

BURKINA FASO
UNITÉ-PROGRÈS-JUSTICE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION
UNIVERSITÉ POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO
ECOLE DOCTORALE SCIENCES NATURELLES ET AGRONOMIE



Thèse présentée en vue de l'obtention du
DOCTORAT UNIQUE EN DEVELOPPEMENT RURAL
Option : Systèmes de Production Végétale
Spécialité : Entomologie

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

Présentée et soutenue publiquement, le 11 janvier 2017 à 14 h par

NÉBIÉ Karim

Devant le jury composé de :

- Pr Adrien Marie Gaston BELEM**, Professeur Titulaire, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, **Président, Rapporteur**
- Pr Irénée SOMDA**, Professeur Titulaire, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, **Codirecteur de thèse**
- Dr Dona DAKOUO**, Directeur de recherches, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, **Rapporteur**
- Dr Souleymane NACRO**, Maître de recherches, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso, **Codirecteur de thèse**
- Dr Olivier GNANKINE**, Maître de Conférences, Université Ouaga I Professeur Joseph Ki ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso, **Rapporteur**

DÉDICACE

À ma mère Zio Tinga qui m'a permis de faire mes premiers pas à l'école. Qu'elle trouve dans ce travail le fruit de ses efforts incommensurables

À mon grand-frère Nébié Brahyman pour le soutien indéfectible et l'amour fraternel qu'il m'a témoignés

À mes grandes-sœurs pour les bénédictions incessantes et réconfortantes

À mon épouse Kaboré Safi pour sa patience et ses bénédictions

À ma fille Nébié Tindbala Ilyana Aquila

À tous mes enseignants et éducateurs

À tous les acteurs de la filière mangue du Burkina Faso

REMERCIEMENTS

Ce travail est l'aboutissement de plusieurs efforts conjugués. Je voudrais donc par ces lignes qui suivent exprimer toute ma reconnaissance à l'endroit de tous ceux qui ont apporté un soutien quelconque pour sa réussite.

Je remercie d'abord les membres du jury qui ont accepté juger ce travail afin qu'il serve au monde scientifique et rural. Je pense particulièrement aux personnes suivantes :

- Prof. Adrien Marie Gaston BELEM, Professeur Titulaire à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Vous m'avez accordé la possibilité d'être parmi les doctorants de l'école doctorale 'Sciences Naturelles et Agronomie' que vous dirigez. Je suis très heureux que vous acceptiez de présider ce jury.
- Prof. Irénée SOMDA, Professeur Titulaire à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. J'ai bénéficié de vos facilités pour m'inscrire en thèse à l'Institut du Développement Rural (IDR). Vous avez également accepté codiriger mes travaux de recherches. Vos contributions m'ont été bénéfiques pour conduire les activités déclinées dans le projet de recherches. Je vous prie d'accepter mes remerciements les plus sincères.
- Dr Dona DAKOUO, Directeur de Recherches, Entomologiste, Directeur du laboratoire d'Entomologie du CNS-FL à l'INERA/Station de Farako-bâ. Vous m'avez accepté dans votre laboratoire depuis 2011 pour préparer mon diplôme de Master. Après ma soutenance, vous vous êtes investi inlassablement pour que je puisse poursuivre mes travaux de recherche en thèse. Malgré vos multiples occupations vous avez toujours été soucieux de la réussite de mes activités. Votre rigueur dans le travail restera un modèle pour moi dans ma carrière. Je vous serai toujours reconnaissant.
- Dr Souleymane NACRO, Maître de Recherches, Entomologiste au Programme Riz et Riziculture à l'INERA. Vous avez accepté diriger mes travaux malgré vos multiples occupations. Vous avez suivi de bout en bout mes travaux de recherches. Vos encouragements pendant les moments difficiles m'ont servi de repère pour persévérer et atteindre mes objectifs. Je vous adresse toute ma reconnaissance et mes remerciements les plus sincères.
- Dr Olivier GNANKINE, Maître de Conférences à l'Université Ouaga I, Professeur Joseph Ki ZERBO. Vous acceptez participer à ce jury malgré vos multiples occupations. Je vous exprime toute ma reconnaissance.

Avant d'atteindre ce stade j'ai été supporté par le Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) à travers sa composante II le Centre National de Spécialisation

en Fruits et Légumes (CNS-FL). J'ai bénéficié d'une bourse de thèse de doctorat de 4 années pour conduire mes activités de recherches. Le projet m'a également accordé un séjour de 2 semaines à l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA) à Cotonou. Ce stage m'a permis d'acquérir des connaissances de base pour traiter le sujet de thèse. J'exprime donc ma gratitude aux responsables nationaux de ce programme.

Nombreux sont ceux qui ont participé à mon encadrement pendant mon séjour à l'IITA. J'ai une pensée particulière envers M. Obina OJONU pour son assistance technique à Cotonou et à Parakou. Je remercie également Dr Georg GOERGEN pour sa franche collaboration dans l'identification des insectes inventoriés au cours de mes travaux de recherche. Je remercie le Directeur de l'IITA Centre de Cotonou pour toutes les facilités qu'il m'a accordées pendant mon séjour.

