UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Evolution des cochenilles farineuses sur le manguier et Ficus thonningii et leur controle par les parasitoides Gyranusoidea tebygi et Anagyrus mangicola

Niyonkuru, Clovis; Sous la direction de : Dr. Ir. Déo Ndikumana, PhD; Dr. Ir. Privat Ndayihanzamaso, PhD

2025
UB, EANSI
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1871

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

EAST AFRICAN NUTRITIONAL SCIENCES INSTITUTE

MASTER EN SCIENCES DES ALIMENTS ET NUTRITION

OPTION : SECURITE ALIMENTAIRE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

EVOLUTION DES COCHENILLES FARINEUSES SUR LE MANGUIER ET *Ficus thonningii* ET LEUR CONTROLE PAR LES PARASITOIDES *Gyranusoidea tebygi* ET *Anagyrus mangicola*

Par

NIYONKURU Clovis

Sous la direction de :

Dr. Ir. Déo NDIKUMANA, PhD

Dr. Ir. Privat NDAYIHANZAMASO, PhD

Mémoire présenté et défendu pour obtention d'un diplôme de Master en Sciences des aliments et nutrition

Option : Sécurité Alimentaire et Changement Climatique

Bujumbura, Février 2025

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

Président : Dr. NDACAKOMEJE Philbert, PhD

Secrétaire : Ir. NSABIYUMVA Athanase, Msc

Directeur de mémoire : Dr.Ir. NDIKUMANA Deo, PhD

Co-directeur : Dr.Ir. NDAYIHANZAMASO Privat, PhD

DEDICACES

A mes chers parents ;

A ma chère famille ;

A mes frères et sœurs ;

A tous mes amis et connaissances ;

Je dédie ce travail.

REMERCIEMENTS

À l'issue de cette étude, il me tient à cœur d'exprimer ma profonde reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.

Tout d'abord, je rends grâce au Tout-puissant pour sa providence divine, qui m'a accompagné et guidé tout au long de cette expérience.

Je tiens à exprimer ma gratitude au Dr. Ir. NDIKUMANA Déo, professeur à l'Université du Burundi, Faculté d'Agronomie et de Bio-ingénierie, et professeur à l'EANSI, qui a bien voulu diriger ce mémoire. Sa rigueur scientifique et ses conseils avisés m'ont été d'un soutien précieux.

Mes remerciements vont aussi au Dr. Ir. Privat NDAYIHANZAMASO, le co-directeur de ce travail, qui a accepté d'assurer l'encadrement de ce travail et de m'accueillir au sein de l'ISABU. Sa disponibilité, ainsi que son expertise, ont considérablement enrichi la qualité de ce projet.

Je tiens également à remercier tous les chercheurs de l'ISABU, particulièrement ceux du programme de protection des végétaux, et plus spécifiquement Ir. NSHIMIRIMANA Dismas, pour ses précieuses contributions techniques.

Je n'oublie pas les professeurs de l'EANSI, dont l'enseignement et le dévouement m'ont préparé à relever les défis de ce programme de formation.

Enfin, je souhaite adresser mes plus sincères remerciements à mes camarades de classe pour leur soutien indéfectible et leur amitié tout au long de cette aventure. Je pense également à ma famille et à mes amis, dont les encouragements constants m'ont permis de mener à bien ce projet.

À chacun d'entre vous, je veux transmettre ma reconnaissance la plus sincère.

RESUME

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une recherche visant à explorer les méthodes de gestion biologique de la cochenille farineuse *Rastrococcus invadens*, un ravageur majeur des cultures fruitières et ornementales au Burundi. L'objectif principal était de comparer l'évolution des populations de cette cochenille sur deux hôtes différents, le manguier (*Mangifera indica*) et le Ficus (*Ficus thonningii)*, ainsi que d'évaluer l'efficacité des parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* dans leur régulation.

L'étude a été menée en insectarium de l'ISABU, où les populations de cochenilles ont été observées sur ces deux hôtes. Les variations dans les densités des cochenilles ont été suivies au fil du temps. Des parasitoïdes ont été introduites dans des cages pour évaluer leur impact, en comptant notamment les stades de développement des cochenilles et les momies parasitées. L'efficacité des parasitoïdes a été mesurée par un calcul du taux de réduction des populations de cochenilles.

Les résultats ont révélé que les populations de *Rastrococcus invadens* étaient initialement plus élevées sur le manguier, mais ont montré un déclin progressif. En revanche, les populations sur *Ficus thonningii* ont continué à augmenter. L'introduction des parasitoïdes a entraîné une réduction significative des populations de cochenilles dans les cages parasitées dès le cinquième jour d'observation, cette diminution se poursuivant jusqu'au vingtième jour avec un taux de réduction de 87,8% au vingtième jour avec un taux de réduction de 87,8%. Les parasitoïdes ont principalement parasité les stades juvéniles (stades 1, 2 et 3) des cochenilles, bien que des attaques aient également été observées sur les stades adultes.

Les résultats suggèrent que la qualité des hôtes joue un rôle déterminant dans l'évolution des populations de *Rastrococcus invadens*. Le Ficus, avec sa composition nutritive favorable et sa robustesse, constitue un environnement plus stable pour les cochenilles, tandis que le manguier devient moins favorable au fur et à mesure. Par ailleurs, les parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* se révèlent être des agents de lutte biologique efficaces, permettant de contrôler les infestations de cochenilles farineuses sur le manguier au Burundi.

Ainsi, cette étude soutient l'idée que les parasitoïdes peuvent constituer une méthode durable et efficace pour la gestion des cochenilles farineuses, en particulier dans les cultures de manguier.

Mots clés : cochenilles farineuses, manguier, Ficus, *Rastrococcus invadens, Gyranusoidea tebygi*, *Anagyrus mangicola*, gestion biologique, parasitoïdes

ABSTRACT

This study is part of research focused on the biological control of mealybug *Rastrococcus invadens*, a major pest of fruit and ornamental crops in Burundi. The main objective was to compare the population dynamics of this mealybug on two different host plants, mango (*Mangifera indica*) and *Ficus* (*Ficus thonningii*)., and to evaluate the effectiveness of the parasitoids *Gyranusoidea tebygi* and *Anagyrus mangicola* in regulating these populations.

The study was conducted in the ISABU insectarium, where mealybug populations were observed on the two host plants, and the variations in mealybug density were monitored over time. Parasitoids were introduced into some cages to assess their impact, with particular attention paid to the different life stages of the mealybugs and the counting of parasitized mummies. The effectiveness of the parasitoids was measured by calculating the reduction rate of mealybug populations.

The results revealed that mealybug populations were initially higher on the mango but showed a gradual decline, whereas populations on *Ficus thonningii* continued to increase. The introduction of parasitoids *Gyranusoidea tebygi* and *Anagyrus mangicola* led to a significant reduction in mealybug populations in the parasitized cages starting from day five, and this decline continued until day twenty with a reduction rate of 87.8%. The parasitoids primarily targeted the juvenile stages (1st, 2nd, and 3rd instars) of the mealybugs, although adult mealybugs were also attacked.

These findings suggest that host quality plays a key role in the population dynamics of *Rastrococcus invadens*. Ficus, with its favorable nutritional composition and resilience, provides a more stable environment for the mealybugs, whereas mango becomes less favorable over time. Moreover, the parasitoids *Gyranusoidea tebygi* and *Anagyrus mangicola* were found to be effective biological control agents, providing a viable solution for managing mealybug infestations on mango crops in Burundi.

This study supports the idea that parasitoids can serve as a sustainable and efficient method for controlling mealybug infestations, particularly in mango cultivation.

Keywords: mealybugs, mango, Ficus, *Rastrococcus invadens*, *Gyranusoidea tebygi*, *Anagyrus mangicola*, biological control, parasitoids.

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY ..... **i**

DEDICACES ..... **ii**

REMERCIEMENTS ..... **iii**

RESUME ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

TABLE DES MATIERES ..... **v**

LISTE DES TABLEAUX ..... **ix**

LISTE DES FIGURES ..... **x**

SIGLES ET ABREVIATIONS ..... **xi**

AVANT-PROPOS ..... **xii**

0. INTRODUCTION GENERALE **1**

0.1. Contexte 1

0.2. Problématique 2

0.3. Questions de recherche 3

0.4. Objectifs du travail 3

0.5. Hypothèses 3

0.6. Intérêt du travail 3

0.7. Subdivision du travail 4

0.8. Délimitation du sujet 4

CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE **5**

1.1. Systématique de la cochenille farineuse du manguier 5

1.2. Biologie et écologie de *Rastrococcus invadens* 6

1.2.1. Présentation de l'espèce 6

1.2.2. Origine de la cochenille farineuse du manguier 8

1. 2.3. Cycle de vie de la cochenille farineuse du manguier 8

1.2.4. Conditions favorables au développement de *Rastrococcus invadens* 9

1.2.5. Mécanismes de propagation de *Rastrococcus invadens* et sa capacité à coloniser différentes plantes hôtes 10

1.2.6. Préférences des cochenilles farineuses du manguier pour le développement 10
1.3. Généralités sur quelques plantes hôtes du ravageur 11
1.3.1. Manguier (*Mangifera indica*) 11
I.3.2. *Ficus (Ficus thonningii)* 13
1.4. Dégâts et incidence socio-économique de la cochenille farineuse du manguier 16
1.5. Contrôle biologique 16
1.5.1. Lutte biologique par l'utilisation des parasitoïdes 17
1.5.2. Importance de l'utilisation des parasitoïdes dans la lutte 17
1.5.3. Les parasitoïdes de *Rastrococcus invadens* 17
1.5.4. Biologie du développement du parasitoïde *Anagyrus mangicola* 18
1.5.5. Biologie du développement de *Gyranusoidea tebygi* 19
CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES 21
2.1. Description de la zone d'étude 21
2.2. Intrants utilisés 22
2.2.1. Matériel végétal 22
2.2.2. Matériel animal 22
2.2.3. Engrais minéraux et organique 22
2.2.4. Matériel technique 22
2.3. Méthodologie 22
2.3.1. Dispositif expérimental 22
2. 3.2. Production des plantes hôtes 23
2.3.3. Infestation et suivi des populations de cochenilles 23
2.3.4. Collecte des données 23
CHAPITRE 3. PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS 26
3.1. Présentation des résultats 26
3.1.1. Évolution des populations de cochenilles farineuses du manguier (*Rastrococcus invadens)* 26
3.1.2. Relation entre stades de croissance des cochenilles farineuses et la dynamique de leur population 27

3.1.3. Efficacité des parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* dans la régulation de *Ratrococcus invadens* 29

3.1.4. Évolution comparative des momies et des parasitoïdes 30

3.1.5. Évolution des momies par stade de croissance des cochenilles farineuses 32

3.1.6. Limites de l'étude 33

3. 2. Discussion des résultats **34**

3. 2. 1. Évolution des populations de cochenilles farineuses sur le manguier et le ficus 34

3.2.2. Efficacité des parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* dans la régulation de *Rastrococcus invadens* 35

3.2.3. Évolution comparative des momies et des parasitoïdes 36

3.2.4. Évolution des momies par stade de croissance des cochenilles 37

CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTIONS 38

Conclusion générale 38

Recommandations 39

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Brève classification de la cochenille farineuse du manguier 5
Tableau 2:Brève classification du manguier 12
Tableau 3:Coordonnées géographiques des sites de travail : ISABU, Bujumbura 21

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Caractères morphologiques permettant d'identifier *Rastrococccus invadens* 6
Figure 2:Adulte mâle et femelle des cochenilles farineuses du manguier 7
Figure 3:Cycle biologique de *Rastrococcus invadens* 9
Figure 4:Adulte *d'Anagyrus mangicola* 19
Figure 5:Adulte du *Gyranusoidea tebygi* 20
Figure 6: Localisation du site d'expérimentation 21
Figure 7: Evolution des populations de cochenilles sur le manguier et le ficus pendant une période de 42 jours 27
Figure 8: Evolution des populations de cochenilles Rastrococcus invadens sur le manguier et le ficus pendant une période de 33 jours 28
Figure 9: Dynamique des populations de *Ratrococcus invadens* dans les cages parasitées et non parasitées au cours des 20 jours d'observation 29
Figure 10: Evolution comparative des momies et des parasitoïdes 31
Figure 11: Evolution des momies par stade de croissance des cochenilles 32

SIGLES ET ABREVIATIONS

AIEA/ IAEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

DAP : Di-Ammonium Phosphate

EANSI : East African Nutritional Sciences Institute

FAO : Food and Agriculture Organization

IITA : International Institute of Tropical Agriculture

IPPC : International Plant Protection Convention

ISABU : Institut des Sciences Agronomiques du Burundi

KCl : Chlorure de potassium

NPK : Azote-Phosphore-Potassium

ONG : Organisations Non Gouvernementales

Rep : Répétition

AVANT-PROPOS

La gestion des ravageurs agricoles représente un défi majeur, en particulier dans les pays en développement, où elle affecte directement la sécurité alimentaire et la rentabilité des cultures. Au Burundi, la cochenille farineuse (*Rastrococcus invadens*), constitue une menace importante pour les cultures fruitières et ornementales, notamment le manguier (*Mangifera indica*). Face à cette menace, il devient impératif de développer des méthodes de lutte durables et respectueuses de l'environnement.

Cette étude s'inscrit dans cette démarche, visant à évaluer l'efficacité des parasitoïdes dans la gestion biologique de *Rastrococcus invadens*. Plus spécifiquement, elle se concentre sur les parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola*, importés du Bénin par l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) dans le cadre d'un programme de lutte biologique. L'usage du Ficus (*Ficus thonningii*) dans cette étude découle d'une observation d'un technicien de l'ISABU, qui, après une formation sur la lutte biologique au Bénin, a développé un grand intérêt pour la gestion des cochenilles farineuses du manguier. À son retour, il a constaté que les espèces de Ficus utilisées comme plantes hôtes des cochenilles farineuses pour la multiplication des parasitoïdes au Bénin n'étaient pas disponibles au Burundi. Cette observation a mis en lumière la nécessité de trouver un hôte local adapté à la multiplication rapide des cochenilles farineuses, lesquelles sont parasitées par les parasitoïdes, favorisant ainsi leur multiplication rapide. C'est ainsi que le Ficus (*Ficus thonningii*) a été choisi comme plante hôte alternative dans cette étude, afin de combler ce vide et d'adapter les méthodes de lutte biologique aux spécificités locales du Burundi. Cependant, malgré son enthousiasme pour ce projet, le technicien est parti en retraite avant d'avoir pu réaliser ces recherches et identifier l'hôte favorable nécessaire.

L'objectif principal est d'examiner l'efficacité de ces parasitoïdes dans le contexte local burundais, où les conditions environnementales et les espèces hôtes peuvent différer de celles observées au Bénin. Cette étude compare également l'évolution des populations de *Rastrococcus invadens* sur deux hôtes : le manguier (*Mangifera indica*) et le Ficus (*Ficus thonningii*). Cela permettra de déterminer lequel de ces hôtes favorise le mieux la prolifération des cochenilles et, indirectement, celle des parasitoïdes.

Les résultats de cette étude pourraient offrir une solution plus écologique et durable pour la gestion des cochenilles farineuses au Burundi et dans la région. En réduisant l'utilisation de produits chimiques, cette approche présente un potentiel important pour une gestion intégrée et respectueuse de l'environnement des infestations de cochenilles.

Ce travail de recherche a été rendu possible grâce au soutien technique et financier de l'ISABU et de l'East African Nutritional Sciences Institute (EANSI). Il s'adresse aux chercheurs, agriculteurs et praticiens du secteur agricole, notamment ceux intéressés par des méthodes alternatives pour la gestion des ravageurs

0. INTRODUCTION GENERALE

0.1. Contexte

Les maladies et les nuisibles, qui causent une baisse importante des récoltes agricoles, constituent l'un des défis essentiels de la sécurité alimentaire au niveau mondial (Nampala et al., 2016). Effectivement, une partie significative de la production agricole mondiale est perdue chaque année à cause de ces éléments (Sene et al., 2024). Selon les informations de la FAO (2019), il y a une perte annuelle de 20 à 40 % de la production agricole mondiale due aux nuisibles. Cette disparition a un impact significatif, particulièrement en Afrique, où, comme le soulignent Tanga et al (2013), elle conduit à une diminution de la production alimentaire. Non seulement ce phénomène impacte les moyens de vie locale, mais il a aussi des conséquences sur la biodiversité (Shaw et al., 2014). Selon Azrag et al (2023), l'invasion d'insectes exotiques représente une des menaces majeures pour l'agriculture à l'échelle mondiale. De plus, ces insectes mettent aussi en péril la valeur économique des cultures fruitières et légumières (AIEA, 2024). La cochenille farineuse du manguier figure parmi les insectes nuisibles principaux (Fayyaz et al., 2023), causant des dommages significatifs aux manguiers en Afrique (Negm & Abu-hashim, 2019). Cependant, elle s'attaque aussi à d'autres espèces végétales telles que les agrumes, le papayer et divers arbres fruitiers et ornementaux, ce qui explique son caractère polyphage (Williams, 1986).

Ce nuisible a eu un impact sévère sur la majorité des nations africaines (Agounké et al.1988) ; son apparition a également été notée au Rwanda, en Ouganda, en République Démocratique du Congo et au Burundi (FAO, 2021). Les producteurs ont tenté sans succès des méthodes mécaniques ou physiques comme l'abattage et la brûlure des arbres ou branches infesté(e)s, ainsi que des traitements chimiques (Hala et al., 2013). Par conséquent, les buts mondiaux de conservation de la biodiversité ne seront réalisables que si l'usage des pesticides est grandement minimisé (Sene et al, 2024). Suite à une efficacité limitée de ces méthodes de contrôle et leur impact défavorable sur l'environnement, les producteurs et les consommateurs (Vayssières et al., 2008), on peut envisager une autre stratégie de lutte avec l'aide des prédateurs naturels (Kouame et al., 2024). En raison de cette préoccupation, des guêpes parasitoïdes telles que *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* se sont avérées efficaces pour lutter contre cette cochenille farineuse. Cependant, malgré ces progrès, l'évolution de la population de cochenilles farineuses du manguier sur quelques espèces au Burundi n'a pas été étudiée, de plus, un suivi

de l'impact des agents de lutte biologique comme *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* est nécessaire.

