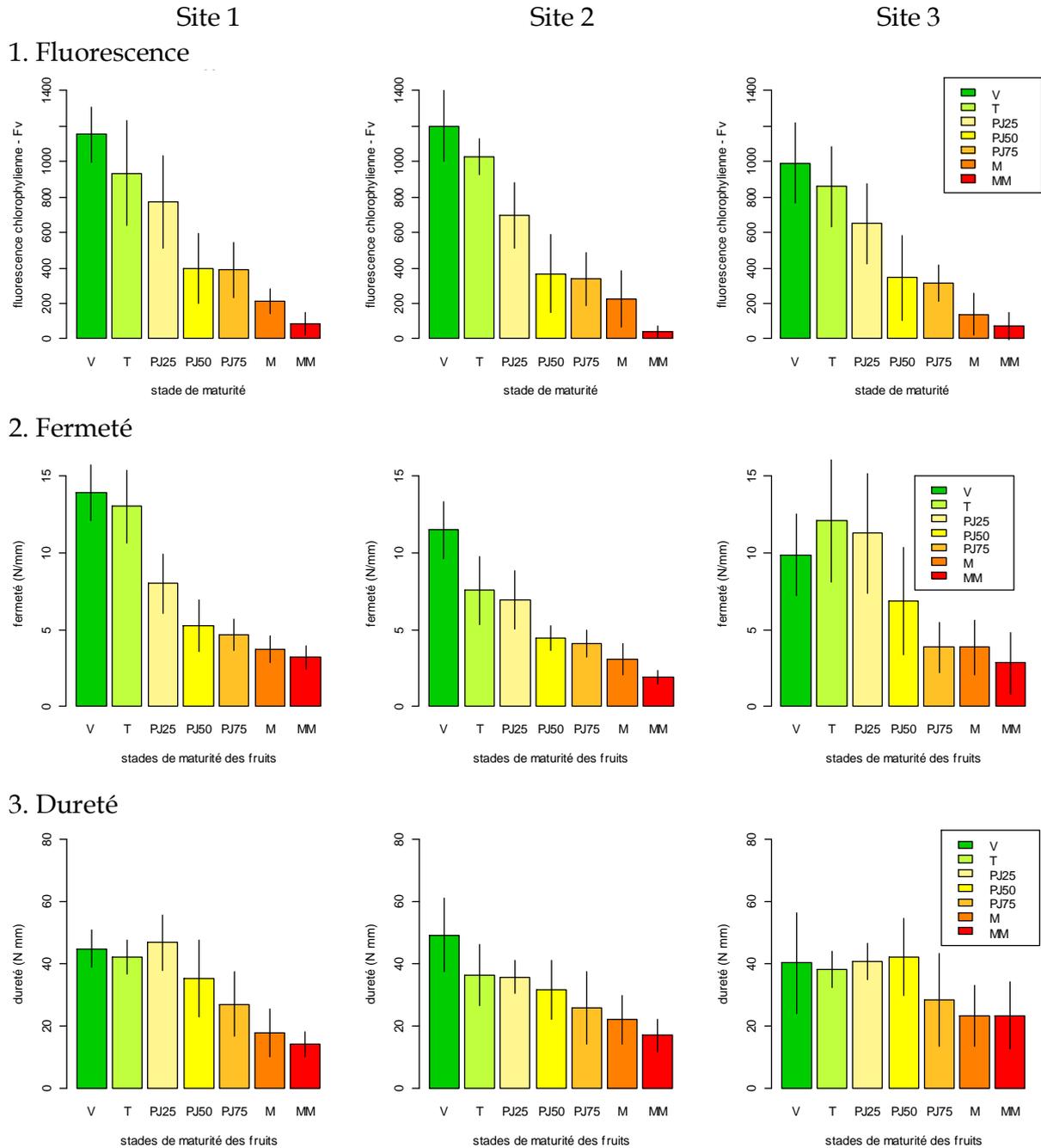
Mixer les ingrédients sauf la pomme de terre puis l'ajouter et mélanger à la spatule pendant 5 à 10 min. Réserver au frais.