Je remercie le chef de Projet IPM-mangues du CNS-FL, Dr Léonard OUÉDRAOGO qui a accepté m'intégrer dans son équipe pendant la vie du projet. Vous avez été animé d'une bonne volonté à appuyer financièrement mes activités à travers le projet. Vous avez également accepté siéger dans le comité de ma thèse. Ce soutien inestimable me permet de vous adresser mes sincères remerciements.

Mes travaux se sont déroulés à l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA-Farako-bâ). Je remercie Dr Jacob SANOU, Directeur Régional de Recherches Environnementales et Agricoles de l'Ouest pour m'avoir accepté comme doctorant au sein de l'institut. Je remercie également tout le personnel de la station de Farakô-Ba pour la bonne collaboration et les facilités qu'il m'a accordées au sein de l'administration.

Je remercie Dr Lenli Claude OTOIDOBIGA, Chargé de Recherches pour les conseils et les encouragements au cours de mes activités. Vous avez été toujours à mes côtés pour m'orienter. Vous avez été un exemple pour moi pour pouvoir surmonter les obstacles. Je vous remercie pour tout ce que vous avez apporté pour la réussite de ma thèse et pour avoir siégé dans le comité de ma thèse.

Je remercie Dr Issoufou OUÉDRAOGO, membre de mon comité de thèse pour son soutien inestimable dans les corrections du document et des manuscrits. Vous n'avez ménagé aucun effort pour apporter votre contribution dans la réalisation de mes travaux de recherche. Je vous exprime toute ma reconnaissance et mes sincères remerciements.

J'adresse mes remerciements au Dr Timbilfou TIENDRÉBÉOGO pour son assistance technique dans l'analyse statistique des données lors de la révision de mon manuscrit sur la dynamique des populations de la cochenille farineuse du manguiier à l'Ouest du Burkina Faso.

Vous m'avez été d'un grand secours et j'ai beaucoup appris à vos côtés pendant les séances d'analyse. Merci beaucoup !

J'adresse également mes sincères remerciements au Dr Rémy DABIRÉ pour les corrections et les amendements qu'il a apportés au mémoire de thèse.

J'ai une pensée à l'endroit de mes promotionnaires doctorants qui ont témoigné de leur solidarité vis-à-vis de ma personne. J'ai nommé Cyrille ZOMBRÉ, Boubakar OUATTARA, Harmonie OTOIDOBIGA, Gilles THIO, Abalo Itolou KASSANKOGNO, Younouss Wakã DJIMMY et Alizèta SAWADOGO.

Je remercie mes collègues Paul SÉDÉGO et Georges MONNÉ pour leur assistance dans l'identification des plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier. Qu'ils trouvent ici les résultats de leur collaboration.

J'exprime toute ma reconnaissance aux techniciens Zézouma SANON, Adama SOW et Boukary OUÉDRAOGO qui ont activement participé à la collecte des données sur le terrain et au laboratoire. Tous mes sincères remerciements à eux.

Je remercie mes collègues du laboratoire pour l'ambiance conviviale qu'ils ont su créer au sein de l'équipe. Je pense à M. Antoine TIENDRÉBÉOGO, Mlle Kadidiata ILBOUDO et Mlle Rabiéta SIMDÉ.

J'adresse mes remerciements à la SN-SOSUCO (Banfora) qui n'a ménagé aucun effort pour me fournir les données climatiques des sites couverts par cette étude. Cette collaboration a été possible grâce à M. Philippe PODA agent à la section météo de la dite société. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
DÉDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	x
LISTE DES CARTES	xi
LISTE DES FIGURES.....	xii
LISTE DES PHOTOS.....	xv
LISTE DES PLANCHES.....	xvi
LISTE DES TABLEAUX.....	xvii
RÉSUMÉ.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
I^{ÈRE} PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	5
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LE MANGUIER	6
I. SYSTÉMATIQUE, ORIGINE ET DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DU MANGUIER	6
II. EXIGENCES ÉCOLOGIQUES DU MANGUIER.....	6
III. PRODUCTION DE LA MANGUE AU BURKINA FASO	7
IV. COMMERCIALISATION DE LA MANGUE AU BURKINA FASO.....	7
V. PROBLÈMES PHYTOSANITAIRES LIÉS À LA PRODUCTION DE LA MANGUE AU BURKINA FASO.....	8
5.1. Maladies du manguié	8
5.2. Insectes nuisibles.....	12
CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉS SUR LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER.....	17
I. SYSTÉMATIQUE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER	17
II. ORIGINE ET DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER.....	17
III. DESCRIPTIONS MORPHOLOGIQUE ET ANATOMIQUE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER.....	19
IV. BIOLOGIE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER	21
V. ÉCOLOGIE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER.....	22
5.1. Plantes hôtes.....	22
5.2. Complexe entomophage et entomopathogène.....	23
5.3. Fluctuation des populations.....	23
VI. DÉGÂTS ET INCIDENCE SOCIO-ÉCONOMIQUE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER.....	24
7.1. Lutte chimique.....	26