0.2. Problématique

La cochenille farineuse du manguier, *Rastrococcus invadens*, a été détectée sur une variété de plantes hôtes, telles que les manguiers, les agrumes (orangers, mandariniers, citronniers), les papayers, les bananiers, les goyaviers, les avocatiers, les arbres d'ornement et les plantes d'ombre telles que les figuiers et les plumerias (FAO, 2021). Selon Agounké et al (1988). Cette cochenille endommage divers organes des arbres, tels que les jeunes branches, les inflorescences, les tiges, les fruits et les feuilles. Elle affecte les feuilles, les fleurs, les fruits et les petites tiges des manguiers et des agrumes, ce qui entraîne une diminution des fruits pouvant atteindre 90 % pour les manguiers et 53 % pour les agrumes (FAO, 2021). Devant ces dégâts, les agriculteurs utilisent différentes approches de gestion, dont l'utilisation de produits phytosanitaires, souvent inappropriés (Nimpagaritse, 2019), ainsi que des techniques mécaniques ou physiques telles que l'abattage et le brûlage des arbres ou branches attaqué(e)s (Hala et al., 2013). Bien que ces méthodes chimiques et physiques soient couramment utilisées pour lutter contre les cochenilles, elles se sont avérées souvent inefficaces, coûteuses, et peuvent même entraîner des conséquences néfastes (Williams, 1986). En effet, elles augmentent les coûts de production et les risques d'intoxication, tout en favorisant la recrudescence des populations de cochenilles farineuses, probablement en raison du développement de résistances aux insecticides (Maurya et al, 2022), ces méthodes peuvent polluer l'environnement, notamment les eaux et les sols, détruire des espèces non ciblées, telles que la faune auxiliaire (ennemis naturels), les oiseaux et le bétail, et limiter les exportations de mangues en raison des réglementations sur les résidus de pesticides (Hala et al, 2013) alors que *Rastrococcus invadens* possède une grande capacité d'adaptation à différentes conditions climatiques chaudes et humides (ANSES, 2015) . Par ailleurs, les méthodes physiques endommagent les vergers, ce qui les rend peu durables (Hala et al, 2013). Toutefois, la comparaison de l'évolution de la population de ces cochenilles farineuses sur les plantes hôtes du Burundi n'a pas été étudiée, et bien que les parasitoïdes *Gyranusoidae tebygi* et *Anagyrus mangicola* présentent un potentiel comme agents de lutte biologique, leur efficacité dans le contexte spécifique du Burundi reste à évaluer.

0.3. Questions de recherche

1. Quel est l'influence de l'espèce végétale : *Ficus* (*Ficus thonningii*) et manguier (*Mangifera indica*) sur la croissance et la reproduction des cochenilles farineuses du manguier ?

2. Quel est l'effet des parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* dans la réduction des populations des cochenilles farineuses du manguier au Burundi ?

0.4. Objectifs du travail

L'objectif global consiste à étudier l'influence de l'espèce végétale hôte sur l'évolution des cochenilles farineuses du manguier ainsi que l'efficacité des parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* dans leur contrôle.

Les objectifs specifiques :

1. Comparer le niveau d'évolution des cochenilles farineuses du manguier sur les plantes hôtes *Ficus thonningii* et *Mangifera indica*.

2. Evaluer efficacité des parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* dans la régulation des cochenilles farineuses au Burundi

0.5. Hypothèses

Hypothèse 1 : Des disparités notables sont observées dans l'évolution des populations de cochenilles farineuses sur *Ficus thonningii* et *Mangifera indica*.

Hypothèse 2 : Les parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* peuvent être perçus comme des agents de biocontrôle efficaces pour gérer les cochenilles farineuses dans les cultures de manguier au Burundi.

0.6. Intérêt du travail

Cette étude s'inscrit dans une démarche globale visant à promouvoir la gestion durable des ravageurs agricoles. En se concentrant sur la cochenille farineuse, un ravageur majeur des manguiers au Burundi, elle propose une solution innovante et respectueuse de l'environnement. L'objectif est de développer une méthode de lutte biologique fondée sur l'utilisation de parasitoïdes spécifiques, afin de réduire la dépendance aux pesticides dans la lutte contre la cochenille farineuse du manguier, préserver la biodiversité. Cette approche repose sur une meilleure compréhension de la biologie de la cochenille farineuse du manguier et de leurs ennemis naturels, ce qui permet de concevoir des stratégies de lutte biologique adaptées aux

conditions locales. Les résultats attendus de cette recherche contribueront à améliorer la sécurité alimentaire des populations locales, en garantissant une production de mangues de meilleure qualité et en plus grande quantité.

0.7. Subdivision du travail

À côté de l'introduction, la conclusion et quelques recommandations (suggestions et perspectives d'avenir), ce travail comprend trois chapitres. Le premier chapitre porte sur la revue de la littérature sur le manguier, sur le ficus et sur la cochenille farineuse du manguier. Le deuxième chapitre décrit le matériel et méthodes auxquels il a été recouru pour réaliser cette recherche. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et discussion avant d'en tirer des conclusions et les recommandations.

0.8. Délimitation du sujet

Du point de vue spatial, cette étude a été effectuée dans la ville de Bujumbura, précisément en commune MUKAZA (province BUJUMBURA) pour la conduite des essais.

Du point de vue temporel, cette étude s'est étalée sur 4 mois, d'octobre 2024 à février 2025.

CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1. Systématique de la cochenille farineuse du manguier

La cochenille farineuse a été décrite pour la première fois par Williams (1986). Selon Bokonon-ganta et al (1995) et Nebié (2017) dès les premiers instants de son apparition en Afrique de l'Ouest dans les années 1981, *Rastrococcus invadens* a été confondue à *Rastrococcus spinosus*. Le genre Rastrococcus compte 31 espèces décrites à travers le monde. En Afrique, les espèces de cochenilles d'importance économique sur le manguier sont *Rastrococcus invadens* et *Rastrococcus iceryoides.*

Tableau 1: Brève classification de la cochenille farineuse du manguier

Règne	Animalia
Embranchement	Arthropoda
Classe	Insecta
Ordre	Hemiptera
Superfamille	Coccoidea
Famille	Pseudococcidea
Genre	Rastrococcus
Espèce	*Rastrococcus invadens* Williams, 1986

Source : (ANSES, 2015 ; Nebié, 2017)

1.2. Biologie et écologie de *Rastrococcus invadens*

1.2.1. Présentation de l'espèce

Caractères morphologiques permettant d'identifier *Rastrococccus invadens* sont mentionnés sur la figure ci-après.

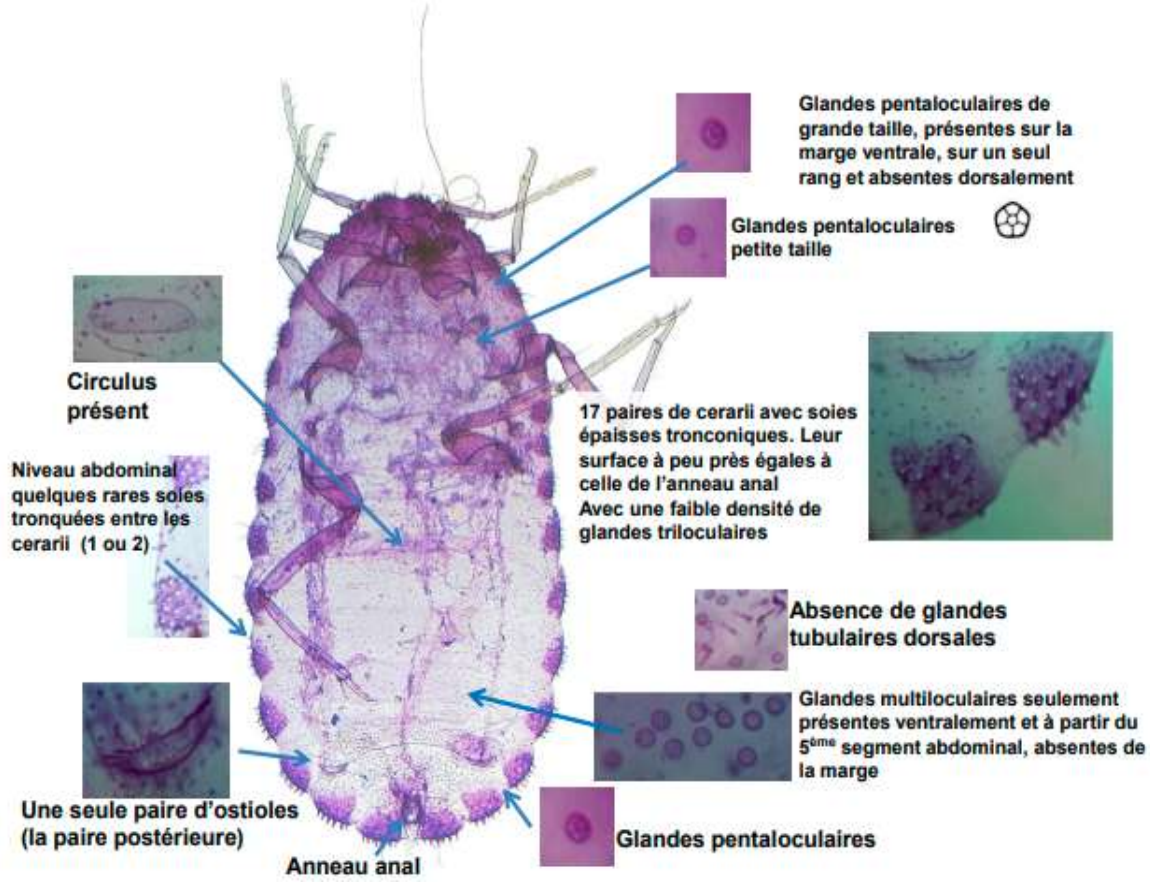


Figure 1: Caractères morphologiques permettant d'identifier *Rastrococccus invadens*

Source :(ANSES, 2015)

Les individus de la cochenille farineuse du manguier acquièrent progressivement de nouveaux caractères morphologiques pendant les différents stades de développement. Ces caractères sont principalement les filaments et les ailes (Nebié, 2017).

Ainsi, les larves de premier stade portent deux filaments cireux sur la partie postérieure, et un sur la partie antérieure du corps. Au deuxième stade de leur développement, on observe quatre filaments antérieurs et huit filaments postérieurs, ainsi que des filaments latéraux plus courts. Au troisième stade, les mâles se couvrent d'une substance cireuse pour former un cocon tandis que les femelles demeurent sans changement morphologique. Au stade adulte, les mâles ont

deux paires d'ailes et deux paires de filaments distinctifs à l'extrémité de l'abdomen (Nebié, 2017).

Par contre, la femelle adulte de *Rastrococcus invadens* qui mesure de 3,5 à 4 mm de long sur 2 à 2,5 mm de large est aptérygote (Nebié, 2017). Elles présentent une apparence externe vert pâle, couverte de cire blanche à l'exception d'une zone dénudée le long de la nervure médiane (Matoury, 2015). On distingue aussi vingt et un paires de cires filamenteuses longues, dont deux paires antérieures sur la tête presque aussi longues que le corps, six paires thoraciques, neuf paires abdominales et quatre paires postérieures environ quatre fois la longueur du corps. Les antennes sont divisées en neuf segments de 500 à 750 µm de long. Le tibia postérieur et le fémur possèdent de minuscules pores translucides. La surface ventrale présente des soies flagellées normales. L'abdomen compte 9 neuf segments ; le troisième segment étant plus large que les autres. On dénombre dix-sept paires de cerarii ; chaque cerarius étant clairement défini sur une surface sclérotisée. On observe un circulus large et étroit, 120-230 µm de large, avec des bords antérieurs et postérieurs presque parallèles, situés vers le milieu du 3ème segment (Nebié, 2017).

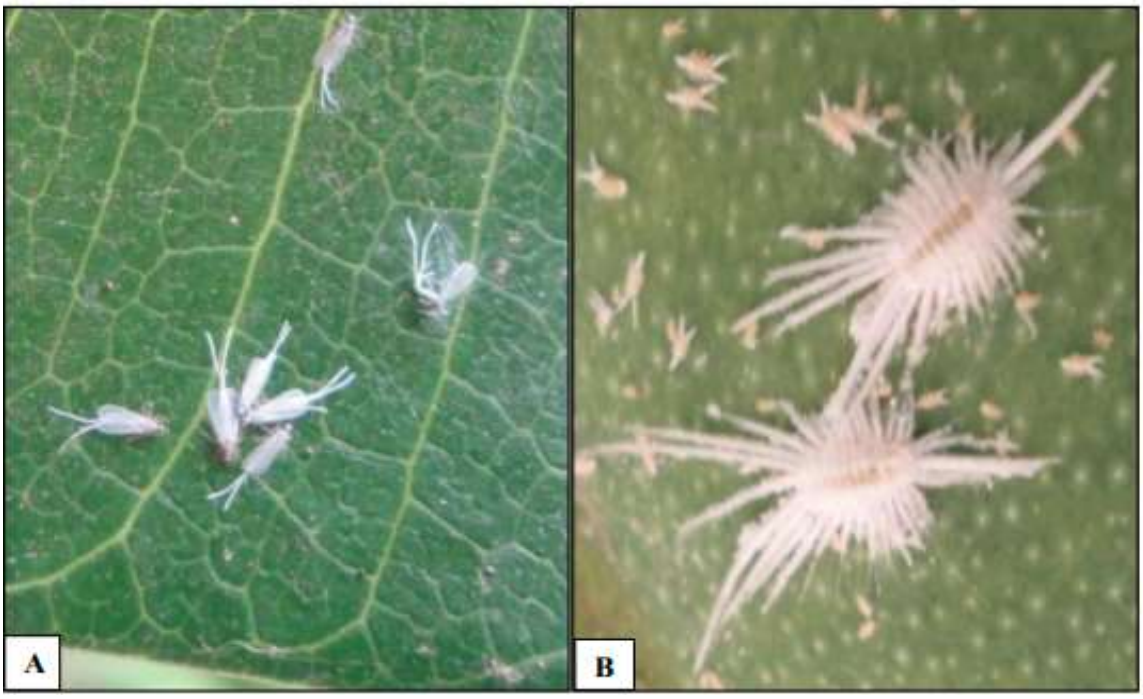


Figure 2:Adulte mâle et femelle des cochenilles farineuses du manguier

Mâles adultes ailés (A) et, Femelles adultes et larves de stade I (B) de *Rastrococcus invadens*

Source : Nebié. (2017).

1.2.2. Origine de la cochenille farineuse du manguier

En 1986, Williams a donné une description de l'espèce à partir d'individus recueillis au Pakistan, à Karachi, sur des plantes de manguier (*Mangifera indica*) (Matoury, 2015). Cette espèce est originaire du Sud-Est asiatique et se rencontre du sous-continent indien jusqu'à la péninsule indo-malaisienne (ANSES, 2015). La cochenille farineuse a été introduite par hasard en Afrique sub-saharienne. On la trouve d'abord au début des années 1980, au Ghana puis au Togo (Hala et al., 2013). Dans les années 1990, il a presque envahi toute l'Afrique de l'Ouest et centrale, allant du Sénégal à la République démocratique du Congo (Matoury, 2015). La Guyane française (zone de Cayenne) et les régions des Amériques ont récemment été recensées en septembre 2014, ce qui constitue sa première apparition sur le continent américain (ANSES, 2015). Très récemment, on a repéré *Rastrococcus invadens* en Afrique de l'Est, en particulier au Rwanda (IPPC, 2019) et au Burundi (IPPC, 2022).

1. 2.3. Cycle de vie de la cochenille farineuse du manguier

Les cochenilles farineuses du manguier se reproduisent rapidement : les femelles survivent environ 225 jours et pondent jusqu'à 160 à 200 œufs au cours d'une période de reproduction d'environ 200 jours. Les cochenilles farineuses du premier stade éclosent en nymphes, qui subissent plusieurs mues avant de devenir adultes. Les cochenilles farineuses ont tendance à rester sur la feuille où elles sont nées, et seules quelques-unes colonisent d'autres feuilles. Le développement nymphal dure environ 28 à 30 jours pour les mâles et les femelles, ce qui entraîne une explosion des populations, en particulier dans des conditions climatiques favorables (CABI, 2024).

Rastrococcus invadens est une espèce de cochenille farineuse bisexuée et ovovivipare qui se reproduit en pondant des œufs ou en donnant naissance aux larves. Son cycle de développement du femelle est marqué par trois stades larvaires et un stade adulte aussi bien chez les mâles que chez les femelles (Nebié, 2017). Le développement des mâles comprend deux stades larvaires, un stade de pré-pupe, un stade de pupe et le stade adulte. La pré-pupe, la pupe et l'adulte ne se nourrissent pas et se développent à l'intérieur d'un cocon (puparium) soyeux, blanc, de forme cylindrique. L'adulte mâle est ailé (imago) et apte à féconder des femelles aussitôt émergées. Les mâles sont dépourvus de pièces buccales (ANSES, 2015). Les larves développent alors deux longs filaments cireux blancs divergents, en arrière du corps et en avant de la tête deux filaments accolés donnant l'impression d'un filament unique (ANSES, 2015). Les femelles adultes, en revanche, passent par une période pré-reproductive avant de commencer à pondre

des larves et gardent la forme générale des larves, desquelles elle se distingue surtout par la taille, par l'aspect du revêtement cireux et des filaments sur le pourtour du corps. Les larves néonatales restent quelques heures sous le corps de la mère, avant de se déplacer sur la feuille à la recherche d'un emplacement pour se fixer et commencer à se nourrir (ANSES, 2015). Ils déposent une mousse blanchâtre dans laquelle 400 à 500 œufs sont déposés et la femelle meurt peu après la ponte (Reddy et al., 2020).