HCl à 16.5 ‰ : 1L d'eau + 44.5 cm³ HCl à 37%

Milieu 2

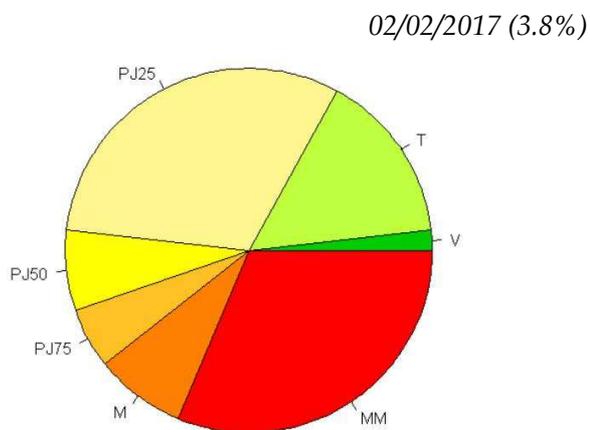
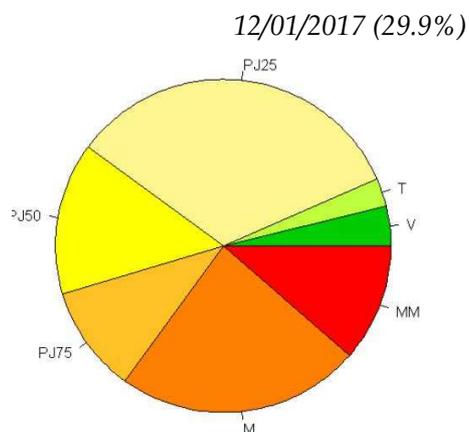
Sucre	150 g
Levure de bière	75 g
Eau + nipagine + benzoate	500 g
HCl à 16.5 ‰	20 mL

Annexe 6. Relation entre la fluorescence (1), la fermeté (2) et la dureté (3) et le stade de maturité des fruits des mangues *Cogshall* des sites 1, 2 et 3.

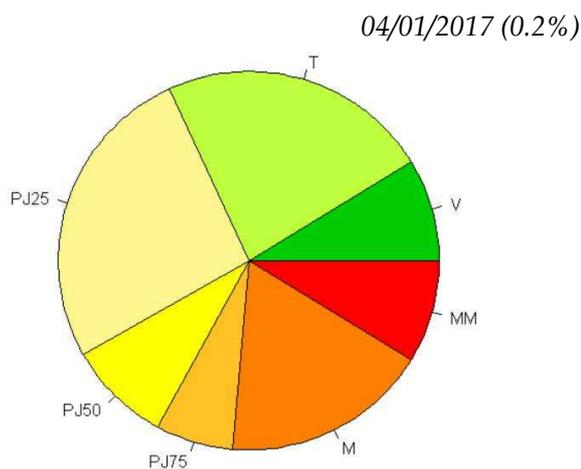
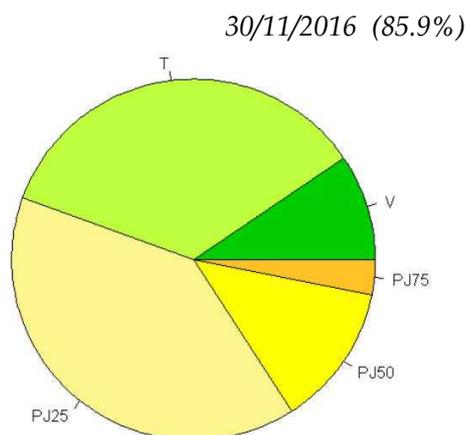


Annexe 7. Stades de maturité des mangues récoltées en début et fin de saison de récolte.

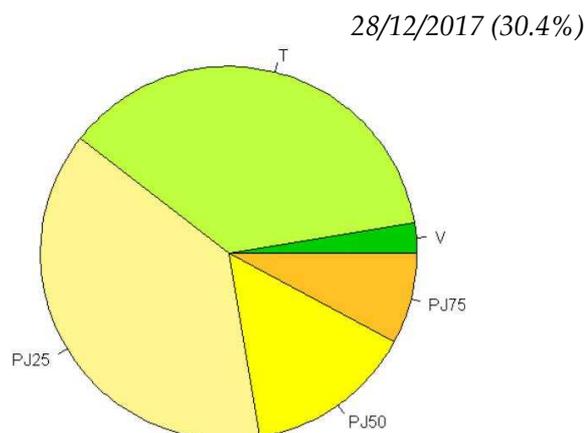
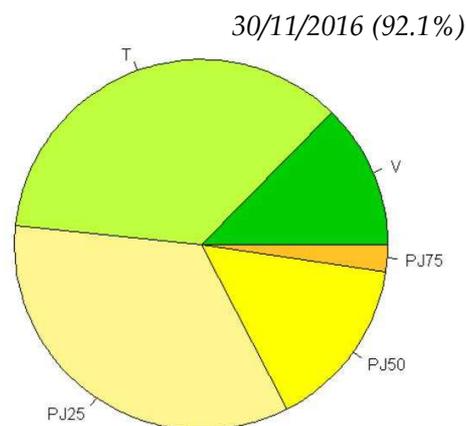
Site 1



Site 2



Site 3



Les valeurs indiquées correspondent aux dates de récolte et au pourcentage de fruits restant dans le verger à ces dates.