7.2. Lutte biologique par l'utilisation des parasitoïdes	26
VIII. UTILISATION DES ENTOMOPATHOGENES DANS LA LUTTE CONTRE LES COCHENILLES	28
8.1. Cas du champignon <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metschnikoff) Sorokin	28
8.2. Mode d'infection des champignons entomopathogènes	29
2^{ÈME} PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES	31
CHAPITRE I : SITES D'ÉTUDE	32
I. SITES D'INVENTAIRE DES COCHENILLES DU MANGUIER	32
II. SITES D'INVENTAIRE DES PLANTES HÔTES DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER	33
III. SITES D'INVENTAIRE DES PARASITOÏDES ET DU SUIVI DE L'ÉVOLUTION DES POPULATIONS DES COCHENILLES	33
IV. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DES SITES D'ÉTUDE	34
CHAPITRE II : MATERIEL	37
I. MATERIEL VEGETAL	37
II. MATERIEL ANIMAL	37
III. MATERIEL DE COLLECTE DES DONNEES CLIMATIQUES	37
3.1. Thermohygrographe	37
3.2. Pluviomètres	38
IV. PRODUITS DE TRAITEMENT	38
V. MATERIELS DIVERS	39
CHAPITRE III: MÉTHODOLOGIE	42
I. CHOIX DES SITES D'ÉTUDE	42
II. COLLECTE DES DONNEES CLIMATIQUES	42
III. INVENTAIRE DES ESPÈCES DE COCHENILLES INFÉODÉES AU MANGUIER	42
3.1. Collecte des cochenilles	42
3.2. Identification des cochenilles	43
3.3. Localisation des foyers d'infestation des cochenilles identifiées	43
IV. INVENTAIRE DES PARASITOÏDES ET HYPERPARASITOÏDES ASSOCIÉS A LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER	44
4.1. Collecte et incubation des cochenilles parasitées	44
4.2. Identification des insectes émergés	44
V. INVENTAIRE DES PLANTES HÔTES DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER	44
5.1. Prospection dans les vergers	44
5.2. Identification et évaluation du niveau d'infestation des plantes	45

VI. SUIVI DE L'ÉVOLUTION DES POPULATIONS DES COCHENILLES ET DE LEURS PARASITOÏDES SUR LE MANGUIER.....	46
VII.EVALUATION DE L'EFFICACITE DU <i>METARHIZIUM ANISOPLIAE</i> ICIPE 69 CONTRE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER	47
7.1. Dispositif expérimental	47
7.2. Production de la plante hôte	47
7.3. Élevage des cochenilles.....	48
7.4. Préparation des bouillies et traitement des plants infestés	48
7.5. Évaluation de la densité des cochenilles vivantes ou mortes	49
VIII.ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES ET EXPRESSION DES RÉSULTATS	49
8.1. Données de l'inventaire des cochenilles, des parasitoïdes et des plantes hôtes	49
8.2. Données du suivi de l'évolution des populations des cochenilles et des parasitoïdes ..	49
8.3. Données de l'évaluation de l'efficacité de <i>Metarhizium anisopliae</i> ICIPE 69 contre la cochenille farineuse du manguiier	50
3^{ÈME} PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	51
CHAPITRE I : DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE, DÉGÂTS ET DISTRIBUTION DES COCHENILLES INFÉODÉES AU MANGUIER À L'OUEST DU BURKINA FASO	52
INTRODUCTION	52
I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE	53
I. RÉSULTATS	53
1.1. Diversité spécifique et abondance des cochenilles inféodées au manguiier	53
1.2. Distribution géographique des espèces de cochenilles identifiées	54
1.3. Nature des attaques des cochenilles identifiées.....	54
II. DISCUSSION	55
2.1. Diversité spécifique et distribution des cochenilles du manguiier	55
2.2. Abondance de <i>Ferrisia virgata</i> , <i>Icerya aegyptiaca</i> et <i>Rastrococcus invadens</i> sur le manguiier	56
CONCLUSION PARTIELLE	57
CHAPITRE II : ENNEMIS NATURELS DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER	58
INTRODUCTION	58
I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE	59
II. RÉSULTATS	59
2.1. Parasitoïdes et hyperparasitoïdes inféodés à la cochenille farineuse du manguiier	59
2.2. Prédateurs rencontrés sur les colonies de la cochenille farineuse du manguiier.....	61