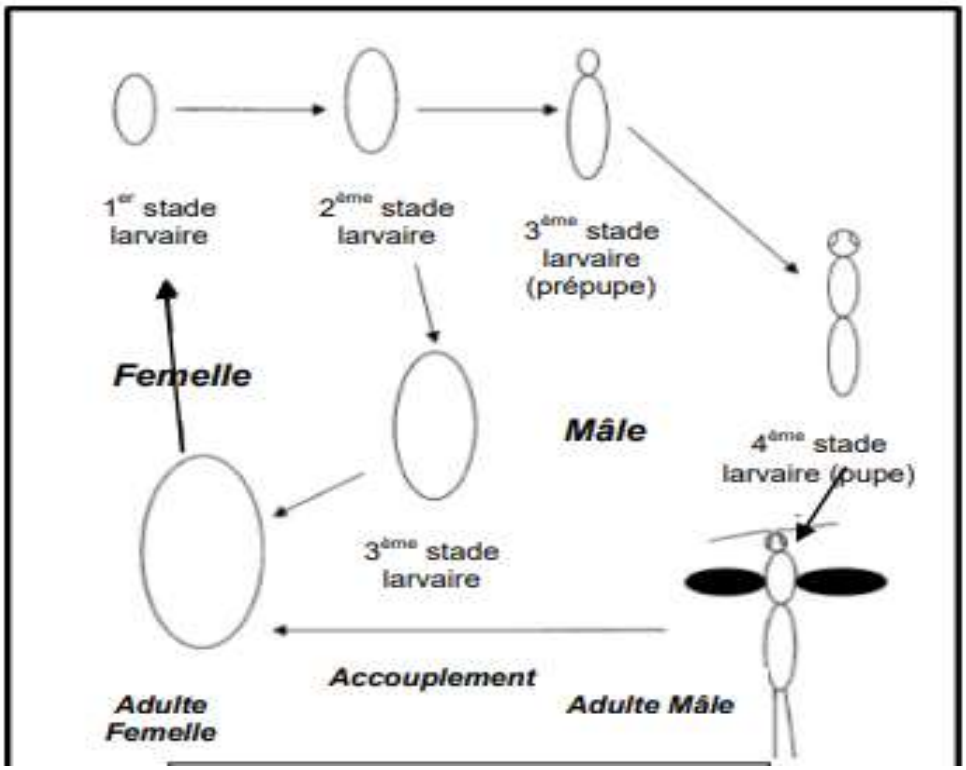


Figure 3:Cycle biologique de *Rastrococcus invadens*

Source :(ANSES, 2015 ;FAO, 2024)

1.2.4. Conditions favorables au développement de *Rastrococcus invadens*

En dehors de son aire d'origine, *Rastrococcus invadens* s'est établie en Afrique dans les zones aux latitudes comprises entre 0º et 14ºN, avec différents types de climat chaud tropical (ANSES, 2015)

1.2.5. Mécanismes de propagation de *Rastrococcus invadens* et sa capacité à coloniser différentes plantes hôtes

L'introduction accidentelle de la cochenille farineuse du manguier a conduit à de nombreuses études dans plusieurs pays afin d'inventorier ses plantes hôtes (Nebié, 2017). Les premières données ont été fournies par Lorh (1984) cité par Nebié (2017) qui a identifié 19 plantes hôtes au Togo (Nebié, 2017). Cet inventaire a été reconduit au Togo et au Bénin par Agounké et al. (1988). Cet auteur a identifié 44 espèces végétales appartenant à 22 familles. Ces plantes sont composées d'arbres fruitiers et ombragers, de plantes ornementales et sauvages, de légumes, d'essences forestières et de cultures vivrières (Nebié, 2017). Williams (1986) a recensé 22 plantes hôtes dans différentes zones agroécologiques du monde. Parmi toutes les plantes hôtes inventoriées par les différents auteurs, le manguier, les citrus, le bananier et le goyavier demeurent les espèces végétales préférées par le ravageur (Nebié, 2017). Pour cet insecte aux capacités de déplacement naturellement assez limitées, sa propagation à travers le monde est liée probablement au commerce international des fruits et des plantes ornementales contaminées (Nebié, 2017) mais la propagation de cette cochenille farineuse du manguier est grandement favorisée par les activités humaines (telles que le transport de plantes malades) et les facteurs naturels tels que : le vent, les oiseaux (Hala et al.1986), le transport des végétaux infestés, par le vent, et les hommes à travers les vêtements et outils de travail (Kouame et al., 2024) la cochenille farineuse du manguier pourrait être véhiculée par les courants d'air (Babin, 2023)

1.2.6. Préférences des cochenilles farineuses du manguier pour le développement

Sur manguier, l'emplacement préférentiel des cochenilles farineuses est sur la face inférieure des feuilles, le long des nervures principales et secondaires. Mais lors de grandes infestations en manguier, on trouve les cochenilles farineuses également sur la face supérieure des feuilles, les pétioles, les inflorescences, les fruits et les pédoncules. Sur les feuilles bien développées de manguier, se trouvent normalement tous les stades de développement, ainsi que des cocons vides des mâles et les exuvies résultantes des mues des insectes. Sur les organes récemment développés de la plante, notamment sur les nouvelles feuilles et jeunes fruits de manguier, il est fréquent de trouver des colonies constituées seulement par de jeunes femelles pré-reproductives qui ont migré des feuilles plus vieilles où elles s'étaient développées (ANSES, 2015).

1.3. Généralités sur quelques plantes hôtes du ravageur

1.3.1. Manguier (*Mangifera indica*)

A) Origine de la culture du manguier

Le manguier est originaire des contreforts de l'Himalaya, dans le sud de l'Asie bordant la baie du Bengale, vers 1800 avant J.-C., où elle pousse à l'état sauvage dans les collines de l'Assam (Yadav et al., 2017). Sur la base de la présence du plus grand nombre d'espèces apparentées poussant en Malaisie, certains chercheurs sont obligés de croire que la région malaisienne est le foyer d'origine de Région indo-birmane (Yadav et al., 2017) a conclu que la présence de formes sauvages de *Mangifera indica* et de ses espèces apparentées ainsi que la présence de nombreuses variétés cultivées et sauvages en Inde étaient quelques-unes des principales raisons en faveur de l'origine de la mangue dans la région indo-birmane. Les travaux (Vavilov, 1926) sur la variation génétique des plantes de base du monde et la localisation des centres de ces variations sont les plus remarquables, d'où il a suggéré la région « Indo-Birmanie » comme centre d'origine du manguier. Ce problème a été étudié plus en détail et des conclusions ont été tirées d'une analyse des données phytogéographiques et de la taxonomie phylogénétique de toutes les espèces incluses dans le genre Mangifera est limité à l'Asie tropicale.

Selon (Yadav et al., 2017), le manguier s'est déplacé peu à peu de son centre d'origine dans la région indo-birmane (Myanmar) vers tous les pays producteurs de mangues. Les graines de mangue ont voyagé avec les humains de l'Asie vers le Moyen-Orient, l'Afrique de l'Est et l'Amérique du Sud à partir de 300-400 après J.-C. Au début, elle s'est déplacée vers l'Asie du Sud-Est et l'archipel malais et au 7ème siècle, elle a atteint la Chine. On dit que les Perses l'ont apportée en Afrique de l'Est vers le 10ème siècle après J.-C. Au XVI^{ème} siècle, une technique spéciale utilisant le greffage fut mise au point pour propager le manguier. Au XVII^{ème} siècle, les Portugais plantèrent des manguiers dans les zones côtières d'Afrique de l'Est et de l'Ouest, mais l'acceptation par les Africains fut lente et la propagation vers l'intérieur fut irrégulière.

Selon Nebié (2017), le manguier est actuellement cultivé dans plus de 100 pays du monde, et constitue, selon (Muhammad et al., 2017), l'un des principaux fruits tropicaux et est considérée comme l'un des fruits frais les plus consommés au monde.

B) Description botanique du manguier

Le genre de manguier a été décrit par Linné (1754) dans Genera Plantarum. Le genre Mangifera de la famille des Anacardiacées et de l'ordre Sapindales (Yadav et al., 2017).

Selon Nébié (2017), il comprend environ 70 espèces surtout restreintes à l'Asie tropicale et peut être subdivisé en 2 sous-genres (Limus et Mangifera) composés de plusieurs sections.

Tableau 2:Brève classification du manguier

Règne	Plantae
Sous-Règne	Tracheobionta
Superembranchement	Spermatophyta
Embranchement	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Sapindales
Famille	Anacardiaceae
Genre	Mangifera L.
Espèce	*Mangifera indica L.*

Source : Yadav et al. (2017).

C) Exigences agronomiques

Selon Nébié (2017), le manguier est cultivé dans les zones tropicales présentant une période sèche bien définie avec une forte accumulation de chaleur pendant la floraison et la fructification. La plupart des variétés commerciales ne produisent pas dans les zones d'altitude supérieure à 600 m. La pluviosité moyenne annuelle favorable est comprise entre 400 et 3 600 mm. Le manguier peut tolérer des poches de sécheresse de plus de 8 mois. La température moyenne annuelle et optimale est comprise entre 24 et 27 °C. Ce facteur abiotique a un effet direct sur l'arbre. Ainsi, le cycle végétatif dure approximativement 20 semaines à 20 °C les jours et 15 °C les nuits. Cette durée est réduite à 6 semaines sous les conditions de température 30°C/25°C. Cependant, les températures extrêmes ont un effet direct sur l'arbre et le taux de fructification. Elles réduisent la viabilité du pollen. La température minimale tolérée est de 0 °C. Le stress de la température basse est nécessaire pour induire la floraison. Le manguier tolère les sols de type alcalin, calcaire et argileux lourds. Le pH optimal est compris entre 5,5 et 7,5.

D) Importance de la culture

Le manguier (*Mangifera indica* L.) est le cinquième fruit le plus produit au monde (Boudon et al, 2020). Il est largement cultivé dans de nombreux pays africains, où il joue un rôle crucial

dans l'alimentation familiale et constitue une importante source de revenus pour les producteurs (Ngethe et al, 2020).

Classé au cinquième rang mondial des fruits les plus produits (Atiwiwat et al, 2023) et troisième dans les régions tropicales (Lenli & Lapodini, 2009). Sur le plan nutritionnel, la mangue est riche en vitamines C et A, essentielles pour la santé humaine.

En outre, sa teneur en flavonoïdes et caroténoïdes est associée à une réduction du risque de cancer du poumon et de la cavité buccale (Muhammad et al., 2017).

Sur le plan environnemental, les arbres contribuent à une production alimentaire durable et accrue, en particulier pour les écosystèmes vulnérables, en améliorant les sols et les microclimats environnants. Plus important encore pour les agriculteurs et les communautés rurales, les arbres sont une source de bois de chauffage, qui dans de nombreuses régions est la seule forme d'énergie disponible, en plus de fournir des matériaux de construction disponibles localement (Ngethe et al., 2020).

Selon Muhammad et al. (2017), la mangue, ainsi que d'autres parties de la plante (noyau, fleurs, feuilles, gomme, écorce et peau), sont d'importantes sources de composés bio-actifs ayant une activité potentiellement bénéfique pour la santé

La mangue contient des terpénoïdes et des fibres, des composés bio-actifs sains qui peuvent protéger contre le cancer du côlon (Corrales-Bernal et al, 2014), et une quantité importante de cuivre, un cofacteur pour de nombreux enzymes vitaux, notamment le cytochrome c-oxydase et le superoxyde dismutasse, nécessaires à la production de globules rouges.

I.3.2. *Ficus (Ficus thonningii)*

L'un des plus importants genres de la flore tropicale est le genre Ficus L., qui se trouve dans la zone pantropicale. Le ficus comprend entre 755 et 800 espèces, dont 500 en Asie-Australie (Diop et al., 2018).

A) Classification et systématique du ficus

Il s'agit de l'un des plus grands genres d'angiospermes avec environ 750 espèces (Chaudhary et al., 2012). Le genre Ficus appartient à la famille des Moracées et comprend des plantes extrêmement différentes, allant des arbres dépassant 30 m de haut dans leur pays d'origine, aux espèces naines et rampantes (Salehi et al., 2021). La plupart des plantes Ficus sont à feuilles

persistantes avec une inflorescence unique, mais dans les régions en dehors des tropiques, ces plantes sont caduques (Salehi et al., 2021).

B) Importance du ficus

Les Ficus sont facilement consommés par les petits ruminants et présentent de bons niveaux de protéines et des niveaux sûrs de certains facteurs antinutritionnels, notamment les tanins et les saponines, ce qui constitue donc une bonne assurance pour amortir l'effet de la pénurie d'aliments aux périodes critiques (Bamikole & Ikhatua, 2010).

Les Ficus par ses composés phytochimiques présents dans ses organes rendent ces plantes utiles pour des applications thérapeutiques alternatives potentielles (Salehi et al., 2021). Actuellement, environ 20 espèces du genre Ficus sont traditionnellement utilisées comme remèdes naturels dans de nombreux pays (Salehi et al., 2021). Ils ont de nombreux effets pharmacologiques et sont utilisés à la fois dans la médecine traditionnelle et dans le traitement contemporain de différents troubles. Des études récentes ont montré l'efficacité thérapeutique de Ficus notamment dans les troubles respiratoires, cardiovasculaires et du système nerveux central. Ils sont également utilisés pour le traitement de la cystytis et du diabète (Salehi et al., 2021). Les fruits de Ficus Sont utilisés pour polir les ardoises et les meubles en bois ou pour nettoyer la vaisselle (Ahmad et al., 2011).

Ces fruits sont également utilisés comme aliment, dans la préparation de bonbons, de confitures, qui peuvent être consommés frais ou inclus dans des gâteaux et des gourmandises (Barolo et al., 2014). Les fruits séchés de Ficus sont bouillis jusqu'à l'obtention d'un sirop qui est utilisé comme substitut du sucre. Le latex obtenu à partir de plantes de Ficus est utilisé pour cailler le lait de chèvre ou comme substitut du caillé de fromage (Motti et al., 2009), les feuilles sont traditionnellement utilisées dans la stabilisation de l'huile de palme pour potentiellement améliorer les qualités de conservation (Ahmed et al., 2012).

Certaines espèces de Ficus sont considérées comme sacrées et sont utilisées dans les rituels religieux (Salehi et al., 2021). Elles sont également considérées comme des indicateurs de la présence d'eau souterraine (Ipulet & Kasenene, 2008).

Le ficus est considéré comme une espèce clé dans les forêts tropicales humides, car il joue un rôle fondamental dans l'écosystème, en raison de ses fruits qui sont mangés par les insectes, les oiseaux et les animaux tout au long de l'année (Chaudhary et al., 2012).

Du point de vue écologique, les ficus constituent une plus grande part du régime alimentaire de la plupart des espèces de vertébrés que les fruits de toute autre plante tropicale (Ipulet & Kasenene, 2008), ils sont très importants pour la pollinisation et la dispersion des graines des animaux, des coléoptères et des oiseaux frugivores.

Ils servent de source de nourriture aux mammifères tels que les écureuils, les civettes et les primates. Il peut également servir d'arbre de repos pour la faune. En plus des avantages pour les animaux, les arbres de Ficus jouent un rôle important dans la restauration écologique, car la densité et la diversité des jeunes arbres de ficus sont deux fois plus élevées que celles des autres genres, ce qui montre qu'il est plus efficace d'utiliser le Ficus pour restaurer les écosystèmes dégradés que d'autres (Hendrayana et al., 2019).

Dans certaines régions d'Afrique, les ficus sont utilisés comme ombre ou comme marqueurs de délimitation dans les clôtures. Les fruits, les feuilles, l'écorce, le latex et les fruits sont utilisés dans la préparation de médicaments dans de nombreuses régions du monde. Ces arbres sont également utilisés de génération en génération comme sanctuaires sacrés ou lieux de sacrifice et de culte aux dieux et esprits ancestraux, beaucoup sont cultivés comme plantes ornementales, et certains sont une source de tissu d'écorce, de caoutchouc et de fourrage pour le bétail (Ipulet & Kasenene, 2008).

C) Écologie du ficus

Le genre ficus se rencontre dans tous les types d'habitat et de sites tropicaux et est considéré comme l'un des genres les plus réussis (Ipulet & Kasenene, 2008). Le genre est réparti dans le monde entier, principalement dans les régions subtropicales et tropicales (Chaudhary et al, 2012). Le ficus est également considéré comme l'un des genres les plus diversifiés en ce qui concerne ses habitudes (arbres caducs et persistants, arbustes, herbes, grimpantes et plantes grimpantes) et ses formes de vie (arbres isolés, épiphytes, semi-épiphytes dans les crevasses, rhéophytes et lithophytes) (Chaudhary et al, 2012).

Le figuier commun pousse dans les régions tempérées semi-chaudes et est typiquement une plante tropicale, plus abondante dans les forêts tropicales. Le nombre de types de Ficus spp diminue avec l'augmentation de la latitude (Salehi et al., 2021). Les espèces de ficus se trouvent dans tous les habitats tropicaux, sous forme d'épiphytes ou de plantes terrestres, et dominent les écosystèmes agricoles en tant qu'arbres d'ombrage ou haies vives. Sur le plan écologique, elles sont des indicateurs de la nappe phréatique et des espèces clés fournissant des fruits aux

frugivores. Leur pollinisation est hautement spécialisée, les guêpes pollinisatrices ayant co-évolué avec les espèces de ficus hôtes (Ipulet & Kasenene, 2008).

1.4. Dégâts et incidence socio-économique de la cochenille farineuse du manguier

La cochenille farineuse a affecté la morphologie et la physiologie des arbres (Hala et al., 2004). L'accumulation des sécrétions du ravageur (miellat) sur les feuilles, les fruits, Les rameaux sont affectés par les champignons saprophytes (*Dimerosporium mangiferum* Cooke, *Capnodium mangiferum* Cooke, *Meliola mangiferae* Earle et *Capnodium racemosum* Cooke), ce qui donne une teinte noirâtre aux organes végétaux affectés (la fumagine), provoque un étouffement de l'arbre, une réduction de la photosynthèse (Hala et al., 2013). Sous l'effet de l'alimentation de Rastrococcus invadens, les arbres sévèrement attaqués produisent très peu avec des fruits de petite taille. Les fruits attaqués perdent leur valeur commerciale. De plus, le poids frais des fruits peut baisser d'environ 51 % pour ces arbres. La teneur de certains nutriments est également affectée (Nebié, 2017) par conséquent, une réduction de la productivité de la plante (Hala et al., 2013).

Le miellat attire de nombreuses mouches et d'autres insectes ; ce qui empêche pratiquement les activités sociales comme les rencontres sous les arbres infestés. Ces derniers sont abattus et remplacés par la suite par d'autres espèces végétales ou par des hangars (Nebié, 2017). Les infestations de la cochenille rendent le manguier inutilisable pour ses vertus médicinales et pour l'alimentation du bétail. Les arbres attaqués perdent par ailleurs leur attrait esthétique de plantes ornementales et d'ombrage. (Hala et al., 1986)

Les fruits en tant que source de micronutriments (vitamines et minéraux) tiennent non seulement une place importante dans l'équilibre alimentaire des burundais mais également dans l'économie du pays (Nimpagaritse, 2019). Les cultures fruitières sont confrontées à de nombreux défis, dont la prolifération des ravageurs (Nimpagaritse, 2019).

1.5. Contrôle biologique

La lutte biologique en agronomie désigne l'utilisation d'organismes vivants pour contrôler la population et les effets des ennemis des cultures (Jourdheuil et al, 2001). Selon Guy Boivin (2001), quatre groupes d'organismes sont principalement employés : les micro-organismes, les nématodes, les prédateurs et les parasitoïdes. La première utilisation de la lutte biologique remonte à environ 300 avant J.-C. en Chine, où les fermiers utilisaient des fourmis tisserandes pour protéger leurs vergers (Noémie, 2010). Plus tard, Carolus Linnaeus en 1752 remarqua que

chaque insecte a un prédateur naturel, et suggéra de capturer ces prédateurs pour lutter contre les nuisibles des cultures (Hoddle & Van Driesche, 2009). Selon Maurya et al. (2022), les ennemis naturels des ravageurs peuvent être utilisés de trois façons principales :

1. Le contrôle biologique classique qui consiste à importer des espèces exotiques et à les établir dans un nouvel endroit ;

2. Le contrôle biologique augmentatif dans lequel la multiplication des espèces établies (indigènes ou exotiques) se fait par élevage de masse et colonisation périodique ; et

3. Le contrôle biologique de conservation comprend la conservation des ennemis naturels par la manipulation de l'environnement.

1.5.1. Lutte biologique par l'utilisation des parasitoïdes

Selon Guy Boivin (2001), les espèces parasitoïdes se retrouvent dans six groupes principaux : les Hyménoptères, les Coléoptères, les Diptères, les Neuroptères, les Lépidoptères et les Trichoptères. Toutefois, la proportion d'espèces ayant ce mode de vie varie largement selon les groupes. Par exemple, les Hyménoptères parasitoïdes comptent environ 67 000 espèces, soit 67 % de l'ensemble des espèces de cet ordre. C'est également dans cet ordre que l'on observe la plus grande variété de stratégies et d'adaptations aux différents types d'hôtes et d'habitats.

1.5.2. Importance de l'utilisation des parasitoïdes dans la lutte

La lutte biologique est une approche innovante qui est rentable, durable et, contrairement aux pesticides, respectueuse de l'environnement (FAO, 2023). L'utilisation des parasitoïdes en lutte biologique offre plusieurs avantages et ont une bonne capacité de dispersion et de découverte de l'hôte, ont une bonne capacité à s'établir dans un habitat donné, sont hautement sûrs pour la santé humaine et possèdent une spécificité de l'hôte importante, ce qui signifie qu'ils représentent un risque minimal pour les organismes non ciblés (Guy Boivin, 2001).