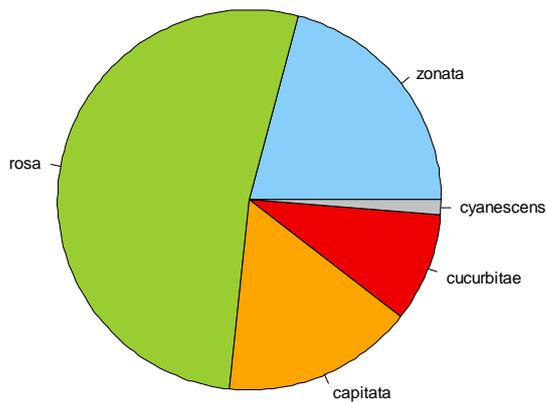
Annexe 8. Répartition des mouches des fruits piégées par sexe, par espèce et par site.

A. Répartition par espèce des mouches des fruits piégées en fonction de la période de suivi

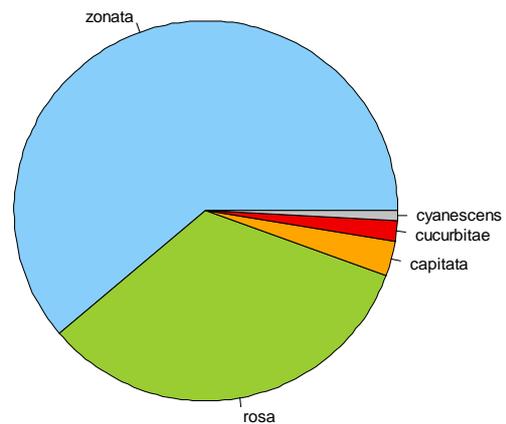
Période	Espèce (%)					
	<i>B.zonata</i>	<i>C.rosa</i>	<i>C.capitata</i>	<i>B.cucurbitae</i>	<i>N.cyanescens</i>	<i>D.demmerezi</i>
Complète	37.1	40.8	9.7	11.5	0.6	0.3
Récolte	31.3	55.8	10.0	2.7	0.1	0.1
Hors-récolte	40.3	25.9	8.9	21.4	3.0	0.5

B. Répartition par espèce des mouches des fruits piégées dans chacun des quatre sites

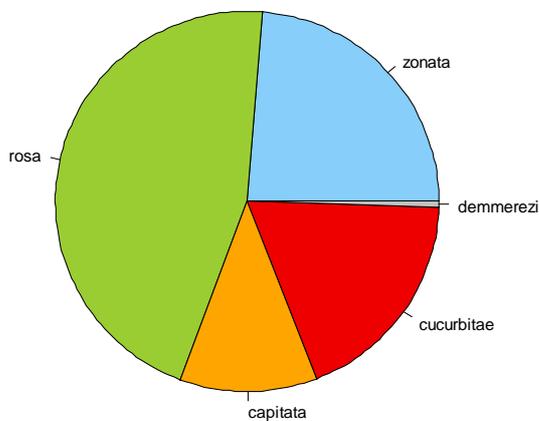
Site 1



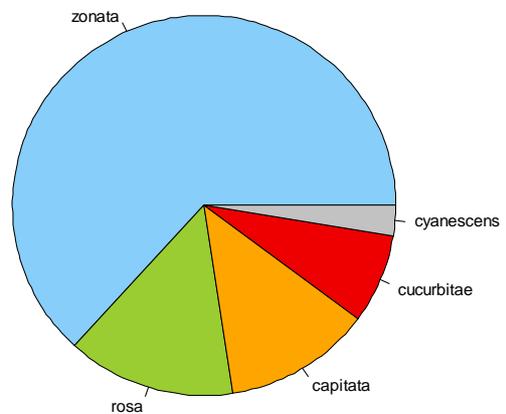
Site 2



Site 3



Site 4



C. Répartition par sexe (M : mâle ; F : femelle) pour chacune et pour l'ensemble des espèces de mouches des fruits piégées sur chacun et sur l'ensemble des sites suivis