2.3. Abondance relative des espèces de parasitoïdes sur les sites d'étude.....	62
III. DISCUSSION.....	67
3.1. Diversité spécifique et abondance des parasitoïdes associés à <i>Rastrococcus invadens</i>	67
3.2. Prédation observée sur la cochenille farineuse du manguier	68
CONCLUSION PARTIELLE	69
CHAPITRE III : PLANTES HÔTES DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER	
.....	70
INTRODUCTION	70
I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE.....	71
II. RÉSULTATS.....	71
2.1. Diversité spécifique des plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier	71
2.2. Importance relative des plantes hôtes de <i>Rastrococcus invadens</i>	76
III. DISCUSSION.....	77
CONCLUSION PARTIELLE	78
CHAPITRE IV : FLUCTUATION DES POPULATIONS DES COCHENILLES DU	
MANGUIER À L'OUEST DU BURKINA FASO	79
INTRODUCTION	79
I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE.....	80
II. RÉSULTATS.....	80
2.1. Fluctuation des populations de <i>Ferrisia virgata</i> , <i>Icerya aegyptiaca</i> et <i>Rastrococcus</i>	
<i>invadens</i>	80
2.2. Importance du taux de couverture des feuilles du manguier <i>Mangifera indica</i> L. par la	
fumagine sur les sites d'étude	83
2.3. Effet des facteurs abiotiques sur le taux de couverture des feuilles par la fumagine....	84
2.4. Effet des facteurs abiotiques sur les populations de <i>Ferrisia virgata</i> , <i>Icerya aegyptiaca</i>	
et <i>Rastrococcus invadens</i> dans les sites d'étude	85
III. DISCUSSION.....	86
3.1. Fluctuation des populations de <i>Ferrisia virgata</i> , <i>Icerya aegyptiaca</i> et <i>Rastrococcus</i>	
<i>invadens</i>	86
3.2. Évolution du taux de couverture foliaire par la fumagine.....	87
3.3. Effet des facteurs abiotiques sur la densité des cochenilles	87
CONCLUSION PARTIELLE	88
CHAPITRE V : FLUCTUATION DES POPULATIONS DES PARASITOÏDES DE LA	
COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER	89
INTRODUCTION	89
I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE.....	90

II. RÉSULTATS.....	90
2.1. Fluctuation de la densité des cochenilles parasitées et du taux de parasitisme.....	90
2.2. Fluctuation des populations des parasitoïdes et des hyper parasitoïdes.....	93
2.3. Niveau de corrélation entre la densité des cochenilles parasitées, les parasitoïdes et les populations de la cochenille farineuse du manguier.....	99
III. DISCUSSION.....	101
CONCLUSION PARTIELLE	102
CHAPITRE VI : EFFICACITÉ DU <i>METARHIZIUM ANISOPLIAE</i> ICIPE 69 CONTRE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER	103
INTRODUCTION	103
I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE.....	104
II. RÉSULTATS.....	104
2.1. Effet comparé des doses de <i>Metarhizium anisopliae</i> ICIPE 69 et du Chlorpyriphos-éthyl sur les larves au stade I de <i>Rastrococcus invadens</i>	104
2.2. Effet comparé des doses de <i>Metarhizium anisopliae</i> ICIPE 69 et du Chlorpyriphos-éthyl sur les larves au stade II de <i>Rastrococcus invadens</i>	105
2.3. Effet comparé des doses de <i>Metarhizium anisopliae</i> ICIPE 69 et du Chlorpyriphos-éthyl sur les larves au stade III de <i>Rastrococcus invadens</i>	106
2.4. Effet comparé des doses de <i>Metarhizium anisopliae</i> ICIPE 69 et du Chlorpyriphos-éthyl sur les adultes de <i>Rastrococcus invadens</i>	107
III. DISCUSSION.....	108
CONCLUSION PARTIELLE	109
CONCLUSION GENERALE	110
PERSPECTIVES.....	113
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	114
PUBLICATIONS	131
ANNEXES	xx

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CABI : Centre for Agriculture and Biosciences International

CNS-FL : Centre National de Spécialisation en Fruits et Légumes

COLEACP : Comité de Liaison Europe-Afrique-Caraïbes-Pacifique

CSP : Comité Sahélien des Pesticides

EPPO : European and Mediterranean Plant Protection Organization

FAO : Food and Agriculture Organisation of the United Nations

GTZ : Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit

IIBC : International Institute of Biological Control

MAH : Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique

PAFASP : Programme d'Appui aux Filières Agro-Sylvo Pastorales

PIP : Programme Initiative Pesticides

PPAAO : Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest

LISTE DES CARTES

	Pages
Carte 1 : Distribution géographique de la cochenille farineuse du manguier <i>Rastrococcus invadens</i> à l'Ouest du Burkina Faso.....	18
Carte 2 : Aire de distribution mondiale de la cochenille farineuse du manguier <i>Rastrococcus invadens</i>	19
Carte 3 : Sites d'inventaire et de prospection sur la distribution géographique des cochenilles du manguier.....	32
Carte 4 : Sites d'inventaire des plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier.....	33
Carte 5 : Sites d'inventaire des parasitoïdes et du suivi de l'évolution des populations des cochenilles du manguier.....	34