1.5.3. Les parasitoïdes de *Rastrococcus invadens*

Deux espèces de parasitoïdes ont été utilisées à grande échelle contre *Rastrococcus invadens* à partir de 1986. Il s'agit de *Anagyrus mangicola* et *Gyranusoidea tebygi* importés de l'Inde. Les premiers lâchers ont été réalisés au Togo en 1987 avec Gyranusoidea tebygi. Ils ont été ensuite étendus à d'autres pays africains En 1990, le parasitoïde *Anagyrus mangicola* a été lâché dans certains pays pour renforcer le contrôle de *Rastrococcus invadens* dans les zones où des foyers d'infestation persistaient. *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* se sont rapidement

établis et ont entraîné une réduction importante des populations de leur hôte. L'impact de *Gyranusoidea tebygi* a été évalué au Bénin à travers des méthodes d'exclusion physique, des tables de vie et la dynamique des populations. Ces études ont montré des résultats satisfaisants quant au contrôle du ravageur et à l'amélioration de la productivité des manguiers. Ces parasites vivent aux dépens d'un unique hôte, lequel meurt après l'achèvement du développement du parasitoïde (Jourdheuil et al, 2001).

1.5.4. Biologie du développement du parasitoïde *Anagyrus mangicola*

A. Dépôt des œufs et développement initial

D'après Moore et Cross (1992), *Anagyrus mangicola*, un parasitoïde de la cochenille farineuse, dépose ses œufs sous la cuticule dorsale de l'hôte, généralement à l'arrière de la cochenille, bien que cette localisation puisse légèrement varier. Le développement de l'œuf est influencé par la température, ce qui accélère le processus de maturation. Dès le premier jour, l'œuf est libéré à l'extérieur de l'hôte. À 27 °C, l'œuf se gonfle sans changer de forme pendant la première journée. Entre le deuxième et le troisième jour, l'œuf se fixe fermement à la cuticule de l'hôte, avant que la larve n'éclate. Ce processus forme un entonnoir lorsque les exuvies se détachent et sont poussées vers le bas du chorion (Moore et Cross, 1992).

B. Développement larvaire

La larve du premier stade, de type encyrtiforme, présente 10 à 11 segments distincts. Après 4 jours, les deuxième et troisième stades se forment, et la larve commence à montrer des caractéristiques hyménoptères (Moore et Cross, 1992). La capsule céphalique disparaît et fusionne avec le thorax, tandis que la segmentation thoracique devient moins marquée, bien que 10 segments demeurent visibles, les derniers étant recouverts par les exuvies et l'entonnoir du chorion. Ces stades durent respectivement 7,3 et 8,6 jours (Moore et Cross, 1992).

C. Formation de la pupe et émergence de l'adulte

La pupaison se déroule à l'intérieur de la cuticule de l'hôte, qui se dilate et se remplit d'air pendant une période de 10 jours. Durant cette phase, plusieurs pelotes méconiales sont libérées avant que la nymphe ne se forme et puissent être retrouvées dans la tête de la momie hôte. Après 16 jours pour les mâles et 20 jours pour les femelles, les appendices adultes deviennent visibles, les yeux commencent à rougir et le corps s'assombrit progressivement. L'adulte termine son développement à l'intérieur de la momie avant de s'en échapper, déployant ses ailes. Il perce un petit trou à l'arrière de la momie, soit sur la surface dorsale, soit ventrale, puis élargit

progressivement l'ouverture jusqu'à ce qu'elle soit suffisante pour lui permettre de s'échapper (Moore et Cross, 1992).

D. Longévité des adultes de *Anagyrus mangicola*

Selon Moore et Cross (1992), la longévité des adultes, en particulier des femelles, est influencée par la température et le type de nourriture disponible. Moore et Cross (1992) ont constaté que la durée de vie des parasitoïdes augmente considérablement lorsqu'ils se nourrissent de miellat provenant de l'hôte. En revanche, si leur alimentation se limite uniquement à de l'eau, leur espérance de vie est de 2,6 jours. Lorsqu'ils consomment à la fois de l'eau et du miel, leur durée de vie atteint environ 6 jours. Si leur alimentation est composée de cochenilles au premier stade, leur espérance de vie est de 19,6 jours, et elle atteint 20 jours lorsqu'ils se nourrissent exclusivement de miellat.

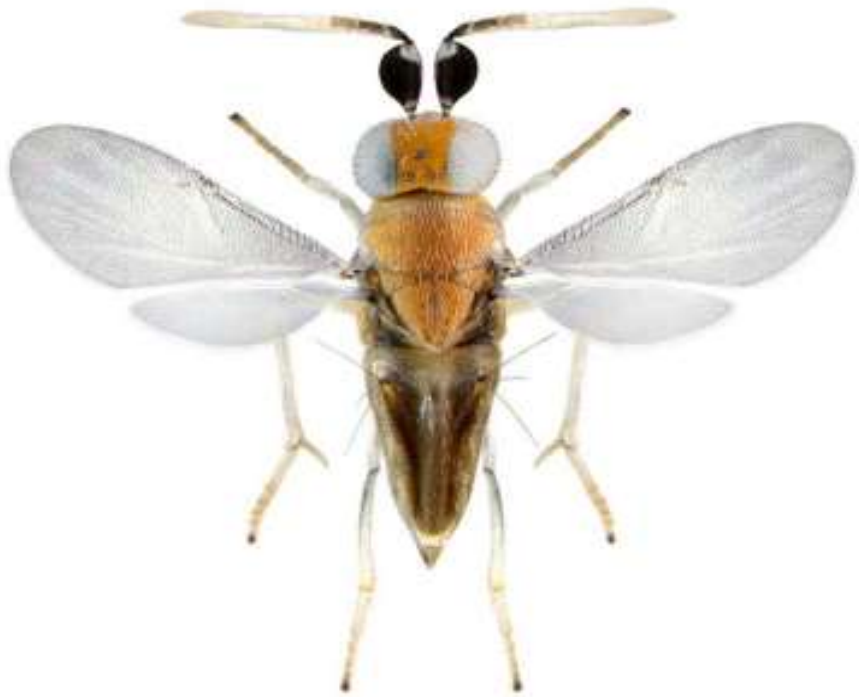


Figure 4:Adulte *d'Anagyrus mangicola*

Source : (IITA, 2024)

1.5.5. Biologie du développement de *Gyranusoidea tebygi*

À une température de 20 °C, le développement de *Gyranusoidea tebygi* prend 27,2 jours pour les mâles et 29,1 jours pour les femelles, ce qui suggère que la température joue un rôle clé dans la régulation de la vitesse de développement, mais qu'au-delà d'un certain seuil, l'impact est réduit (Kemabonta et Odebiyi, 2002). Kemabonta et Odebiyi (2002) ont observé que le

développement de *Gyranusoidea tebygi* s'accélère avec l'augmentation de la température. Toutefois, à des températures de 30 et 33 °C, la durée de développement des différents stades reste quasi identique et la température optimale pour la reproduction de *Gyranusoidea tebygi* se situe autour de 30 °C, où la production maximale de progéniture est observée.Kemabonta et Odebiyi (2002) ont montré que la longévité des adultes de *Gyranusoidea tebygi* varie en fonction de la température. À une température de 33 °C, la durée de vie des adultes est de 15,3 jours, tandis qu'à 25 °C, elle s'élève à 21,5 jours.



Figure 5:Adulte du *Gyranusoidea tebygi*

Source : (IITA, 2024)

CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

Ce chapitre présente la méthodologie de l'étude qui a duré 90 jours au total. Il décrit les techniques utilisées pour comparer l'évolution des cochenilles farineuses du manguier sur deux plantes hôtes, *mangifera indica* et *Ficus thonningii*, et pour évaluer l'efficacité des parasitoïdes Gyranusoidea tebygi et Anagyrus mangicola dans la régulation des populations de cochenilles en conditions contrôlées.

2.1. Description de la zone d'étude

L'étude a été réalisée à l'insectarium de l'ISABU (Institut des Sciences Agronomiques du Burundi), situé à Bujumbura, dans la zone de Rohero, commune Mukaza. L'ISABU, créé en 1962, est un institut de recherche agronomique qui soutient le développement agricole du pays, notamment en travaillant avec les populations rurales et en développant des technologies agricoles durables. Le programme de défense et de protection des végétaux de l'ISABU, qui inclut également la recherche en entomologie, a été particulièrement impliqué dans cette étude.

Tableau 3: Coordonnées géographiques des sites de travail : ISABU, Bujumbura

Latitude	Longitude
3° 39' 26" 45"'	29° 36' 19" 97"'

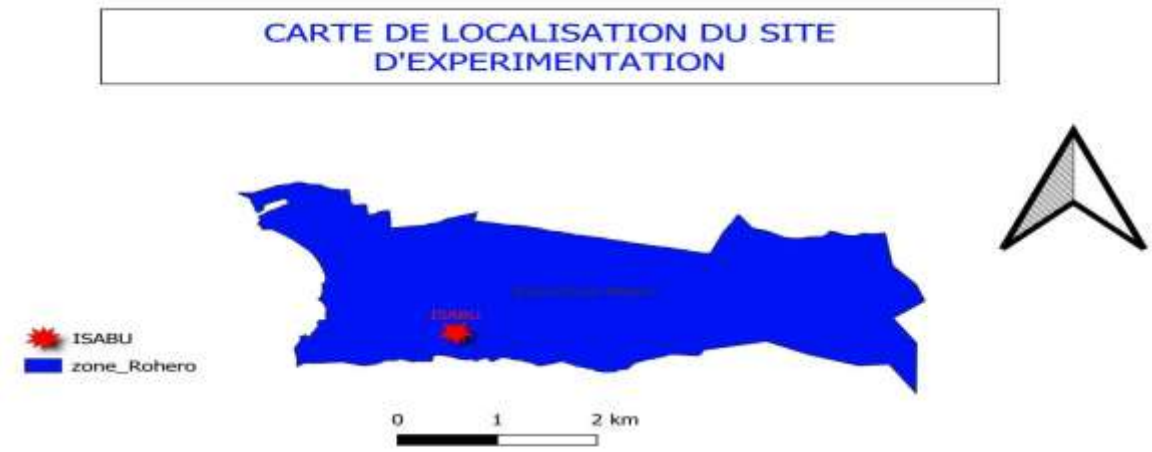


Figure 6: Localisation du site d'expérimentation

2.2. Intrants utilisés

2.2.1. Matériel végétal

Les plants de manguier de la variété Kent et des *Ficus* (*Ficus thonningii)* ont été utilisés comme hôtes pour les cochenilles farineuses du manguier.

2.2.2. Matériel animal

L'inoculum de cochenilles farineuses (*Rastrococcus invadens*) a été récolté sur des manguiers infestés dans la province de Bujumbura, tandis que les parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* étaient conservés dans l'insectarium de l'ISABU.

2.2.3. Engrais minéraux et organique

Des engrais NPK (70-30-70) ont été utilisés pour fertiliser les plants de manguier, conformément aux recommandations du guide technique de production des cultures fruitières et maraîchères au Burundi. Une fumure organique a également été ajoutée à la terre dans une proportion de 1/3.

2.2.4. Matériel technique

Les manipulations ont impliqué l'utilisation de divers équipements : sécateurs pour le prélèvement des échantillons, boîtes en plastique pour le transport des échantillons, GPS pour la prise de coordonnées géographiques, et loupes pour l'identification des stades de développement des cochenilles farineuses. Des pots en plastique de 25 cm de diamètre et 35 cm de hauteur ont servi pour la culture des plants, et des cages d'élevage de 1 m × 75 cm × 75 cm ont été utilisées pour maintenir un environnement contrôlé pour les cochenilles farineuses et leurs parasitoïdes. Un aspirateur a aussi été utilisé pour capturer les parasitoïdes, afin d'assurer une gestion précise des populations.

2.3. Méthodologie

2.3.1. Dispositif expérimental

Un dispositif expérimental en blocs complets randomisés avec 3 répétitions a été mis en place pour comparer l'évolution des populations de cochenilles farineuses entre les deux plantes hôtes (*Ficus thonningii* et *Mangifera indica*). Trois cages ont été affectées aux manguiers et trois autres aux ficus. Cette expérience a duré 42 jours au total. Un deuxième essai a été mis en place pour mieux comprendre l'évolution des populations de cochenilles farineuses en fonction des stades de croissance.

Dans cet essai, chaque plant a été volontairement infesté avec 10 larves de deuxième stade et 5 adultes femelles avant d'être mis en cage. Il a permis d'étudier l'évolution des populations de cochenilles farineuses en fonction des stades de développement et de recueillir des données plus détaillées pour modéliser la croissance des populations. Les observations ont été réalisées tous les 11 jours. Ce deuxième essai a donc duré 33 jours, pendant lesquels les données ont été collectées à des intervalles réguliers pour chaque groupe.

Pour évaluer l'efficacité des parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola*, un autre dispositif en blocs complets randomisés à deux traitements a été utilisé (avec trois cages traitées (5 parasitoïdes par cage) et trois cages témoins non traités).

2. 3.2. Production des plantes hôtes

Les plantes ont été produites par repiquage de boutures de *Ficus thonningii* (45 cm de long) dans des pots contenant un mélange de terre et de fumures organique et minérale. Ces boutures provenaient de ficus cultivés à Kirasa, dans la province de Bujumbura. Les pots ont été placés dans un endroit modérément ombragé, tandis que les plants de manguier ont été achetés auprès de producteurs locaux.

2.3.3. Infestation et suivi des populations de cochenilles

Des plants de manguier (3 mois, 40 cm de hauteur,20 feuilles) et de ficus (2 mois, 30 cm de hauteur,6 feuilles) ont été utilisés dans l'expérience. Des feuilles infestées de cochenilles gravides ont été collectées et déposées sur les plantes hôtes pendant 48 heures selon un schéma aléatoire en forme de M. Après cette période, les feuilles ont été retirées et les plantes mises en cage pour maintenir un environnement contrôlé.

2.3.4. Collecte des données

Les cochenilles farineuses vivantes ont été comptées à l'aide d'une loupe à main. Les observations ont commencé le jour de l'inoculation. Les populations de cochenilles farineuses ont été suivies à quatre moments distincts pour le premier essai : jour 0 (introduction des feuilles infestées), jour 14, jour 28 et jour 42 (avec des sessions tous les 14 jours). Pour le deuxième essai, les populations ont été suivies à quatre moments distincts : jour 0 (introduction des feuilles infestées), jour 11, jour 22 et jour 33 (avec des sessions tous les 11 jours). Pour l'évaluation de l'efficacité des parasitoïdes, les observations ont été effectuées tous les 5 jours et portaient sur le nombre de cochenilles farineuses vivantes et parasitées avec distinction des

stades de croissance. Les données ont été enregistrées sur des fiches de collecte et saisies dans le logiciel Microsoft Excel 2019.

2.4. Analyse statistique des données

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel R Studio R version 4.4.2 (2024-10-31 ucrt). Plusieurs tests statistiques ont été réalisés pour analyser les résultats. Pour la comparaison de l'évolution des cochenilles farineuses entre le ficus et le manguier, le test de normalité de Shapiro-Wilk a été appliqué pour vérifier la distribution des données, suivi d'un test de transformation de rang aligné (ART) pour examiner l'effet combiné de la nature de la plante et du temps. Comme les données ne suivaient pas une distribution normale, des tests non-paramétriques ont été utilisés. Une régression linéaire a été réalisée pour modéliser l'évolution des populations en fonction du temps et de la nature de la plante. Enfin, le test de Mann-Whitney a permis de comparer les populations de cochenilles farineuses entre les deux plantes à chaque moment de l'expérience.

Pour évaluer l'efficacité des parasitoïdes contre les cochenilles farineuses du manguier, plusieurs tests statistiques ont été utilisés pour évaluer les différences entre les cages traitées et non traitées. Le test de Shapiro-Wilk a vérifié la normalité des données, et le test de transformation de rang aligné (ART) a permis d'examiner l'effet combiné de l'état de la cage et du temps. Le test de Mann-Whitney (ou test de Wilcoxon) a comparé les moyennes des populations de cochenilles farineusesentre les cages parasitées et non parasitées.

Les références bibliographiques ont été organisées et mises en forme à l'aide du logiciel Mendeley.

2.5. Calcul du taux d'efficacité

Le taux de réduction des cochenilles a été calculé en comparant le nombre initial de cochenilles avec celui mesuré après l'introduction des parasitoïdes, en utilisant la formule suivante :

$$\text{Taux de reduction} = \left(\frac{N_{\text{départ}} - N_{\text{arrivée}}}{N_{\text{départ}}} \right) \times 100$$

Où:

- $N_{\text{départ}}$ est le nombre initial de cochenilles,
- $N_{\text{arrivée}}$ est le nombre de cochenilles après l'introduction des parasitoïdes.

CHAPITRE 3. PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Dans ce chapitre, les résultats obtenus lors de ce travail sont présentés et discutés. Les résultats concernent principalement les variables suivantes : (i) le nombre total des cochenilles farineuses du manguier (ii) le nombre des parasitoïdes, et (iii) le nombre total des momies.

3.1. Présentation des résultats

3.1.1. Évolution des populations de cochenilles farineuses du manguier (*Rastrococcus invadens)*

L'évolution des populations de cochenilles farineuses a été observée sur deux types d'hôtes : le manguier et le ficus, pendant une période de 42 jours.

Sur base de la figure 7 ci-bas, au Jour 0, les populations initiales de *Rastrococcus invadens* étaient plus élevées sur le manguier, avec une moyenne de 20,75 cochenilles farineuses par plante, comparativement au ficus, où une moyenne de 15,33 cochenilles farineuses par plante a été observée. Cependant, au bout de 14 jours, les populations de cochenilles farineuses étaient presque égales sur les deux hôtes, avec une moyenne de 20,95 cochenilles farineuses sur le manguier et 20 cochenilles farineuses sur le ficus. Apres 28 jours, une inversion a eu lieu : les populations sur le manguier ont diminué à 15,33 cochenilles, tandis que celles sur le ficus ont augmenté à 21,25 cochenilles. Enfin, au Jour 42, à la fin de l'expérience, une différence marquée a été observée. Les populations de cochenilles sur le manguier ont atteint 57 cochenilles farineuses, tandis que celles sur le ficus ont explosé pour atteindre 142 cochenilles farineuses, indiquant que le ficus est devenu un hôte plus favorable à long terme pour les cochenilles farineuses.