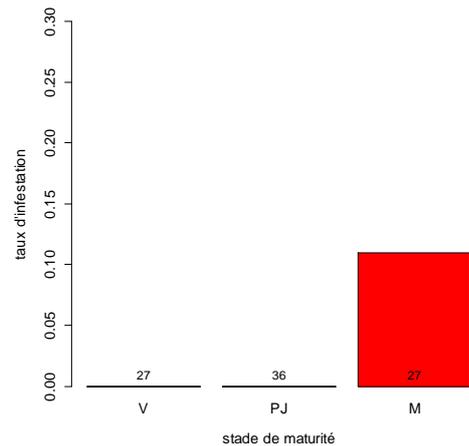
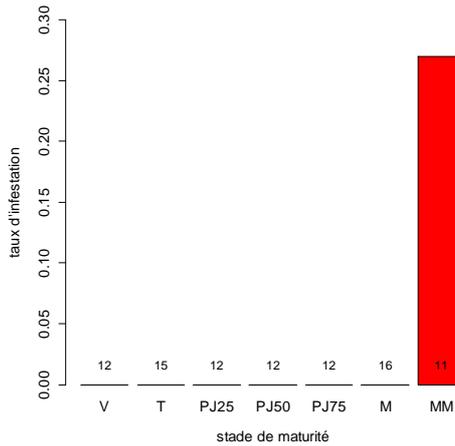
Site	Sexe	Espèce (%)						
		Global	<i>B.zonata</i>	<i>C.rosa</i>	<i>C.capitata</i>	<i>B.cucurbitae</i>	<i>N.cyanescens</i>	<i>D.demmerezi</i>
Site 1	M	34.3	27.1	37.7	22.7	41.3	100	-
	F	65.7	72.9	62.3	77.3	58.7	0	-
Site 2	M	29.4	24.8	33.7	54.2	59.1	40.0	0
	F	70.6	75.2	66.3	45.8	40.9	60.0	100
Site 3	M	51.6	51.0	51.0	62.4	47.8	40.0	20.0
	F	48.4	49.0	49.0	37.6	52.2	50.0	80.0
Site 4	M	33.9	26.8	48.1	47.8	34.1	64.3	-
	F	66.1	73.2	51.9	52.2	65.9	35.7	-
Global	M	41.4	33.5	44.4	51.4	47.0	64.7	19.0
	F	58.6	66.5	55.6	48.6	53.0	35.3	81.0

Annexe 9. Taux d'infestation des mangues par les mouches des fruits en fonction du stade de maturité des fruits sur les sites 1, 2 et 3

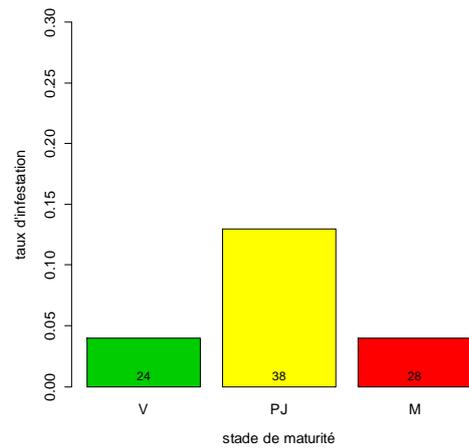
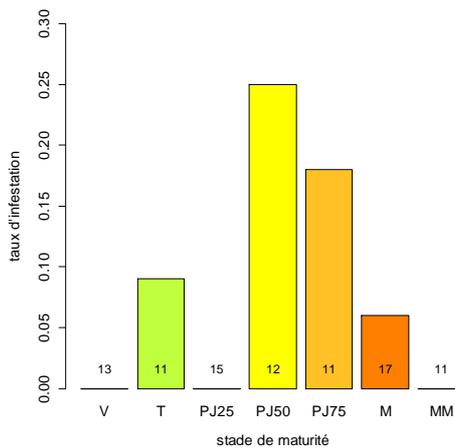
Relation avec les 7 stades de maturité

Relation avec les 7 stades de maturités regroupés en 3 stades : V' (V et T), PJ' (PJ25, PJ50 et PJ75) et M' (M et MM)