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 : Femelle adulte de <i>Rastrococcus invadens</i> préparée entre lame et lamelle.....	21
Figure 2 : Schéma du cycle biologique des champignons entomopathogènes	30
Figure 3 : Cumuls pluviométriques mensuels enregistrés sur le site de Bérégadougou de janvier 2014 à décembre 2015.....	35
Figure 4 : Cumuls pluviométriques mensuels enregistrés sur le site d'Orodara de janvier 2014 à décembre 2015.....	35
Figure 5 : Cumuls pluviométriques mensuels enregistrés sur le site de Toussiana de janvier 2014 à décembre 2015.....	36
Figure 6 : Évolution de la température et de l'hygrométrie moyennes mensuelles enregistrées sur les sites de Bérégadougou, Orodara et Toussiana de janvier 2014 à décembre 2015.....	36
Figure 7 : Proportion des différentes espèces de parasitoïdes primaires et secondaires de <i>Rastrococcus invadens</i> sur le site de Bérégadougou.....	63
Figure 8 : Proportion des parasitoïdes primaires sur le site de Bérégadougou.....	63
Figure 9 : Proportion des hyper-parasitoïdes sur le site de Bérégadougou.....	63
Figure 10 : Proportion des différentes espèces de parasitoïdes primaires et secondaires de <i>Rastrococcus invadens</i> sur le site de Orodara.....	64
Figure 11 : Proportion des parasitoïdes primaires sur le site de Orodara.....	65
Figure 12 : Proportion des hyper parasitoïdes sur le site de Orodara.....	65
Figure 13 : Proportion des différentes espèces de parasitoïdes primaires et secondaires de <i>Rastrococcus invadens</i> sur le site de Toussiana.....	66
Figure 14 : Proportion des parasitoïdes primaires sur le site de Toussiana.....	66
Figure 15 : Proportion des hyper parasitoïdes sur le site de Toussiana.....	66
Figure 16 : Importance relative des plantes hôtes de <i>Rastrococcus invadens</i> à l'ouest du Burkina Faso.....	77

Figure 17 : Évolution des populations des trois espèces de cochenilles farineuses (<i>Ferrisia virgata</i> , <i>Icerya aegyptiaca</i> et <i>Rastrococcus invadens</i>) sur le site de Bérégadougou au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	81
Figure 18 : Évolution des populations des trois espèces de cochenilles farineuses (<i>Ferrisia virgata</i> , <i>Icerya aegyptiaca</i> et <i>Rastrococcus invadens</i>) sur le site de Orodara au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	82
Figure 19 : Évolution des populations des trois espèces de cochenilles farineuses (<i>Ferrisia virgata</i> , <i>Icerya aegyptiaca</i> et <i>Rastrococcus invadens</i>) sur le site de Toussiana au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	83
Figure 20 : Variations du taux de couverture des feuilles de manguier <i>Mangifera indica</i> L. par la fumagine sur les sites de Toussiana, Orodara et Bérégadougou au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	84
Figure 21 : Évolution de la densité des cochenilles parasitées et du taux de parasitisme sur le site de Bérégadougou au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	91
Figure 22 : Évolution de la densité des cochenilles parasitées et du taux de parasitisme sur le site de Orodara au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	92
Figure 23 : Évolution de la densité des cochenilles parasitées et du taux de parasitisme sur le site de Toussiana au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	93
Figure 24 : Évolution des populations des parasitoïdes <i>Anagyrus mangicola</i> et <i>Gyranusoidea tebygi</i> sur le site de Bérégadougou au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	94
Figure 25 : Évolution des populations des parasitoïdes primaires et secondaires de <i>Rastrococcus invadens</i> sur le site de Bérégadougou au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	95
Figure 26 : Évolution des populations des parasitoïdes <i>Anagyrus mangicola</i> et <i>Gyranusoidea tebygi</i> sur le site de Orodara au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	96
Figure 27 : Évolution des populations des parasitoïdes primaires et secondaires de <i>Rastrococcus invadens</i> sur le site de Orodara au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	97
Figure 28 : Évolution des populations des parasitoïdes <i>Anagyrus mangicola</i> et <i>Gyranusoidea tebygi</i> sur le site de Toussiana au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	98

Figure 29 : Évolution des populations des parasitoïdes primaires et secondaires de <i>Rastrococcus invadens</i> sur le site de Toussiana au cours de la période de mai 2014 à août 2015.....	99
Figure 30 : Taux de mortalité observé chez les larves au stade I de <i>Rastrococcus invadens</i> sur les plants traités au <i>Metarhizium anisopliae</i> ICIPE 69 et au Chlorpyrifos-éthyl en conditions de laboratoire	104
Figure 31 : Taux de mortalité observé chez les larves au stade II de <i>Rastrococcus invadens</i> sur les plants traités au <i>Metarhizium anisopliae</i> ICIPE 69 et au Chlorpyrifos-éthyl en conditions de laboratoire	105
Figure 32 : Taux de mortalité observé chez les larves au stade III de <i>Rastrococcus invadens</i> sur les plants traités au <i>Metarhizium anisopliae</i> ICIPE 69 et au Chlorpyrifos-éthyl en conditions de laboratoire	106
Figure 33 : Taux de mortalité observé chez les adultes de <i>Rastrococcus invadens</i> sur les plants traités au <i>Metarhizium anisopliae</i> ICIPE 69 et au Chlorpyrifos-éthyl en conditions de laboratoire	107