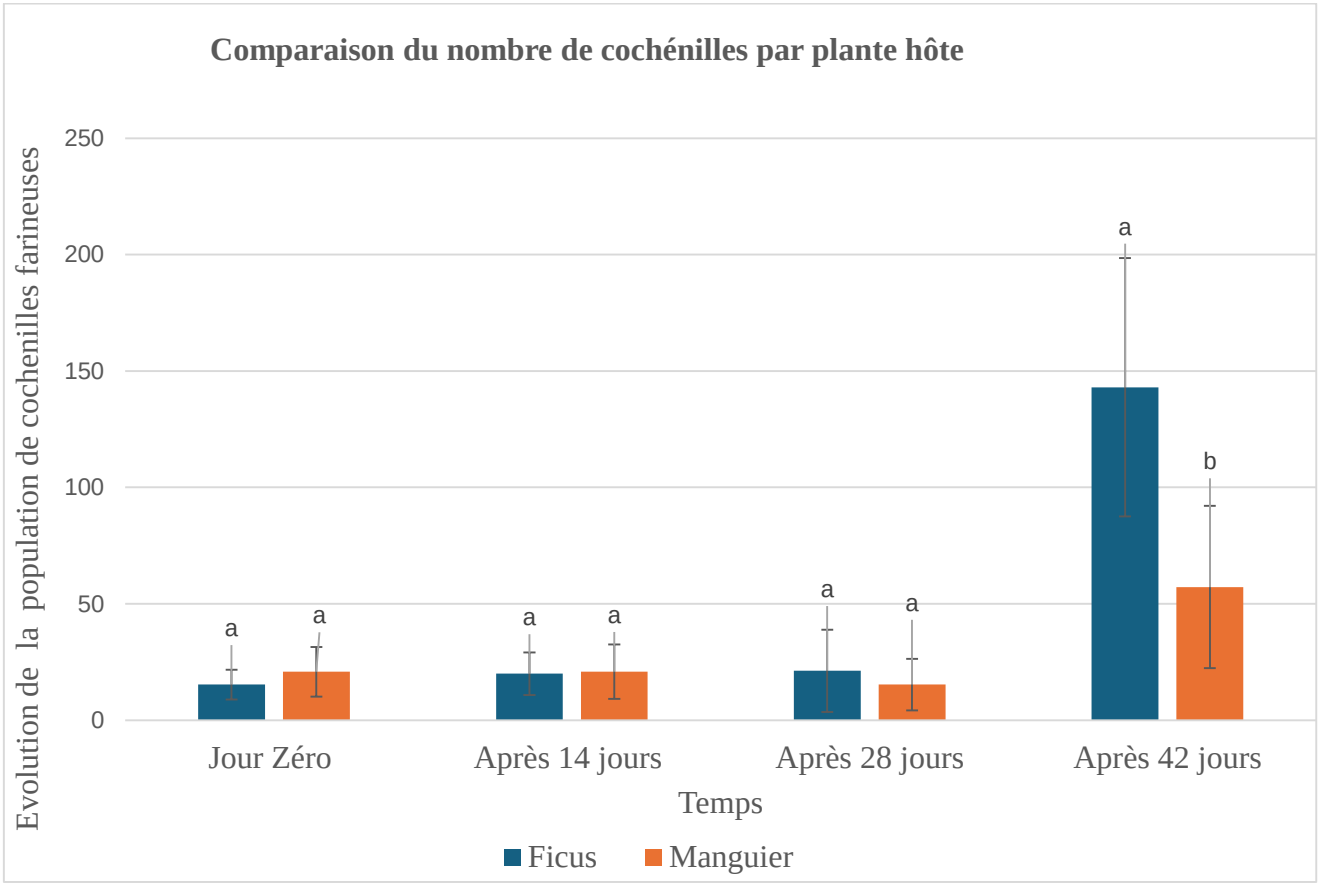


Figure 7: Evolution des populations de cochenilles sur le manguier et le ficus pendant une période de 42 jours

L'ART a révélé une différence significative (p-value = 5.1205e-07) entre les hôtes (Annexe 4) et une différence statistiquement significative (p-value = 1.7119e-12) entre les populations de cochenilles farineuses en fonction de la date de collecte. Il est important de noter qu'aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les populations sur le manguier et le ficus jusqu'à 28 jours. Cependant, après 42 jours, une différence très marquée (p-value de 2.14e-13) a été constatée (Annexe 5).

3.1.2. Relation entre stades de croissance des cochenilles farineuses et la dynamique de leur population

Un second essai a été mené pour étudier plus en profondeur la relation entre les stades de croissance des cochenilles farineuses et leur abondance sur les deux types d'hôtes.

Bien que l'expérience ait présenté des paramètres expérimentaux, légèrement différents, les résultats obtenus ont confirmé les tendances observées lors du premier essai, tout en mettant en lumière des nuances importantes sur la variation des populations à différents stades.

La Figure 8 ci-après illustre l'évolution des populations de *Rastrococcus invadens* sur le manguier et le ficus pendant une période de 33 jours.

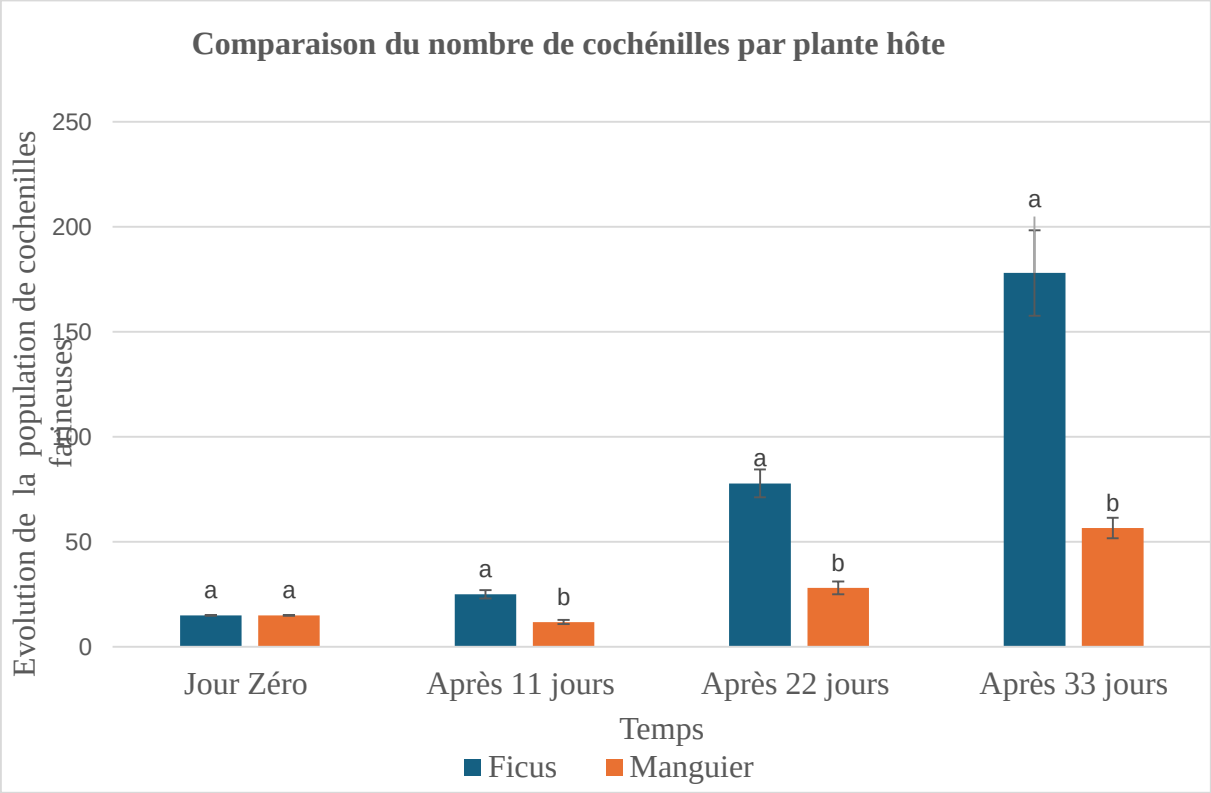


Figure 8: Evolution des populations de cochenilles Rastrococcus invadens sur le manguier et le ficus pendant une période de 33 jours

Immédiatement après l'inoculation, au Jour 0, les populations moyennes des cochenilles farineuses étaient identiques sur les deux hôtes, avec 15 cochenilles par plante. Cependant, après 11 jours, une différence notable est apparue, avec une population plus élevée sur le ficus (moyenne = 25) par rapport au manguier (moyenne = 11,83). Cette tendance s'est accentuée au bout de 22 jours (le 21 décembre 2024), avec 77,75 cochenilles farineuses sur le ficus et 28,08 sur le manguier. Enfin, au Jour 33 (le 31 décembre 2024), la population des cochenilles farineuses sur le ficus a continué d'augmenter pour atteindre 178 contre 57 sur le manguier.

L'ART a révélé un effet significatif (p-value = 5.1205e-07) de la nature de l'hôte (annexe 6) mais il a aussi montré une différence très hautement significative (p-value = 1.7119e-12) selon la date de collecte (Annexe 6). Une augmentation exponentielle de la densité des cochenilles farineuses a été observée, particulièrement sur le ficus. En outre, les corrélations entre les stades de croissance des cochenilles et leur nombre total ont montré des associations significatives (p-value < 0.001) notamment entre le stade larvaire (Annexe 9) et le nombre total de cochenilles

farineuses, ainsi qu'entre les adultes femelles et le nombre total de cochenilles (p-value < 0.001) (Annexe 9).

3.1.3. Efficacité des parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* dans la régulation de *Ratrococcus invadens*

La figure 9 ci-bas présente l'évolution des populations de *Ratrococcus invadens* dans les cages parasitées et non parasitées au fil du temps. Les cages parasitées montrent une diminution progressive et statistiquement significative du nombre de cochenilles farineuses, contrairement aux cages non parasitées où la population reste stable.

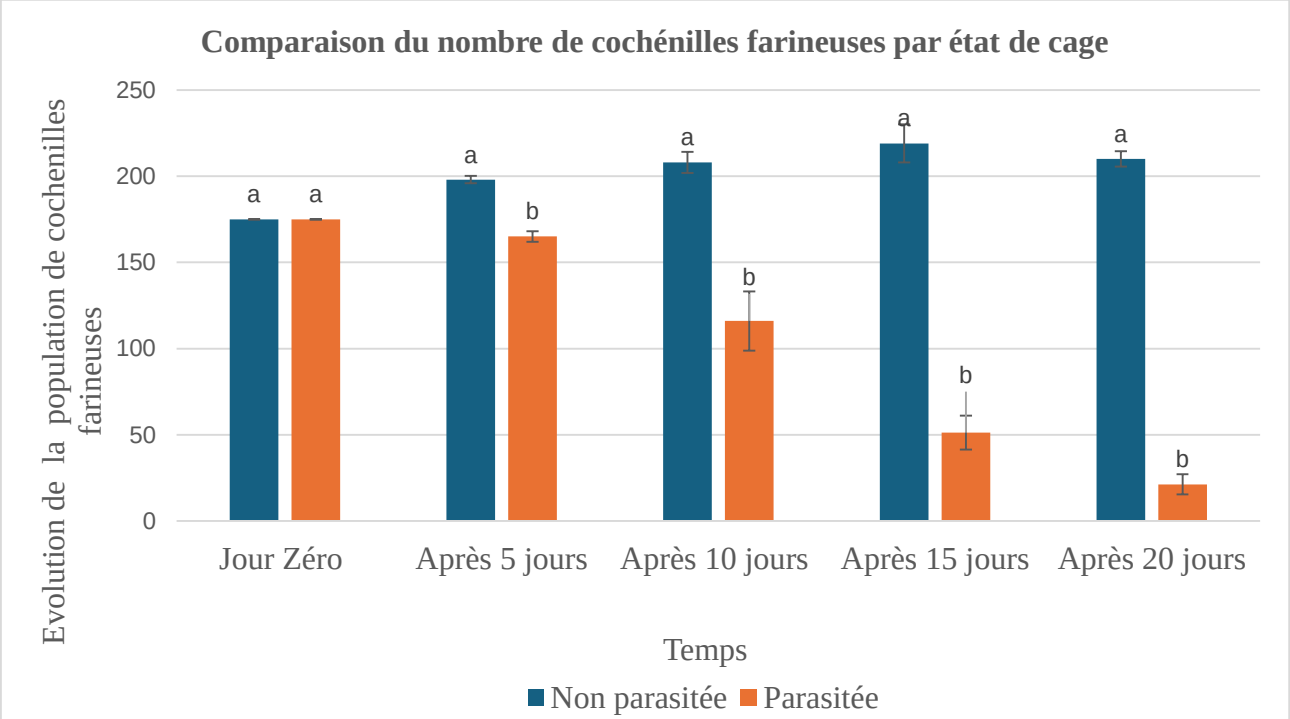


Figure 9: Dynamique des populations de *Ratrococcus invadens* dans les cages parasitées et non parasitées au cours des 20 jours d'observation

Dès le début de l'expérience jour 0 (le 19 novembre 2024), les populations de *Rastrococcus invadens* étaient identiques dans les cages parasitées et non parasitées, avec une moyenne de 175 cochenilles farineuses par cage. Cependant, après 5 jours (le 24 novembre 2024), une diminution notable a été observée dans les cages parasitées (moyenne = 165,33 cochenilles farineuses), tandis que la population dans les cages non parasitées est restée plus élevée (moyenne = 198,33 cochenilles farineuses).

Après 10 jours (le 29 novembre 2024), les cages parasitées ont montré une réduction importante (moyenne = 116 cochenilles farineuses), tandis que les cages non parasitées contenaient encore une population relativement élevée (moyenne = 208,33 cochenilles farineuses). À 15 jours (le 04 décembre 2024), la population dans les cages parasitées est descendue à 52 cochenilles farineuses, et après 20 jours (le 09 décembre 2024), seulement 21,33 cochenilles farineuses étaient présentes, tandis que les cages non parasitées ont maintenu une population de 210 cochenilles farineuses. Des différences statistiquement significatives (p-value < 0.05) ont été observées à partir du cinquième jour, avec des différences continues et marquées à chaque point de mesure subséquent (jour 10, jour 15, jour 20) (Annexe 10). Les résultats ont également montré des différences statistiquement significatives (p-value < 1.1485e-07) entre les cages parasitées et non parasitées (Annexe 10) avec un taux de réduction des cochenilles de 87,8% (Annexe 12), ainsi qu'entre les différentes dates de l'étude (p-value < 4.7561e-11) (Annexe 10).

3.1.4. Évolution comparative des momies et des parasitoïdes

Les résultats présentés dans la figure 10 montrent l'évolution du nombre de momies de *Rastrococcus invadens* parasitées par *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* ainsi que du nombre de parasitoïdes sur une période de 20 jours.

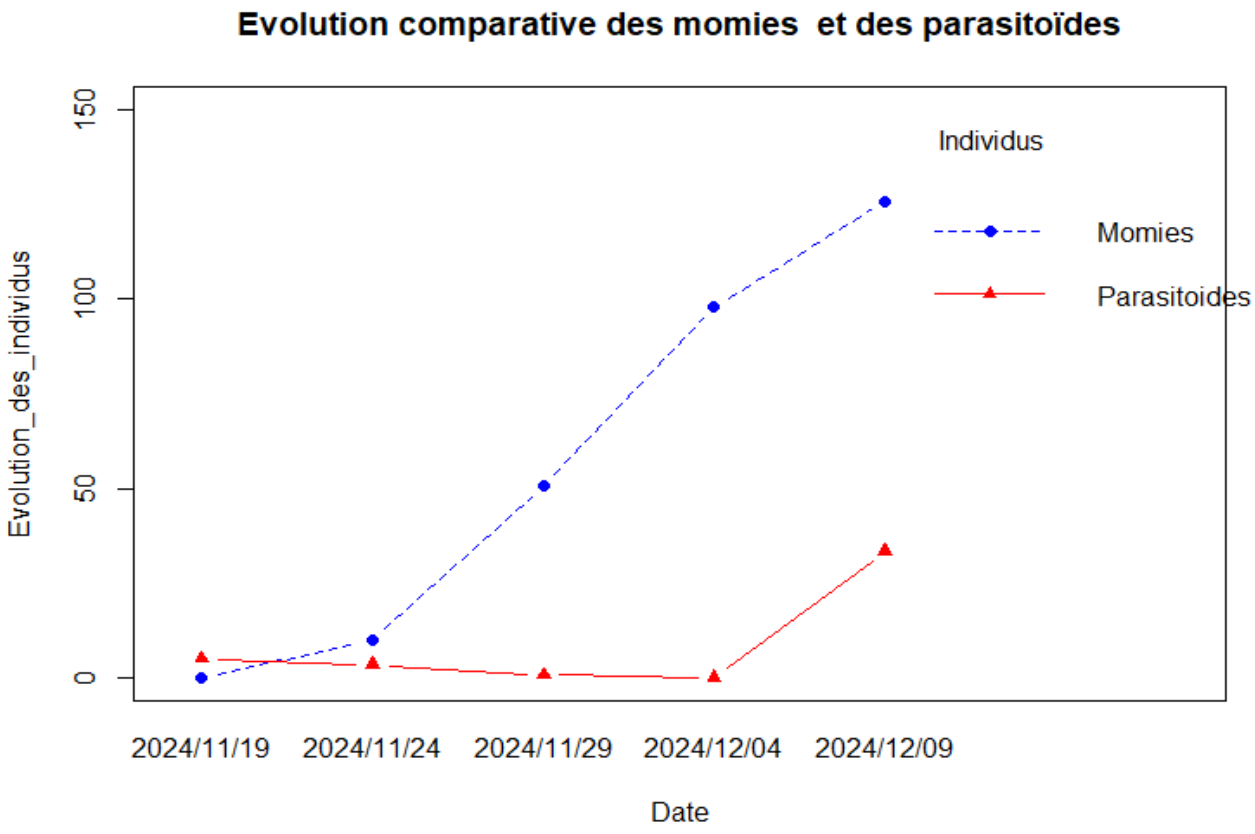


Figure 10: Evolution comparative des momies et des parasitoïdes

Au début de l'expérience, jour 0 (le 19 novembre 2024), aucune momie n'était présente, ce qui était attendu, car les parasitoïdes n'avaient pas encore eu le temps d'agir. À ce moment-là, une moyenne de 5 parasitoïdes était observée par unité d'observation.

Après 5 jours (le 24 novembre 2024), les résultats ont montré une légère apparition des momies, avec une moyenne de 10 momies observées, tandis que le nombre moyen de parasitoïdes avait chuté à 3. Cette diminution des parasitoïdes se poursuit tout au long de l'expérience. Au bout de 10 jours (le 29 novembre 2024), le nombre moyen de momies avait considérablement augmenté, atteignant 50, alors que le nombre de parasitoïdes était tombé à 0,5.

Les tendances observées se sont intensifiées au fur et à mesure que les jours passaient. Après 15 jours (le 4 décembre 2024), les momies avaient atteint 98 en moyenne, et aucun parasitoïde n'était plus présent. Cette évolution se poursuit jusqu'au 9 décembre 2024 (jour 20), où le nombre moyen de momies atteint 125, tandis que les parasitoïdes sont revenus à une moyenne de 33.

3.1.5. Évolution des momies par stade de croissance des cochenilles farineuses

La figure 11 illustre l'évolution des momies de *Rastrococcus invadens* parasitées selon les différents stades de croissance des cochenilles (stade 1, stade 2, stade 3, et femelles adultes) sur une période de 20 jours.