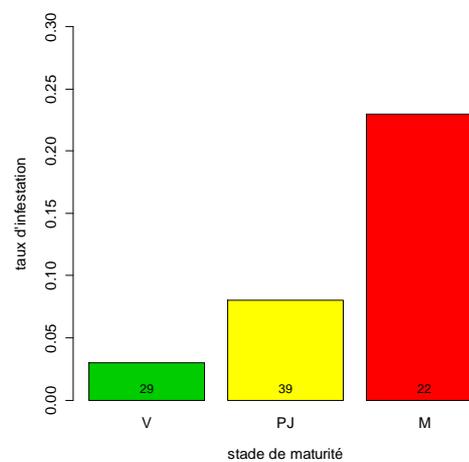
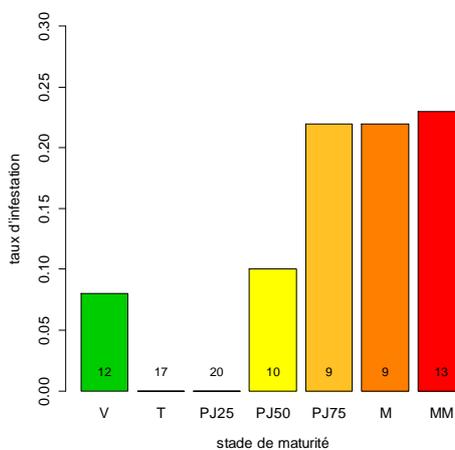
Site 1



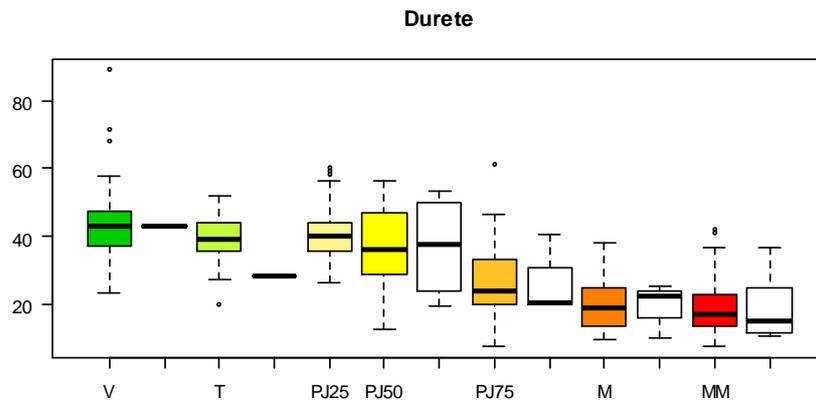
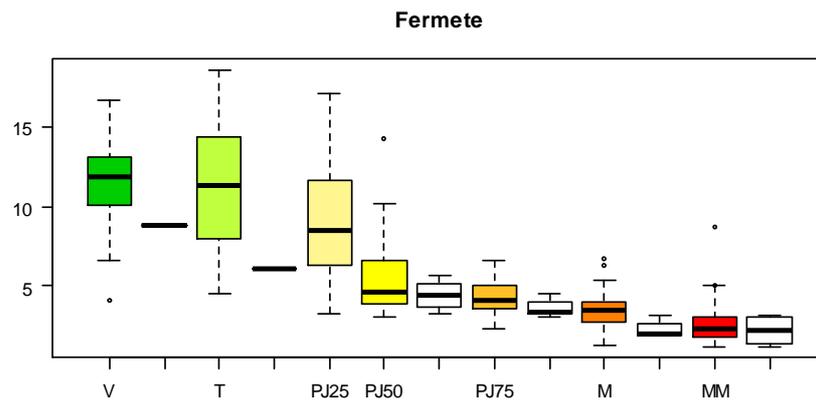
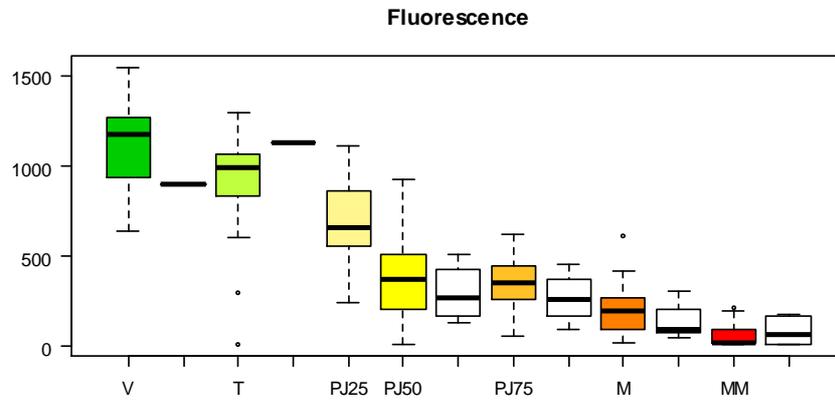
Site 2