LISTE DES PHOTOS

	Pages
Photo 1 : Pourriture d'une mangue due aux larves des mouches de fruits.....	14
Photo 2 : Attaques de termites sur les branches d'un manguier.....	16
Photo 3 : Feuilles de manguier couvertes par la fumagine.....	25
Photo 4 : Feuilles de manguier présentant les notes de l'échelle pour caractériser le taux de couverture foliaire par la fumagine.....	47
Photo 5 : Dispositif de production de <i>Ficus polyta</i> destiné à l'élevage de la cochenille farineuse du manguier <i>Rastrococcus invadens</i>	48
Photo 6 : Colonies de <i>Rastrococcus invadens</i> sur les feuilles de caïlcédrat, <i>Khaya senegalensis</i>	72
Photo 7 : Colonies de <i>Rastrococcus invadens</i> sur les feuilles de karité, <i>Vitellaria paradoxa</i>	72
Photo 8 : Colonies de <i>Rastrococcus invadens</i> sur les feuilles d'oranger, <i>Citrus sinensis</i>	73
Photo 9 : Colonies de <i>Rastrococcus invadens</i> sur les feuilles de teck, <i>Tectona grandis</i>	73
Photo 10 : Colonies de <i>Rastrococcus invadens</i> sur les feuilles de goyavier, <i>Psidium guayava</i>	74
Photo 11 : Colonies de <i>Rastrococcus invadens</i> sur une feuille de maïs, <i>Zea mays</i>	74

LISTE DES PLANCHES

Pages

Planche I : Symptômes de l’anthracnose sur feuilles (A) et inflorescences (B) du manguier.....	9
Planche II : Symptômes (taches noires) de la bactériose sur feuilles (A) et fruit (B) de manguier.....	11
Planche III : Dessèchement évolutif sur deux pieds de manguier (A : Jeune pied ; B : Pied âgé).....	12
Planche IV : Femelle adulte de <i>Ceratitis cosyra</i> (A); Mâle adulte (B) de <i>Bactrocera dorsalis</i>	14
Planche V : Mâles adultes ailés (A) et, Femelles adultes et larves de stade I (B) de <i>Rastrococcus invadens</i>	20
Planche VI : Feuilles de manguier (A) et une mangue (B) infestées par <i>Rastrococcus invadens</i>	25
Planche VII : Femelles adultes de <i>Anagyrus mangicola</i> (A) et <i>Gyranusoidea tebygi</i> (B).....	27
Planche VIII : Thermo-hygrographe (A) et Pluviomètre à lecture directe (B).....	38
Planche IX : Bidon de 1l contenant l’insecticide de synthèse Pyrical® 480EC (A) ; Sachet de 20ml contenant le biopesticide Campaign® (B).....	39
Planche X : Matériels divers utilisés au cours de l’étude.....	41
Planche XI : Femelles adultes de <i>Ferrisia virgata</i> (A) et de <i>Icerya aegyptiaca</i> (B).....	54
Planche XII : Colonie de <i>Icerya aegyptiaca</i> sur la nervure principale de la face inférieure d’une feuille de manguier (A) ; Mangue infestée par une colonie de <i>Ferrisia virgata</i> (B).....	55
Planche XIII : <i>Anagyrus mangicola</i> (A) ; <i>Gyranusoidea tebygi</i> (B) deux parasitoïdes primaires de la cochenille farineuse du manguier <i>Rastrococcus invadens</i>	60
Planche XIV : <i>Chartocerus hyalipennis</i> (A) ; <i>Marietta leopardina</i> (B) ; <i>Pachyneuron sp.</i> (C) trois parasitoïdes secondaires de la cochenille farineuse du manguier <i>Rastrococcus invadens</i>	60
Planche XV : Adulte de <i>Dicrodiplosis manihoti</i> (A) et <i>Nephus flavomaculatus</i> (B) prédateurs de la cochenille farineuse du manguier <i>Rastrococcus invadens</i>	61
Planche XVI: Adulte de <i>Exochomus troberti</i> nouvellement émergé, prédateur de la cochenille farineuse du manguier <i>Rastrococcus invadens</i>	61
Planche XVII : Œufs (A), larve (B) et Adulte (C) de <i>Chrysoperla sp.</i> , prédateur de la cochenille farineuse du manguier <i>Rastrococcus invadens</i>	62

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau I : Données sur l'exportation de la mangue et de ses sous produits au cours des années 2014 et 2015 au Burkina Faso.....	8
Tableau II : Périodes de lâchers de <i>Gyranusoidea tebygi</i> et <i>Anagyrus mangicola</i> dans les pays africains couverts par le programme de lutte biologique initié en 1986 et financé par la FAO et la GTZ.....	28
Tableau III : Caractéristiques des variétés de manguier utilisées au cours de l'étude.....	37
Tableau IV : Nombre de vergers prospectés par localité, type de vergers et période d'inventaire des plantes hôtes de <i>Rastrococcus invadens</i> à l'ouest du Burkina Faso.....	45
Tableau V : Échelle de notation du taux de couverture de la surface foliaire par la fumagine.....	46
Tableau VI : Abondance relative (%) des trois espèces de cochenilles farineuses (<i>Ferrisia virgata</i> , <i>Icerya aegyptiaca</i> et <i>Rastrococcus invadens</i>) sur la période de juin 2014 à juin 2015 dans trois localités à l'Ouest du Burkina Faso.....	53
Tableau VII : Parasitoïdes de <i>Rastrococcus invadens</i> inventoriés sur les sites de Toussiana, Bérégadougou et Orodara.....	59
Tableau VIII : Plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier, <i>Rastrococcus invadens</i> inventoriées à l'ouest du Burkina Faso.....	75
Tableau IX : Effet des facteurs abiotiques sur le taux de couverture foliaire par la fumagine.....	85
Tableau X : Résultats des analyses montrant l'effet des facteurs abiotiques sur les populations des cochenilles à l'Ouest du Burkina Faso.....	86
Tableau XI : Niveau de corrélation entre les populations de <i>Ferrisia virgata</i> , <i>Icerya aegyptiaca</i> , <i>Rastrococcus invadens</i> et les facteurs abiotiques à l'Ouest du Burkina Faso.....	86
Tableau XII : Niveaux de corrélation entre les populations des parasitoïdes et la densité des populations de la cochenille farineuse du manguier.....	100