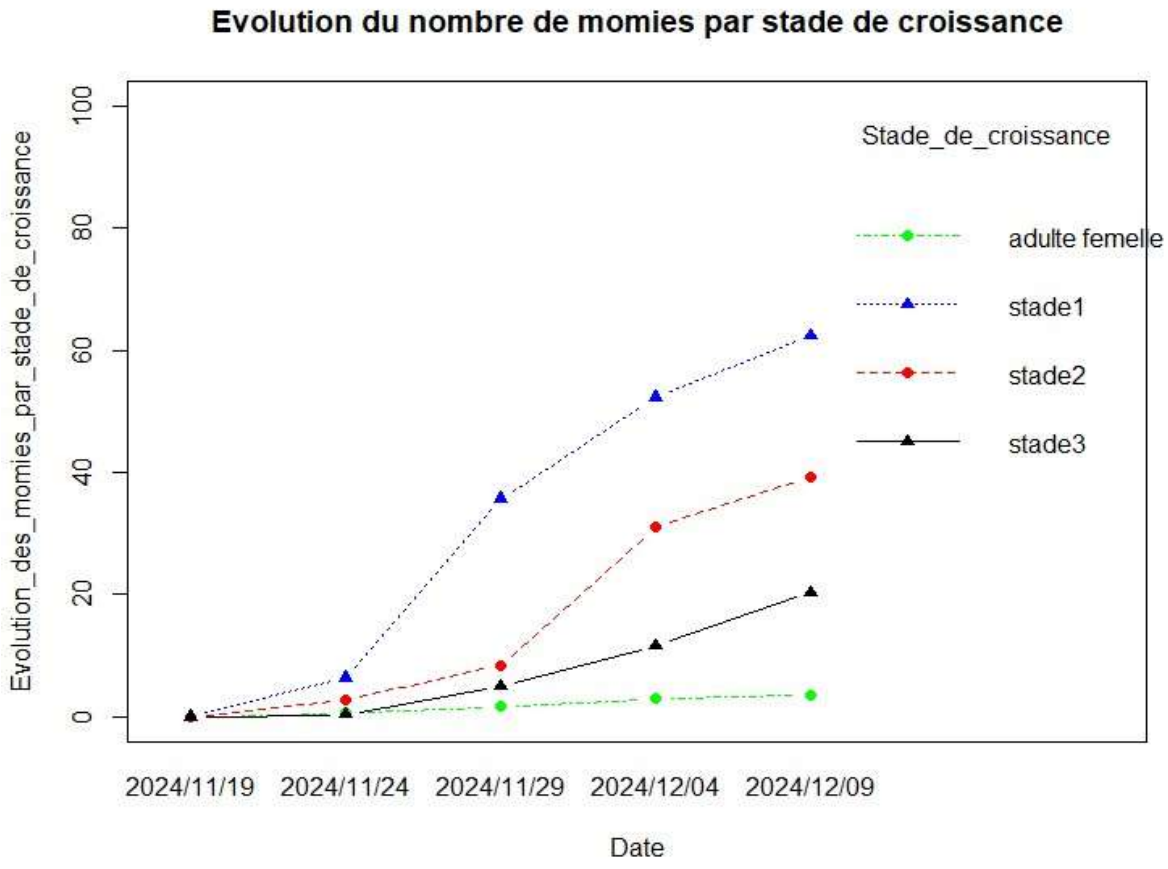


Figure 11: Evolution des momies par stade de croissance des cochenilles

Sur base de la figure 11 ci-haut mentionnée, au jour 0, aucune cochenille n'était parasitée. Cependant, après 5 jours (le 24 novembre 2024), les résultats montrent que les parasitoïdes commencent à cibler les cochenilles farineuses, particulièrement au stade 1. La moyenne des cochenilles farineuses du stade 1 parasitées est de 6,33, tandis que les cochenilles farineuses du stade 2 sont à 2,66, et très peu de cochenilles farineuses du stade 3 sont parasitées (0,33).

L'impact des parasitoïdes sur les cochenilles farineuses augmente au fil du temps. Apres 10 jours (le 29 novembre 2024), la moyenne des cochenilles farineuses parasitées au stade 1 est de 35,66, tandis que celles du stade 2 et du stade 3 sont respectivement à 8,33 et 5. Ce phénomène s'intensifie encore au 4 décembre 2024 (jour 15), où les cochenilles farineuses du stade 1 parasitées sont au nombre de 52,33, tandis que celles du stade 2 et du stade 3 sont à 31 et 11,66 respectivement.

Enfin, après 20 jours (le 9 décembre 2024), la tendance se confirme avec un total de 62,33 cochenilles du stade 1 parasitées, 39,33 au stade 2, et 20,33 au stade 3. Les femelles adultes parasitées restent relativement moins nombreuses, avec 3,66 en moyenne.

3.1.6. Limites de l'étude

A l'issue de ce travail les résultats sont liés aux contraintes suivantes :

- Conditions climatiques non contrôlées et effet de serre : l'insectarium n'était pas équipé de climatiseurs ou d'un système de régulation de la température et de l'humidité, ce qui a entraîné une gestion imparfaite des conditions climatiques en fonction de la météo environnante. Parfois, les températures à l'intérieur de l'insectarium ont augmenté de manière non contrôlée, créant des effets de serre qui ont perturbé les conditions optimales nécessaires pour l'étude.
- Problèmes liés à l'identification des parasitoïdes : le manque d'équipement spécialisé pour distinguer clairement les deux espèces de parasitoïdes, ainsi que la distinction claire entre les sexes a constitué une limite majeure.
- L'absence d'équipements pour l'analyse de la composition chimique des feuilles des plantes hôtes.
- Durée limitée de l'expérience : le temps imparti pour mener l'expérience a été relativement court, limitant ainsi l'observation complète des effets à long terme des parasitoïdes sur les populations de *Rastrococcus invadens*.
- Portée géographique limitée : l'étude a été menée dans un espace spécifique, limité à une zone géographique restreinte. Cela empêche la généralisation des résultats à d'autres zones ou d'autres types d'hôtes. La variabilité des conditions climatiques et des types de sols dans d'autres régions pourrait influencer différemment les populations de *Rastrococcus invadens* et la réussite des stratégies de contrôle biologique.

3. 2. Discussion des résultats

3. 2. 1. Évolution des populations de cochenilles farineuses sur le manguier et le ficus

Les résultats de cette étude montrent que, dans un premier temps, les populations de *Rastrococcus invadens* étaient plus élevées sur le manguier, bien que ces populations aient tendance à décliner avec le temps. Ce déclin pourrait être lié à une dégradation progressive de la qualité de l'hôte, influencée par des facteurs abiotiques tels que la température et l'humidité, ainsi que par des modifications dans la composition chimique des feuilles du manguier, qui deviennent moins favorables à long terme pour la survie des cochenilles farineuses adultes. Ce phénomène est en accord avec les observations de Kemabonta & Odebiyi (2002), qui ont montré que le manguier, dans certaines circonstances, peut être exposé à un stress phytosanitaire qui nuit à la survie des insectes au fur et à mesure que les feuilles se dégradent.

Les recherches menées par Awmack & Leather (2002) établissent que des végétaux de moindre qualité engendrent des comportements reproductifs moins propices chez les insectes, comme une réduction du taux d'oviposition ou des modifications dans la taille et la qualité des œufs. Cette étude pourrait attribuer l'inversion de la population observée après 28 jours à ce phénomène. De plus, Awmack & Leather (2002) ont prouvé que la qualité de la plante hôte a un impact sur les stratégies reproductives des insectes herbivores, spécifiquement en ce qui concerne la fertilité et le ratio des sexes, pouvant modifier à long terme la dynamique des populations de cochenilles.

Cette évolution est aussi en accord avec diverses recherches antérieures indiquant que la population de *Rastrococcus invadens* est fortement déterminée par les attributs biotiques des plantes hôtes, tout comme par les éléments abiotiques de son environnement. Notamment, BEN-DOV (1994) et Nébié (2017) ont mis l'accent sur le rôle crucial de la plante hôte en tant qu'élément clé dans la dynamique des populations de cochenilles. En effet, la plante hôte fournit les nutriments indispensables à l'évolution des insectes, ce qui affecte leur taux de mortalité, leur reproduction et leur répartition géographique.

L'hypothèse est soutenue par les travaux de Matokot et al (1992) ainsi que Kemabonta et Odebiyi (2002) qui démontrent que la qualité de la plante hôte, en particulier sa nutrition et ses systèmes de défense, influence directement la pérennité des cochenilles. Il est donc envisageable que le manguier perde de sa convenance à long terme en raison d'une

accumulation de stress environnemental, ce qui pourrait rendre les feuilles moins appropriées pour les besoins des cochenilles adultes.

Cette supposition est appuyée par les études de Bokonon-Ganta et al. (1995) ainsi que de l'ANSES (2015), qui mettent en avant un taux de mortalité élevé chez les cochenilles, une grande portion des larves ne parvenant pas à atteindre l'âge reproducteur.

Le Ficus paraît, comparativement, fournir un milieu plus stable pour la reproduction des cochenilles. Cette affirmation est corroborée par des recherches sur la durée du cycle de vie du *Rastrococcus invadens*, qui s'avère plus courte sur le Ficus que sur le manguier (Akintola & Ande, 2009). Cette dynamique démographique est fortement conditionnée par les propriétés physiologiques et phénologiques de cet hôte plutôt qu'aux éléments climatiques. De plus, le Ficus paraît fournir un environnement plus propice à *Rastrococcus invadens* comparé au *Mangifera indica*, par ses caractéristiques physiologiques et nutritives. Awmack & Leather (2002) ont prouvé que le fort contenu en glucides et en nutriments trouvé dans les tissus du Ficus favorise la survie et le développement des cochenilles, tandis que Kapranas & Tena (2015) ont également mis l'accent sur l'importance de la composition nutritive des plantes hôtes, en particulier les niveaux d'azote et de carbone, pour la durabilité des populations de cochenilles. Par conséquent, grâce à la robustesse de son feuillage et sa capacité à résister aux conditions environnementales, le ficus se présente comme un habitat plus pérenne pour *Rastrococcus invadens* par rapport au manguier sur une longue durée.

Une connaissance approfondie de la teneur en nutriements tels que les protéines et les sucres pourrait aider à comprendre la manière dont le ficus favorise l'expansion des populations de cochenilles. Par ailleurs, l'étude menée par Belete (2018) sur la résistance chimique du ficus face aux infestations de longue durée pourrait éclairer pourquoi cette espèce végétale crée un milieu plus propice à la multiplication des cochenilles que le manguier. Cette supposition est appuyée par l'étude de Awmack & Leather (2002), qui ont constaté que les trichomes, la texture foliaire et la résistance inhérente des plantes hôtes face aux tensions environnementales sont déterminants dans l'impact sur la reproduction des cochenilles.

3.2.2. Efficacité des parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* dans la régulation de *Rastrococcus invadens*

Les conclusions de l'étude démontrent une réduction graduelle et notable des populations de *Ratrococcus invadens* dans les cages où ils sont parasités, ce qui témoigne sans équivoque de

l'efficacité des parasitoïdes pour maîtriser ce nuisible. Plusieurs auteurs, y compris Lenli & Lapodini (2009), ont également prouvé cette efficacité en affirmant que ces parasitoïdes se révèlent être des agents de lutte biologique performants contre *Rastrococcus invadens*.

Ainsi selon Godfray & Waage (1991), des parasitoïdes tels que *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* ont la capacité de déposer leurs œufs à l'intérieur de l'hôte, perturbant de ce fait les comportements alimentaires et reproductifs de la cochenille.

3.2.3. Évolution comparative des momies et des parasitoïdes

L'évolution des momies par stade de croissance des cochenilles montre une nette augmentation au fur et à mesure du temps alors que les parasitoides ont diminué pendant les 15 premiers jours de l'expérience. Dès le cinquième jour, on a remarqué une diminution significative de la population de cochenilles, qui a continué à baisser jusqu'au vingtième jour.

Au cours des cinq premiers jours, les parasitoïdes semblent être dans une phase d'examen et d'adaptation, ce qui est en accord avec l'idée de Boavida et al. (1995). Ils indiquent que les parasitoïdes prennent un certain temps pour s'ajuster à leur hôte avant de démarrer leur cycle de reproduction. Leur attaque débute généralement par une évaluation de l'hôte, souvent via des piqûres sur la tête des cochenilles. Cette notion est également appuyée par FAO (2019) qui suggère qu'un certain temps peut être nécessaire avant d'atteindre un équilibre entre les parasitoïdes et leurs hôtes dans les milieux d'introduction. L'impact direct des parasitoïdes sur les populations de cochenilles peut avoir été retardé par cette période d'examen. Par la suite, les parasitoïdes ont manifesté une plus grande activité et ont vite commencé à déposer des œufs chez leurs hôtes.

L'observation d'une diminution du nombre de parasitoïdes suite à l'apogée de leur activité peut s'expliquer par leur cycle de vie. D'après Kemabonta et Odebiyi (2002), la durée du développement des parasitoïdes est affectée par la température, et les adultes ont une longévité de 18 à 23 jours lorsqu'ils sont exposés à une température de 30 °C. Cette durée de vie limitée, associée à la conclusion de leur cycle biologique, pourrait être la raison derrière la diminution du nombre de parasitoïdes après les premiers jours. Cependant, l'accroissement du nombre de parasitoïdes dans les cages parasitees vers la fin de l'expérience pourrait être dû à l'apparition d'une nouvelle génération, un phénomène que l'on observe également dans les recherches de Narasimham & Chacko (1988), qui constatent la reproduction incessante de ces parasitoïdes.

Cette régénération et l'émergence de nouveaux parasitoïdes soutiennent l'efficacité à long terme de *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* pour contrôler les populations de *Rastrococcus invadens* et elle est en accord avec Guy Boivin (2001) qui stipule qu'une fois établis dans l'écosystème, les parasitoides continuent à se multiplier tant que la cochenille du manguier existe.

3.2.4. Évolution des momies par stade de croissance des cochenilles

Ces momies étaient plus abondantes dans les stades 1, 2 et 3 des cochenilles, tandis que le stade adulte présentait moins de momies. Les conclusions sont concordantes avec les recherches de Boavida et al. (1995) et Bokonon-Ganta et al. (1996), qui ont mis en évidence que les parasitoïdes ont une préférence pour parasiter les stades juvéniles des cochenilles. Cette inclination s'aligne avec les recherches de Bokononganta et al (1995), qui précisent que les stades immatures sont plus susceptibles d'être parasités et plus faciles à parasiter à cause de leur comportement et de leurs caractéristiques physiologiques. Le constat d'une forte présence de momies des stades 1, 2 et 3 renforce l'hypothèse que les parasitoïdes ont une affinité particulière pour ces phases, appuyée aussi par les propos de Bokonon-Ganta et al. (1996) Bokonon et al. (1996), qui ont obtenu des conclusions comparables en ce qui concerne d'autres parasitoïdes. Comme le souligne Moore & Cross (1992), les stades plus avancés ont présenté une parasitisation moins prononcée, probablement due à la résistance supérieure des cochenilles adultes. D'après Boavida et al. (1995), les cochenilles adultes se défendent avec vigueur en battant les filaments de leur abdomen et de leur queue. Cette observation est en accord avec les recherches de Nampala et al. (2016), qui mettent l'accent sur le fait que la vulnérabilité des cochenilles baisse au fil de leur développement.

CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTIONS

Conclusion générale

Cette étude a permis de mieux comprendre l'évolution des populations de *Rastrococcus invadens* sur deux plantes hôtes distinctes, le manguier (*Mangifera indica*) et le *Ficus* spp. Le manguier, bien que plus attrayant pour les cochenilles au début, semble devenir progressivement moins favorable à long terme. Ce phénomène peut être attribué à la dégradation progressive de la qualité des feuilles, influencée par des facteurs abiotiques tels que la température et l'humidité, qui rendent les conditions moins optimales pour la survie des cochenilles farineuses adultes. En revanche, le ficus semble offrir un environnement plus stable et durable, favorisant la survie et la reproduction des cochenilles farineuses sur des périodes plus longues, ce qui souligne l'importance de la résistance physiologique de cet hôte face aux conditions environnementales variables. Ce qui permet de confirmer la première hypothèse de cette étude stipulant que « *Des disparités notables sont observées dans l'évolution des populations de cochenilles farineuses entre les espèces de Ficus et de Manguier* ».

En ce qui concerne le contrôle biologique de *Rastrococcus invadens,* l'étude a révélé que les parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* sont des agents de lutte biologique très efficaces. Leur présence a permis une réduction significative des populations de cochenilles farineuses au fil du temps, bien que leur activité ait fluctué au cours de l'expérience. Cette fluctuation pourrait être liée à un temps d'adaptation nécessaire avant que les parasitoïdes ne commencent à affecter de manière marquée les populations de cochenilles farineuses. Toutefois, l'efficacité des parasitoïdes reste prometteuse, car de nouvelles générations se sont rapidement rétablies, renforçant ainsi leur potentiel à long terme pour contrôler *Rastrococcus invadens*. Ces résultats confirment que les parasitoïdes peuvent jouer un rôle clé dans la régulation des populations de cochenilles farineuses et offrent une stratégie viable pour la gestion de cette espèce nuisible dans des environnements agricoles et horticoles. Ce qui permet de valider la deuxième hypothèse de cette étude stipulant que « *Les parasitoïdes Gyranusoidea tebygi et Anagyrus mangicola peuvent être perçus comme des agents de biocontrôle efficaces pour gérer les cochenilles farineuses dans les cultures de manguier au Burundi* ».

.

Recommandations

Au regard des résultats de cette étude, plusieurs recommandations peuvent être émises afin d'améliorer la gestion des populations de *Rastrococcus invadens* et d'approfondir les recherches sur ce sujet :

- Au gouvernement

1. Allouer des ressources pour améliorer les infrastructures de recherche, y compris la régulation climatique dans les insectariums de l'ISABU.
2. Financer l'acquisition d'équipements spécialisés pour l'identification et l'analyse chimique de l'ISABU.

- A l'EANSI

1. Permettre aux étudiants de formuler leurs sujets de recherche dès le début du cycle de master, afin de surmonter la pression du temps imparti aux travaux de mémoire et de leur offrir la possibilité de mener des études plus approfondies sur ce sujet.
2. Intégrer des formations avancées sur l'identification des insectes et la gestion des insectariums dans les programmes d'enseignement.
3. Favoriser des partenariats régionaux pour la recherche en contrôle biologique

- A l'ISABU

1. Optimiser l'espace de l'insectarium avec des compartiments modulables et des systèmes de régulation thermique et d'humidité.

2. Développer des solutions à faible coût pour la gestion climatique en attendant des équipements sophistiqués.

3. Investir dans des microscopes de haute résolution et des technologies de séquençage génétique pour améliorer l'identification des parasitoïdes.

4. Établir des partenariats pour réaliser des analyses chimiques des plantes hôtes ou investir dans des équipements internes.

5. Lancer des collaborations régionales pour valider les résultats dans différents contextes géographiques.

7. Adapter les programmes de formation en entomologie pour inclure des modules sur l'identification et l'analyse chimique des plantes hôtes.

❖ Aux organisations non-gouvernementales (ONG)

1. Fournir un soutien financier pour l'acquisition d'équipements nécessaires à la recherche et à la gestion des insectariums de l'ISABU.
2. Faciliter les partenariats entre chercheurs de l'ISABU, institutions et agriculteurs.
3. Promouvoir la formation des agriculteurs sur les pratiques agricoles durables et le contrôle biologique en utilisant les parasitoïdes.