Site 3

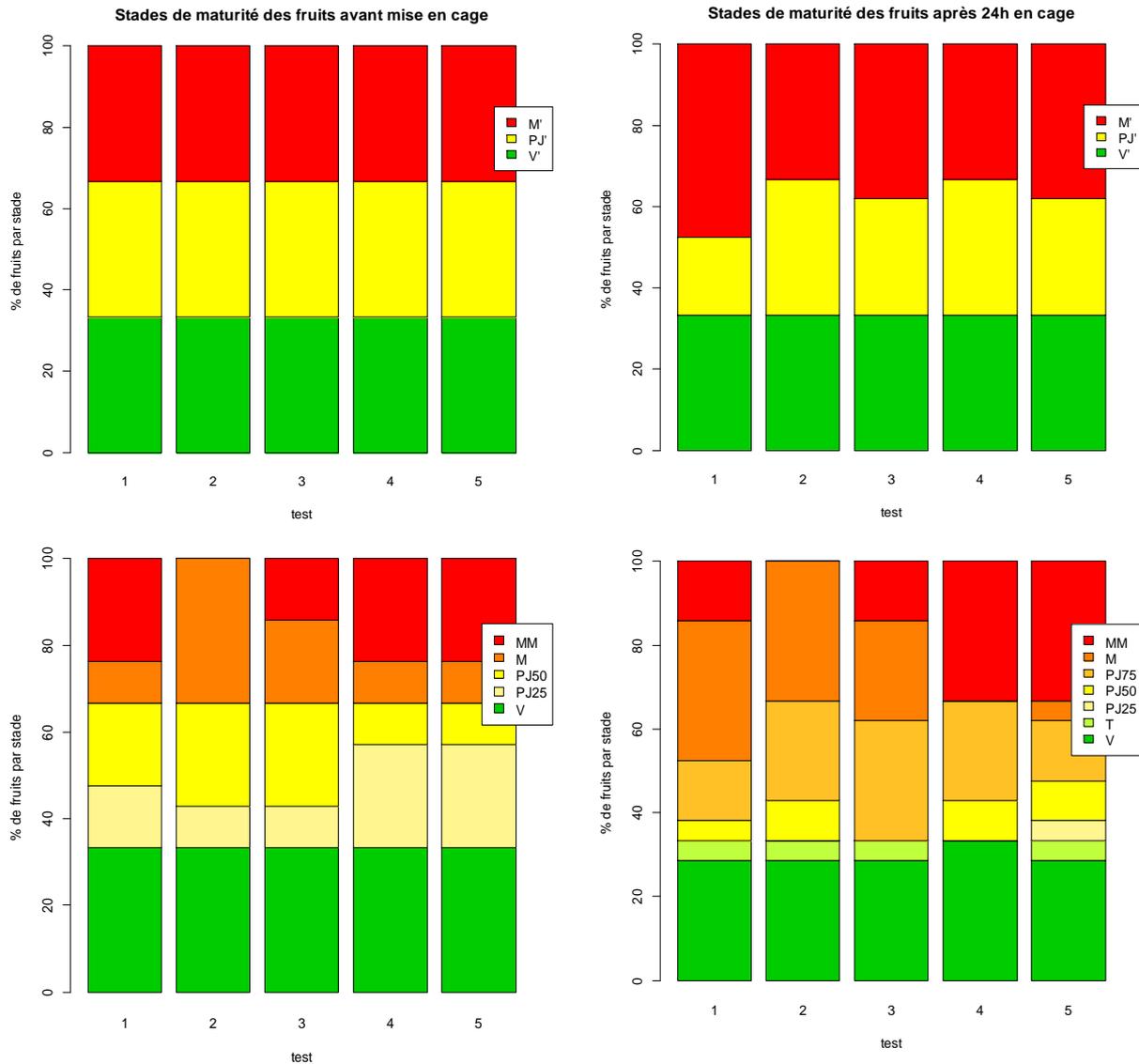


Annexe 10. Fluorescence, dureté et fermeté des mangues *Cogshall* en fonction de leur stade de maturité et de leur état d'infestation.



Boxplots de couleur : mangues infestées et non infestées
Boxplots blancs : mangues infestées uniquement

Annexe 11. Répartition des mangues récoltées pour le test d'infestation en laboratoire selon leur stade de maturité



V' : stades V et T ; PJ' : stades PJ25, PJ50 et PJ75 ; M' : stades M et MM