RÉSUMÉ

La cochenille farineuse du manguier, *Rastrococcus invadens* Williams constitue l'une des principales contraintes de production de la mangue à l'Ouest du Burkina Faso. Ce travail avait pour objectif l'étude de l'écologie de ce ravageur et de rechercher des moyens de lutte biologique pour le contrôler.

A cet effet, des prospections ont été réalisées dans la ville de Bobo-Dioulasso de janvier à mars 2014 afin d'inventorier les espèces de cochenilles vivant en association avec *R. invadens* sur le manguier. Ensuite, 20 vergers de manguiers ont été prospectés dans les provinces de la Comoé, du Houet, du KénéDougou et de la Léraba pour inventorier les plantes hôtes du ravageur. Trois autres vergers de 18 manguiers ont été retenus sur les sites de Bérégadougou, Orodara et Toussiana pour inventorier les ennemis naturels de *R. invadens*. Ces vergers ont également servi à étudier la dynamique des populations des cochenilles et des parasitoïdes qui leurs sont associés. Enfin, une étude a été conduite au laboratoire pour évaluer l'efficacité du biopesticide *Metarhizium anisopliae* sur les stades de développement de *R. invadens* ; ceci en comparaison avec le Chlorpyrifos-éthyl.

Les résultats de ce travail ont révélé l'existence de deux espèces de cochenilles indigènes vivant en association avec *R. invadens* sur le manguier. Il s'agit de *Ferrisia virgata* et *Icerya aegyptiaca* qui présentent une faible densité (1 à 2%) par rapport à *R. invadens* (98 à 99%) sur les sites de Bérégadougou, Orodara et Toussiana. Les populations de *R. invadens* sont naturellement régulées par deux parasitoïdes primaires (*Gyranoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola*) sur ces trois sites. Elles sont hyperparasitées par *Chartocerus hyalipennis*, *Marietta leopardina* et *Pachyneuron sp.* Les parasitoïdes *G. tebygi* et *A. mangicola* étaient majoritairement présents (21 à 38%) sur le ravageur par rapport aux hyper parasitoïdes (6 à 25%). Un taux de parasitisme de 1 à 17% a été observé sur les populations de *R. invadens*. La dynamique des populations de *R. invadens* a présenté la même configuration que celle des parasitoïdes primaires qui lui sont associés ; la période d'abondance de ces insectes survenait de mai à octobre au cours de la saison pluvieuse. *Ferrisia virgata* et *I. aegyptiaca* ont été respectivement abondantes de novembre à avril (saison sèche) et de mai à octobre (saison pluvieuse). Les facteurs abiotiques ont significativement influencé les fluctuations des populations de chaque espèce de cochenille. En plus du manguier, 40 autres espèces végétales appartenant à 24 familles ont été identifiées comme plantes hôtes de *R. invadens*. Mais ce sont les espèces végétales *Vitex doniana*, *Khaya senegalensis*, *Musa sapientum*, *Passiflora sp.*, *Vitellaria paradoxa*, *Citrus limon*, *C. tangelo* et *Tectona grandis* qui ont été les plus infestées par le ravageur. Les doses 10^9 et 2.10^9 conidies/ml de *M. anisopliae* ont causé 98 à 100% de mortalité selon les stades de développement du ravageur. Aucune différence significative n'a été observée entre ces doses et celle du Chlorpyrifos-éthyle.

L'ensemble de ces connaissances produites constitue une piste de solutions pour les acteurs de la filière mangue dans la gestion durable de la cochenille farineuse du manguier. Mais des investigations complémentaires portant sur la biologie de *G. tebygi* et de *A. mangicola* ainsi que l'évaluation de l'effet de *M. anisopliae* sur ces parasitoïdes sont nécessaires pour affiner une stratégie de lutte efficace contre *R. invadens*.

Mots clés : Cochenilles, *Mangifera indica*, *Rastrococcus invadens*, parasitoïdes, *Metarhizium anisopliae*, Burkina Faso

ABSTRACT

The mango mealybug, *Rastrococcus invadens* Williams is one of the main constraints of mango production in western Burkina Faso. This work aimed at studying the ecology of the insect pest and at exploring biological control possibilities.