❖ Aux agriculteurs

1. Adopter des pratiques agricoles favorisant la biodiversité et compatibles avec le contrôle biologique

❖ Aux chercheurs

1. Collaborer avec les responsables d'insectariums pour améliorer les conditions expérimentales.
2. Étendre les recherches pour observer les effets à long terme des parasitoïdes.
3. Tester l'efficacité du contrôle biologique dans diverses régions écologiques du Burundi.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Agounké, D., Agricola, U., & Bokonon-Ganta, H. A. (1988). Rastrococcus invadens Williams (Hemiptera: Pseudococcidae), a serious exotic pest of fruit trees and other plants in West Africa. *Bulletin of Entomological Research*, *78*(4), 695–702. https://doi.org/10.1017/S0007485300015558
2. Ahmad, S., Rao, H., Akhtar, M., Ahmad, I., Hayat, M. M., Iqbal, Z., & Nisar-ur-Rahman. (2011). Phytochemical composition and pharmacological prospectus of Ficus bengalensis linn. (Moraceae)- a review. *Journal of Medicinal Plant Research*, *5*(28), 6393–6400. https://doi.org/10.5897/JMPR11.455
3. Ahmed, F., Mueen Ahmed, K., Abedin, M., & Karim, A. (2012). Traditional uses and pharmacological potential of Ficus exasperata vahl. *Systematic Reviews in Pharmacy*, *3*(1), 15–23. https://doi.org/10.4103/0975-8453.107131
4. AIEA. (2024). *Agriculture et sécurité alimentaire : Contribution de l ' AIEA*. https://www.iaea.org
5. Akintola, A. J., & Ande, A. T. (2009). Life history and behaviour of Rastrococcus invadens Williams on Ficus thonningii in Nigeria. *Australian Journal of Crop Science*, *3*(1), 1–5.
6. ANSES. (2015). *AVIS et rapport de l'Anses relatif à « demande d'une évaluation du risque simplifiée (ERS) sur la cochenille asiatique, Rastrococcus invadens identifiée récemment en Guyane française »*. www.anses.fr
7. Atiwiwat, D., Aquilino, M., Devinsky, O., & Bardakjian, B. L. (2023). V-Mango: A functional-structural model of mango tree growth, development and fruit production. *Oxford University Press*.
8. Awmack, C. S., & Leather, S. R. (2002). Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, *47*(February 2002), 817–844. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145300
9. Azrag, A. G. A., Mohamed, S. A., Ndlela, S., & Ekesi, S. (2023). Invasion risk by fruit trees mealybug Rastrococcus invadens (Williams) (Homoptera: Pseudococcidae) under climate warming. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *11*(August), 1–14. https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1182370
10. Babin.R. (2023). *Fiche technique/ cultures ornementales en serre*.

11. Bamikole, M. A., & Ikhatua, U. J. (2010). Nutritional evaluation of Ficus thonningii-Panicum maximum mixtures in West African dwarf goats. *Nutrition and Food Science*, *40*(3), 280–288. https://doi.org/10.1108/00346651011043970
12. Belete, T. (2018). Defense Mechanisms of Plants to Insect Pests: From Morphological to Biochemical Approach. *Trends in Technical & Scientific Research*, *2*(2). https://doi.org/10.19080/ttsr.2018.02.555584
13. BEN-DOV. (1994). A systematic catalogue of the mealy bugs of the world (Insecta: Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae and Putoidae) with data on geograph ical distribution, host plants, biology and economic importance. *Intercept Limited*.
14. Boavida, Ahounou.M, Vos.M, Neuenschwander.P, & Alphen.M. (1995). Host Stage Selection and sex allocation by Gyranusoidea tebygi (hymenoptera:Encyrtidea),a parasitoid of the mango Mealybug,Rastrococcus invadens (homoptera:pseudococcidea). *Biological Control*, *5*, 487–496.
15. Bokonon-ganta, A. H., Neuenschwander, P., & Groote, H. De. (1995). Biological Control of the Mango Mealybug, Rastrococcus Invadens (Homoptera: Pseudococcidae) in Africa. *Biological Control*, *1994*, 437–443.
16. Bokonon-Ganta, A. H., Van Alphen, J. J. M., & Neuenschwander, P. (1996). Competition between Gyranusoidea tebygi and Anagyrus mangicola, parasitoids of the mango mealybug, Rastrococcus invadens: Interspecific host discrimination and larval competition. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *79*(2), 179–185. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1996.tb00824.x
17. Barolo, M. I., Ruiz Mostacero, N., & López, S. N. (2014). Ficus carica L. (Moraceae): An ancient source of food and health. *Food Chemistry*, *164*(April), 119–127. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.112
18. CABI. (2024). *Understanding mango mealybug – a significant crop pest*.
19. Chaudhary, L. B., Sudhakar, J. V., Kumar, A., Bajpai, O., Tiwari, R., & Murthy, G. V. S. (2012). Synopsis of the genus Ficus L. (Moraceae) in India. *Taiwania*, *57*(2), 193–216.
20. Corrales-Bernal et al. (2014). Effets in vitro e in vivo de la pulpa de mango (Mangifera indica cv. Azúcar) en la carcinogénesis de colon]. *Arch Latinoam Nutr.*, *64*, 16–23.
21. Diop, D., Mbaye, M. S., Sane, S., Noba, K., & Ba, T. (2018). Taxonomy of the genus Ficus in Senegal: contribution of morphological characters. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, *12(6)* (December), 2713–2737. https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i6.20

22. FAO. (2019). *Lutter contre la propagation mondiale des parasites et des maladies nuisibles aux plantes*.
23. FAO. (2021). *Le ravageur dit « cochenille farineuse du manguier » dans nos murs!*
24. FAO. (2023). *Enhance the preparedness and response capacity of the countries of the sub-regional office for eastern africa to the mango mealybug (rastrococcus invadens williams) (phase 1).* (p. 12p).
25. FAO. (2024). *Understanding and managing mango mealybug Rastrococcus invadens Williams (Hemiptera: Pseudococcidae)*. Notes and Queries.
26. Fayyaz, Khuram.S, Saim.N, Muhammad.U, & Syed.I. (2023). Mango Mealybug. In *PlantwisePlus Knowledge Bank*. https://doi.org/10.1079/pwkb.2015780016
27. Godfray, H. C. J., & Waage, J. K. (1991). Predictive Modelling in Biological Control: The Mango Mealy Bug (Rastrococcus invadens) and Its Parasitoids. *The Journal of Applied Ecology*, *28*(2), 434. https://doi.org/10.2307/2404560
28. Guy Boivin (2001). Parasitoïdes et lutte biologique: paradigme ou panacée. *Open Edition Journals*, 10p. https://doi.org/10.1126/science.330.6012.1725-d
29. Hala, N., Coulibaly, F., Adopo, A. N., N'Depo, O. R., & N'Goran, Y. (2013). Evaluation de l'efficacite de quatre formulations de Chlorpyriphos Ethyl contre la cochenille farineuse du manguier Rastrococcus invadens Williams (Homoptera: Pseudococcidae): Bilan de dix annees d'experimentation en côte d'invoire. *Agronomie Africaine*, *25*(3), 207–220.
30. Hala, N., Kehe, M., & Allou, K. (2004). Incidence de la cochenille farineuse du manguier Rastrococcus invadens Williams, 1986 (Homoptera ; Pseudococcidae) EN Côte d'ivoire. *Agronomie Africaine*, *16*, 29–36.
31. Hala, N., Kéhé, M., & Allou, K. (1986). Incidence de la cochenille farineuse du manguier Ratrococcus invadens Williams (Homoptera: Pseudococcidae) en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, *16*, 29–36. https://www.researchgate.net/publication/331345823
32. Hendrayana, Y., Widodo, P., Kusmana, C., & Widhiono, I. (2019). Diversity and distribution of figs (Ficus spp.) across altitudes in gunung tilu, Kuningan, West Java, Indonesia. *Biodiversitas*, *20*(6), 1568–1574. https://doi.org/10.13057/biodiv/d200612
33. Hoddle, M. S., & Van Driesche, R. G. (2009). Biological Control of Insect Pests. In *Encyclopedia of Insects* (Second Edi). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00033-3

34. IPPC. (2019). *Official Pest Reports – Rwanda (RWA-02/1 of 2019-10-28) Mango mealybug: Rastrococcus invadens Williams*. https://doi.org/10.1017/s0007485399000218
35. IPPC. (2022). *Official Pest Reports – Burundi (BDI-01/1 of 2022-01-16) Cochenille farineuse du manguier.*
36. Ipulet, P., & Kasenene, J. (2008). Diversity of Genus Ficus L. (Moraceae) in farmlands and pastoral areas in Buganda region, central Uganda. *African Journal of Ecology*, *46* (SUPPL. 1), 52–58. https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2008.00929.x
37. IITA. (2024). *Successful biological control of mango mealybug in Burundi, Rwanda, and Uganda*. Annual Review of Entomology. papers3://publication/uuid/3CB51458-7BDB-45B5-94FB-754F527A0B4
38. Jourdheuil et al. (2001). la lutte biologique :un aperçu historique. , . *Courrier de La Cellule Environnement de l'INRA*, 37–60.
39. Kapranas, A., & Tena, A. (2015). Encyrtid parasitoids of soft scale insects: Biology, behavior, and their use in biological control. *Annual Review of Entomology*, *60*(January), 195–211. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-021053
40. Kemabonta K. & Odebiyi.J. (2002). 24 Kemabonta and Odebiyi life table studies of G tebygi.pdf. *Ghana Journal Sciences*, *35*, 23–31.
41. Kouame, K., Yves Magloire, M., Ossey Robert, N., NKlo, H., Adama, C., & Karna Zoumana, Y. (2024). Actualisation De La Repartition De La Cochenille Farineuse Du Manguier Et Ses Ennemis Naturels Dans Les Regions Du Poro Et Tchologo (Nord, Cote Divoire). *International Journal of Advanced Research*, *12*(08), 727–738. https://doi.org/10.21474/ijar01/19307
42. Lenli.C, & Lapodini.M. (2009). Biological control program for the mango mealy bug rastrococcus invadens williams (homoptera : pseudococcidea) in west africa . December, 1–39
43. Narasimham, U, A., & Chacko, M. J. (1988). Rastrococcus spp . (Hemiptera: Pseudococcidae) and their natural enemies in India as potential biocontrol agents for R. invadens Williams. *Bull. Entomol. Res.*, *78*, 703–708. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1987.tb02031.x
44. Matokot et al. (1992). Dynamique des populations de Rastrococcus invadens [Hom.: Pseudococcidae] au Congo; influence de l'introduction accidentelle du parasitoïde

Asiatique Gyranusoidea tebygi. In *Entomophaga*. https://doi.org/10.1007/1-4020-4051-2_2

45. Matoury, D. (2015). Rastrococcus invadens Williams découvre l'Amérique. *photo 1*, 44–47.
46. Maurya, R. P., Koranga, R., Samal, I., Chaudhary, D., Paschapur, A. U., Sreedhar, M., & Manimala, R. N. (2022). Biological control: a global perspective. *International Journal of Tropical Insect Science*, *42*(5), 3203–3220. https://doi.org/10.1007/s42690-022-00881-9
47. Moore, D., & Cross, A. E. (1992). Competition between Two Primary Parasitoids, Gyranusoidea tebygi Noyes and Anagyrus mangicola Noyes, Attacking the Mealybug Rastrococcus invadens Williams and the Influence of a Hyperparasitoid Chartocerus hyalipennis Hayat. *Biocontrol Science and Technology*, *2*(3), 225–234. https://doi.org/10.1080/09583159209355236
48. Motti, R., Antignani, V., & Idolo, M. (2009). Traditional plant use in the Phlegraean Fields Regional Park (Campania, Southern Italy). *Human Ecology*, *37*(6), 775–782. https://doi.org/10.1007/s10745-009-9254-1
49. Muhammad, Jeffrey.K, & S, J. (2017). Handbook of Mango Fruit. In *Handbook of Mango Fruit*. https://doi.org/10.1002/9781119014362
50. Nampala, Kityo.R, & Massa.H. (2016). *Evidence on effectiveness of parasitoids as biological control agents in integrated crop pest management programmes in Africa*. *14*(14), 543–550.
51. Nebié.K. (2017). *Écologie de la cochenille farineuse du manguier Rastrococcus invadens Williams (Homoptera : Pseudococcidae) et recherche de moyens de lutte biologique contre cet insecte ravageur à l ' Ouest du Burkina Faso*.
52. Negm, A. M., & Abu-hashim, M. (2019). Sustainability of Agricultural Environment in Egypt: Part I, Soil-Water-Food Nexus. In *The Handbook of Environmental Chemistry, Cham: Springer International Publishing*.
53. Ngethe, Valentine.G, Agnes.G, Sammy.C, Katja.K, & Stepha.M. (2020). Mango growing booklet. In *World Agroforestry ICRAF*.
54. Nimpagariste, D. (2019). Guide Technique De Production Des Cultures Fruitières Et Maraîchères. *Word Vegetable Center*, 90.
55. Noémie. L. (2010). *LUTTE BIOLOGIQUE AUX RAVAGEURS : APPLICABILITÉ AU QUÉBEC*.

56. Reddy, P. V. R., Rashmi, M. A., Sreedevi, K., & Singh, S. (2020). *Sucking Pests of Mango*. 411–424.
57. Salehi, B., Prakash Mishra, A., Nigam, M., Karazhan, N., Shukla, I., Kiełtyka-Dadasiewicz, A., Sawicka, B., Głowacka, A., Abu-Darwish, M. S., Hussein Tarawneh, A., Gadetskaya, A. V., Cabral, C., Salgueiro, L., Victoriano, M., Martorell, M., Docea, A. O., Abdolshahi, A., Calina, D., & Sharifi-Rad, J. (2021). Ficus plants: State of the art from a phytochemical, pharmacological, and toxicological perspective. *Phytotherapy Research*, *35*(3), 1187–1217. https://doi.org/10.1002/ptr.6884
58. Sene, Karamoko.D, Mamadou.D, & Fatou.T. (2024). *ATLAS DES PESTICIDES* (: Martin Eimermacher (ed.); ÉDITION SÉ). Bureau de Dakar de la Fondation Heinrich Böll en collaboration avec Enda Pronat. https://sn.boell.org/fr/2024/03/12/atlas-des-pesticides
59. Shaw, R., Witt, A., Cock, M., Pollard, K., Thomas, S., & Romney, D. (2014). *Safeguarding the environment, food security and livelihoods from invasive species using biological controls*. https://doi.org/10.1079/cabicomm-64-58
60. Tanga, C. M., Ekesi, S., Govender, P., & Mohamed, S. A. (2013). Effect of six host plant species on the life history and population growth parameters of rastrococcus iceryoides (Hemiptera: Pseudococcidae). *Florida Entomologist*, *96*(3), 1030–1041. https://doi.org/10.1653/024.096.0342
61. Vavilov, & N.I. (1926). The Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants. *Chronica Botanica*, *13*(6), 1949–1950. https://doi.org/10.4060/cb4769fr
62. Vayssières., Antonio.A, & Bokonon.G. (2008). *La nouvelle espèce invasive de mouche des fruits : Bactrocera invadens Drew Tsuruta & White : Fiche n° 2. Projet régional de lutte contre les mouches des fruits en Afrique de l'Ouest*. Montpellier : CIRAD-IITA. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02010558v1
63. Williams.D. (1986). *Rastrococcus invadens sp.n. (Homoptera: Pseudococcidae) introduced from the oriental region to West Africa and causing damage to mango, citrus and other trees*. *76*, 695–699.
64. Williams, D. (1986). Rastrococcus invadens sp. n. (Hemiptera: Pseudococcidae) introduced from the oriental region to West Africa and causing damage to mango, citrus and other trees. *Bull. Entomol. Res.*, *76*, 695–699.
65. Yadav, D., Singh Professor, S., Deependra Yadav, C., & Singh, S. (2017). Mango: History origin and distribution. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *6*(6),

1257–1262. https://www.phytojournal.com/archives/2017.v6.i6.2226/mango-history-origin-and-distribution

ANNEXES

Annexe 1 : Données brutes recueillies pour le premier essai sur les cochenilles

Date	Repetition	Nature_du_plant	Num_Plant	Nombre de larves de cochenilles	Nombre de cochenilles adultes	Nombretotal de cochenilles
10/02/2024	R1	Manguier	1	17	0	17
10/02/2024	R1	Manguier	2	3	20	23
10/02/2024	R1	Manguier	3	14	21	35
10/02/2024	R1	Manguier	4	17	3	20
10/02/2024	R1	Ficus	1	17	1	18
10/02/2024	R1	Ficus	2	16	3	19
10/02/2024	R1	Ficus	3	18	2	20
10/02/2024	R1	Ficus	4	12	0	12
10/02/2024	R2	Manguier	1	6	0	6
10/02/2024	R2	Manguier	2	20	13	33
10/02/2024	R2	Manguier	3	34	4	38
10/02/2024	R2	Manguier	4	13	9	22
10/02/2024	R2	Ficus	1	14	1	15
10/02/2024	R2	Ficus	2	25	3	28
10/02/2024	R2	Ficus	3	8	1	9
10/02/2024	R2	Ficus	4	9	0	9
10/02/2024	R3	Manguier	1	17	6	23
10/02/2024	R3	Manguier	2	5	8	13
10/02/2024	R3	Manguier	3	8	7	15
10/02/2024	R3	Manguier	4	2	2	4
10/02/2024	R3	Ficus	1	4	3	7
10/02/2024	R3	Ficus	2	4	4	8
10/02/2024	R3	Ficus	3	17	3	20
10/02/2024	R3	Ficus	4	17	2	19
10/15/2024	R1	Manguier	1	0	7	7
10/15/2024	R1	Manguier	2	22	20	42
10/15/2024	R1	Manguier	3	7	33	40
10/15/2024	R1	Manguier	4	1	14	15
10/15/2024	R1	Ficus	1	0	21	21
10/15/2024	R1	Ficus	2	7	25	32
10/15/2024	R1	Ficus	3	0	16	16
10/15/2024	R1	Ficus	4	12	0	12
10/15/2024	R2	Manguier	1	0	6	6
10/15/2024	R2	Manguier	2	4	18	22
10/15/2024	R2	Manguier	3	1	29	30
10/15/2024	R2	Manguier	4	0	18	18
10/15/2024	R2	Ficus	1	4	10	14
10/15/2024	R2	Ficus	2	10	18	28
10/15/2024	R2	Ficus	3	8	3	11

10/15/2024	R2	Ficus	4	1	12	13
10/15/2024	R3	Manguier	1	2	16	18
10/15/2024	R3	Manguier	2	0	10	10
10/15/2024	R3	Manguier	3	7	11	18
10/15/2024	R3	Manguier	4	20	5	25
10/15/2024	R3	Ficus	1	5	5	10
10/15/2024	R3	Ficus	2	30	6	36
10/15/2024	R3	Ficus	3	0	17	17
10/15/2024	R3	Ficus	4	0	30	30
10/29/2024	R1	Manguier	1	2	2	4
10/29/2024	R1	Manguier	2	24	4	28
10/29/2024	R1	Manguier	3	27	3	30
10/29/2024	R1	Manguier	4	1	4	5
10/29/2024	R1	Ficus	1	0	8	8
10/29/2024	R1	Ficus	2	40	13	53
10/29/2024	R1	Ficus	3	0	4	4
10/29/2024	R1	Ficus	4	12	0	12
10/29/2024	R2	Manguier	1	0	2	2
10/29/2024	R2	Manguier	2	5	7	12
10/29/2024	R2	Manguier	3	1	9	10
10/29/2024	R2	Manguier	4	12	5	17
10/29/2024	R2	Ficus	1	41	11	52
10/29/2024	R2	Ficus	2	11	18	29
10/29/2024	R2	Ficus	3	2	9	11
10/29/2024	R2	Ficus	4	2	5	7
10/29/2024	R3	Manguier	1	0	4	4
10/29/2024	R3	Manguier	2	20	4	24
10/29/2024	R3	Manguier	3	10	5	15
10/29/2024	R3	Manguier	4	30	3	33
10/29/2024	R3	Ficus	1	13	3	16
10/29/2024	R3	Ficus	2	38	2	40
10/29/2024	R3	Ficus	3	1	13	14
10/29/2024	R3	Ficus	4	1	8	9
11/13/2024	R1	Manguier	1	58	2	60
11/13/2024	R1	Manguier	2	6	8	14
11/13/2024	R1	Manguier	3	26	5	31
11/13/2024	R1	Manguier	4	51	8	59
11/13/2024	R1	Ficus	1	189	9	198
11/13/2024	R1	Ficus	2	185	20	205
11/13/2024	R1	Ficus	3	103	4	107
11/13/2024	R1	Ficus	4	30	9	39
11/13/2024	R2	Manguier	1	2	10	12
11/13/2024	R2	Manguier	2	50	42	92
11/13/2024	R2	Manguier	3	66	11	77

11/13/2024	R2	Manguier	4	66	18	84
11/13/2024	R2	Ficus	1	195	26	221
11/13/2024	R2	Ficus	2	124	23	147
11/13/2024	R2	Ficus	3	121	10	131
11/13/2024	R2	Ficus	4	189	8	197
11/13/2024	R3	Manguier	1	0	1	1
11/13/2024	R3	Manguier	2	53	17	70
11/13/2024	R3	Manguier	3	70	7	77
11/13/2024	R3	Manguier	4	104	6	110
11/13/2024	R3	Ficus	1	104	6	110
11/13/2024	R3	Ficus	2	50	42	92
11/13/2024	R3	Ficus	3	93	9	102
11/13/2024	R3	Ficus	4	147	16	163

Annexe 2 : Données brutes recueillies pour le deuxième essai sur les cochenilles

Annexe 3 : Données brutes recueillies pour les parasitoides

Date	Répétition		Nature de l' hôte		Numéro de plant		Stade 1		Stade 2		Stade 3		Cocon		Adulte femelle		Adulte mâle		Nombre total de cochenille		
Date	Rep	Etat de cage	Stade1NP	Stade1P	Stade2NP	Stade2P	Stade3NP	Stade3P	Cocon	Adulte femelleNP	Adulte femelleP	Adulte maleNP	Nombre total des cochenilles	Total parasité	N0mbre de parasitoides						
2024/11/19	R1	CP	160	Manguier	5	4	0	5	0	0	10	0	0	5	0	0	5	0	0	175	15	0	5
2024/11/19	R1	CT	160	Ficus	0	5	1	0	5	0	0	10	0	0	5	0	0	5	0	0	175	15	0	0
2024/11/19	R2	CP	160	Ficus	0	5	2	0	5	0	0	10	0	0	5	0	0	5	0	0	175	15	0	5
2024/11/19	R2	CT	160	Ficus	0	5	3	0	5	0	0	10	0	0	5	0	0	5	0	0	175	15	0	0
2024/11/19	R3	CP	160	Ficus	0	5	4	0	5	0	0	10	0	0	5	0	0	5	0	0	175	15	0	5
2024/11/19	R3	CT	160	Ficus	0	5		0	5		0	10		0	5		0	5	0	0	175	15	0	0
2024/11/24	R1	CP	132	Manguier	5	21	1	3	9	0	1	10	0	0	8	0	1	5	0	0	171	15	9	3
2024/11/24	R1	CT	154	Manguier	0	19	2	0	11	0	0	10	2	0	10	0	0	5	0	0	196	15	0	0
2024/11/24	R2	CP	142	Manguier	6	15	3	3	6	0	1	10	0	0	12	0	0	5	1	0	176	15	10	4
2024/11/24	R2	CT	155	Manguier	0	26	4	0	13	0	0	10	0	0	6	0	0	5	0	0	200	15	0	0
2024/11/24	R3	CP	129	Ficus	8	22	1	2	7	0	0	10	3	0	4	0	1	5	0	0	165	15	11	3
2024/11/24	R3	CT	159	Ficus	0	20	2	0	9	0	0	10	2	0	9	0	0	5	0	0	199	15	0	0
2024/11/29	R1	CP	41	Ficus	25	40	3	16	13	0	7	10	10	0	9	0	2	5	1	0	114	15	50	1
2024/11/29	R1	CT	127	Ficus	0	42	4	0	17	0	0	10	4	0	13	0	0	5	0	0	203	15	0	0
2024/11/29	R2	CP	46	Manguier	44	36	1	6	20	0	3	10	5	0	10	0	1	5	0	0	117	15	54	1
2024/11/29	R2	CT	141	Manguier	0	40	2	0	14	0	0	10	5	0	7	0	0	5	0	0	207	15	0	0
2024/11/29	R3	CP	64	Manguier	38	51	3	3	13	0	5	10	8	0	8	0	2	5	0	0	144	15	48	0
2024/11/29	R3	CT	149	Manguier	0	30	4	0	18	0	0	10	9	0	9	0	0	5	0	0	215	15	0	0
2024/12/04	R1	CP	13	Manguier	50	2	1	30	34	0	12	10	9	0	18	0	2	5	0	0	76	15	94	0
2024/12/04	R1	CT	133	Ficus	0	29	2	0	25	0	0	10	4	0	24	0	0	5	0	0	215	15	0	0
2024/12/04	R2	CP	10	Ficus	47	5	3	36	32	0	17	10	3	0	14	0	3	5	0	0	64	15	103	0
2024/12/04	R2	CT	140	Ficus	0	30	4	0	29	0	0	10	11	0	0	0	0	5	0	0	210	15	0	0
2024/12/04	R3	CP	11	Ficus	60	11	1	27	9	0	6	10	4	0	9	0	4	5	0	0	44	15	97	0
2024/12/04	R3	CT	134	Ficus	0	29	2	0	25	0	0	10	4	0	24	0	0	5	0	0	215	15	0	0
2024/12/04	R3	CP	10	Ficus	47	5	3	36	32	0	17	10	3	0	14	0	3	5	0	0	64	15	103	0
2024/12/04	R3	CT	140	Ficus	0	30	4	0	29	0	0	10	11	0	0	0	0	5	0	0	210	15	0	0
2024/12/04	R3	CP	11	Ficus	60	11	1	27	9	0	6	10	4	0	9	0	4	5	0	0	44	15	97	0

2024/12/09	R3	CP	153	Ficus	0	12	4	0	30	0	0	10	18	0	18	0	0	5	0	0	231	15	0	0
2024/12/09	R1	CP	3	Manguier	60	0	1	36	3	0	23	1	8	8	2	0	4	4	0	0	16	13	123	32
2024/12/09	R1	CT	147	Manguier	0	30	2	0	15	0	0	1	3	8	15	0	0	4	0	0	210	13	0	0
2024/12/09	R2	CP	5	Manguier	62	0	3	43	8	0	17	1	2	9	2	0	3	3	0	0	17	13	125	35
2024/12/09	R2	CT	152	Manguier	0	17	4	0	12	0	0	1	13	8	12	0	0	2	0	0	206	11	0	0
2024/12/09	R3	CP	4	Ficus	65	0	1	39	6	0	21	0	2	9	0	0	4	4	0	0	21	23	129	33
2024/12/09	R3	CT	156	Ficus	0	11	2	0	17	0	0	14	9	17	0	0	0	5	0	0	215	26	0	0
2024/12/10	R1			Ficus			3			9		0		10		0		5		0		24		
2024/12/10	R1			Ficus			4			12		0		9		0		5		0		26		
2024/12/10	R2			Manguier			1			0		1		7		0		4		0		12		
2024/12/10	R2			Manguier			2			0		0		8		0		3		0		11		
2024/12/10	R2			Manguier			3			0		0		9		0		3		0		12		
2024/12/10	R2			Manguier			4			0		0		8		0		3		0		11		
2024/12/10	R2			Ficus			1			12		0		9		0		4		0		25		
2024/12/10	R2			Ficus			2			10		0		10		0		5		0		25		
2024/12/10	R2			Ficus			3			10		0		10		0		5		0		25		
2024/12/10	R2			Ficus			4			9		0		10		0		4		0		23		
2024/12/10	R3			Manguier			1			0		1		7		0		2		0		10		
2024/12/10	R3			Manguier			2			0		1		7		0		3		0		11		
2024/12/10	R3			Manguier			3			0		0		9		0		3		0		12		
2024/12/10	R3			Manguier			4			0		1		8		0		4		0		13		
2024/12/10	R3			Ficus			1			15		0		10		0		4		0		29		
2024/12/10	R3			Ficus			2			10		1		8		0		4		0		23		
2024/12/10	R3			Ficus			3			14		0		9		0		5		0		28		
2024/12/10	R3			Ficus			4			11		0		9		0		3		0		23		
2024/12/21	R1			Manguier			1			16		0		0		1		8		0		25		
2024/12/21	R1			Manguier			2			18		0		0		0		8		0		26		
2024/12/21	R1			Manguier			3			15		0		0		1		9		0		25		
2024/12/21	R1			Manguier			4			22		0		0		0		8		0		30		
2024/12/21	R1			Ficus			1			42		9		2		2		14		0		69		
2024/12/21	R1			Ficus			2			40		10		2		2		13		0		67		
2024/12/21	R1			Ficus			3			49		9		1		3		13		0		75		
2024/12/21	R1			Ficus			4			52		11		0		3		14		0		80		
2024/12/21	R2			Manguier			1			22		0		2		2		7		0		33		
2024/12/21	R2			Manguier			2			24		0		0		1		8		0		33		
2024/12/21	R2			Manguier			3			20		0		0		1		6		0		27		
2024/12/21	R2			Manguier			4			16		0		0		1		7		0		24		
2024/12/21	R2			Ficus			1			55		11		2		4		13		0		85		
2024/12/21	R2			Ficus			2			45		10		1		2		14		0		72		
2024/12/21	R2			Ficus			3			47		10		1		1		15		0		74		
2024/12/21	R2			Ficus			4			51		9		1		4		14		0		79		
2024/12/21	R3			Manguier			1			20		1		0		1		8		0		30		

2024/12/21	R3	Manguier	2	16	1	1	1	8	0	27
2024/12/21	R3	Manguier	3	15	0	1	2	9	0	27
2024/12/21	R3	Manguier	4	18	1	1	2	8	0	30
2024/12/21	R3	Ficus	1	59	12	2	3	12	0	88
2024/12/21	R3	Ficus	2	51	10	0	2	14	0	77
2024/12/21	R3	Ficus	3	58	8	0	3	12	0	81
2024/12/21	R3	Ficus	4	59	10	0	5	12	0	86
2024/12/31	R1	Manguier	1	33	13	0	1	8	0	55
2024/12/31	R1	Manguier	2	26	16	0	0	8	0	50
2024/12/31	R1	Manguier	3	45	12	0	1	9	0	67
2024/12/31	R1	Manguier	4	31	19	0	0	8	0	58
2024/12/31	R1	Ficus	1	96	40	9	3	14	0	162
2024/12/31	R1	Ficus	2	80	35	10	3	13	0	141
2024/12/31	R1	Ficus	3	81	47	9	3	13	0	153
2024/12/31	R1	Ficus	4	73	50	10	5	14	0	152
2024/12/31	R2	Manguier	1	24	20	0	2	9	0	55
2024/12/31	R2	Manguier	2	28	23	0	1	8	0	60
2024/12/31	R2	Manguier	3	33	18	0	1	6	0	58
2024/12/31	R2	Manguier	4	25	16	0	1	7	0	49
2024/12/31	R2	Ficus	1	105	56	10	3	16	0	190
2024/12/31	R2	Ficus	2	121	52	9	2	15	0	199
2024/12/31	R2	Ficus	3	111	46	9	4	15	0	185
2024/12/31	R2	Ficus	4	103	57	9	3	14	0	186
2024/12/31	R3	Manguier	1	25	22	1	1	8	0	57
2024/12/31	R3	Manguier	2	29	19	1	1	9	0	59
2024/12/31	R3	Manguier	3	21	20	0	2	9	0	52
2024/12/31	R3	Manguier	4	23	25	1	2	8	0	59
2024/12/31	R3	Ficus	1	97	62	11	3	13	0	186
2024/12/31	R3	Ficus	2	101	55	9	2	14	0	181
2024/12/31	R3	Ficus	3	121	61	7	3	12	0	204
2024/12/31	R3	Ficus	4	107	59	10	5	12	0	193

Annexe 4 : Résultats du test de transformation de rang aligné (ART) pour le premier essai sur les cochenilles

Source de variation	Df	Df.res	F value	Pr(>F)
Nature_du_plant	1	88	29.389	5.1205e-07 ***
Date	3	88	27.060	1.7119e-12 ***
Nature_du_plant:Date	3	88	20.136	5.0441e-10 ***

Signif. codes : 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Annexe 5 : Résultats de régression linéaire multiple pour le premier essai sur les cochenilles

Coefficients :	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	18.042	6.745	2.675	0.00885 **
Date10/15/2024	2.417	9.539	0.253	0.80057
Date10/29/2024	0.250	9.539	0.026	0.97915
Date11/13/2024	81.917	9.539	8.587	2.14e-13 ***

Signif. codes : 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Annexe 6 : Résultats du test de transformation de rang aligné (ART) pour le deuxième essai sur les cochenilles

Source de variation	Df	Df.res	F value	Pr(>F)
Nature_du_plant	1	88	29.389	5.1205e-07 ***
Date	3	88	27.060	1.7119e-12 ***
Nature_du_plant:Date	3	88	20.136	5.0441e-10 ***

Signif. codes : 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Annexe 7 : Résultats de régression linéaire multiple pour le deuxième essai sur les cochenilles

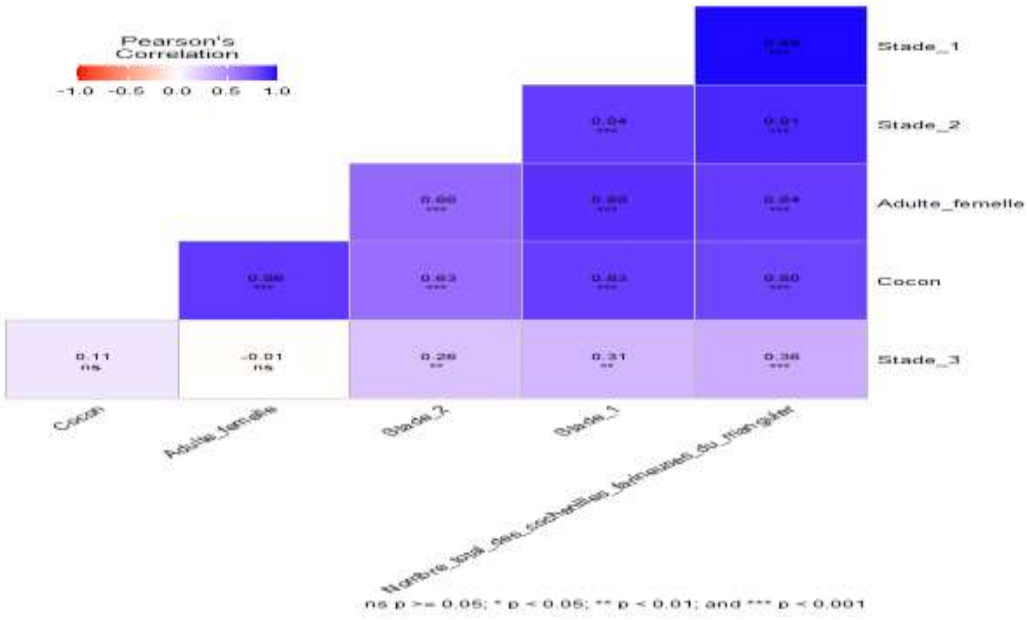
Coefficients :	Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)
(Intercept)	3.08098	0.05343	57.66	< 2e-16 ***
Date2024/12/10	0.20521	0.07099	2.89	0.00385 **
Date2024/12/21	1.26067	0.05971	21.11	< 2e-16 ***
Date2024/12/31	2.05519	0.05598	36.72	< 2e-16 ***
Nature_du_plantManguier	-0.97436	0.03209	-30.37	< 2e-16 ***

Annexe 8 :Resultats du test de Mann-Whitney a permis de comparer les populations de cochenilles entre les deux plantes à chaque moment de l'expérience.

Date moyennes_ significatif	etat de cage	moyennes_par_date_rep	ecart_type	Significatif
19/11/2024	Non parasitee	175	0	Non
19/11/2024	Parasitee	175	0	Non
24/11/2024	Non parasitee	198.	2.08	Oui

24/11/2024	Parasitee	165.	3.06	Oui
29/11/2024	Non parasitee	208.	6.11	Oui
29/11/2024	Parasitee	116	17.1	Oui
04/12/2024	Non parasitee	219.	11.0	Oui
04/12/2024	Parasitee	51.3	9.87	Oui
09/12/2024	Non parasitee	210.	4.51	Oui
09/12/2024	Parasitee	21.3	5.86	Oui

Annexe 9 : Résultats de l'analyse des corrélations de Peason entre les stades de croissance des cochenilleset leur nombre total



Annexe 10 : Résultats du test de transformation de rang aligné (ART) pour les parasitoides

	Df	Df.res	F value	Pr(>F)
Etat_de_la_cage	1	20	64.123	1.1485e-07 ***
Date	4	20	62.980	4.7561e-11 ***
Etat_de_la_cage:Date	4	20	94.358	1.0933e-12 ***

Signif. codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Annexe 11 : Résultats de régression linéaire multiple pour les parasitoides

Coefficient	Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)
(Intercept)	5.43698	0.03265	166.548	< 2e-16 ***
Etat_de_la_cageParasitee	-0.64738	0.03098	-20.895	< 2e-16 ***
Date2024/11/24	0.03830	0.04323	0.886	0.00376
Date2024/11/29	-0.07616	0.04450	-1.712	0.0087.
Date2024/12/04	-0.25951	0.04676	-5.549	2.87e-08 ***
Date2024/12/09	-0.41263	0.04890	-8.438	< 2e-16 ***

Annexe 12 : calcul du taux de réduction :

$N_{\text{départ}} = 175$ cochenilles

$N_{\text{arrivée}} = 21{,}33$ cochenilles

$$\text{Taux de reduction} = 1\% \times \left(\frac{\mathbf{175 - 21{,}33}}{\mathbf{175}} \right) \times 100 = 87.8\%$$