For this purpose, the city of Bobo-Dioulasso was first surveyed from January to March 2014 to inventory the mealybug's species living in association with *R. invadens* on the mango tree. Then 20 mango orchards were surveyed in the Comoé, Houet, Kéné Dougou and Léraba provinces to inventory the host plants of the insect pest. Three other orchards including a total of 18 mango trees were surveyed in Béré Dougou, Orodara and Toussiana cities to monitor the natural enemies associated with *R. invadens*. These orchards were also used to study population dynamics of the mealybug species and the parasitoids associated with them. Finally, a study was conducted in the laboratory to assess the effectiveness of the biopesticide *Metarhizium anisopliae* ICIPE69 on the developmental stages of *R. invadens* in comparison with chlorpyrifos-ethyl.

The results revealed the existence of two native mealybug's species living in association with *R. invadens* on the mango tree. These included *Ferrisia virgata* and *Icerya aegyptiaca* which presented low density (1-2%) as compared to *R. invadens* (98-99%) in Béré Dougou, Orodara and Toussiana cities. *Rastrococcus invadens*' populations were naturally controlled by two primary parasitoids (*Gyranusoidea tebygi* and *Anagyrus mangicola*) in the three locations. These parasitoids were hyper parasitized by *Chartocerus hyalipennis*, *Marietta leopardina* and *Pachyneuron sp.*. The primary parasitoids, *G. tebygi* and *A. mangicola* were more abundant (21-38%) than the hyper parasitoids (6-25%). In general, the parasitism associated with *R. invadens* varied from 1 to 17%. The population dynamics of both *R. invadens* and its associated parasitoids were similar: the period of abundance of these insects occurred from May to October during the rainy season. *Ferrisia virgata* and *I. aegyptiaca* were respectively abundant from November to April (dry season) and from May to October (rainy season). Abiotic factors significantly influenced the changes in population dynamics of each mealybug species. Besides mango tree, 40 other plant species belonging to 24 families have been identified as host plants of *R. invadens*. But *Vitex doniana*, *Khaya senegalensis*, *Musa sapientum*, *Passiflora sp.*, *Vitellaria paradoxa*, *Citrus limon*, *C. tangelo* and *Tectona grandis* were the most infested species by the insect pest. The doses 10^9 and 2.10^9 conidia/ml of *M. anisopliae* caused 98 to 100% mortality depending on the developmental stages of the insect pest. No significant difference was observed between these doses and that of Chlorpyrifos-éthyl.

All these findings represent a track of solutions for mango chain stakeholders for the sustainable management of the mango mealybug. But further research on the biology of *G. tebygi* and *A. mangicola* and the effect of *M. anisopliae* on the parasitoids associated with the insect pest are needed to develop an effective strategy against *R. invadens*.

Keywords: Mealybugs, *Mangifera indica*, *Rastrococcus invadens*, parasitoids, *Metarhizium anisopliae*, Burkina Faso

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les coccidés sont les Homoptères les plus évolués et forment un important sous-ordre en raison, entre autres, des nombreuses espèces polyphages qu'ils renferment (APPERT et DEUSE, 1982). Ils comportent plus de 52 familles dont celle des Pseudococcidae qui regroupe près de 2000 espèces à travers le monde. Les espèces de cette famille, en particulier celles invasives sont des ravageurs redoutables (MILLER, 2005). Piqueurs suceurs, leurs dommages se traduisent par un dépérissement des organes atteints à cause de l'action mécanique du rostre et au prélèvement de sève. Leur présence sur la plante hôte entraîne l'apparition et le développement de la fumagine sur du miellat qu'elles secrètent. Certaines espèces sont des vecteurs de maladies. C'est le cas de *Planococcoïdes njalensis*, *Planococcus citri* et *Ferrisia virgata* qui transmettent naturellement au cacaoyer le virus des touffes enflées (Cocoa Swollen Shoot Virus). Cette virose est confinée en Afrique de l'Ouest où elle est considérée comme une maladie virale majeure du cacaoyer (KOUAKOU *et al.*, 2011). Outre ces cochenilles natives, des espèces exotiques de la même famille ont été accidentellement introduites. C'est le cas de la cochenille farineuse du manioc (*Phenacoccus manihoti* Matile-Fererro) et celle du manguier (*Rastrococcus invadens* Williams). Elles ont été introduites respectivement dans les années 1970 et 1980 à partir de l'Amérique du Sud et de l'Asie (NEUENSCHWANDER, 2003). La plus récente est la cochenille du papayer (*Paracoccus marginatus* Williams and Granara De Willink) signalée en 2009 au Ghana pour la première fois en Afrique de l'Ouest. Cette espèce est native du Mexique et de l'Amérique Centrale (MUNIAPPAN *et al.*, 2008 ; CHAM *et al.*, 2011).

Des dégâts dus à *R. invadens* ont été également signalés sur d'autres cultures fruitières telles que les citrus et le goyavier. Plus de 44 espèces végétales réparties dans 22 familles ont été recensées comme plantes hôtes de cet insecte au Togo et au Bénin (AGOUNKÉ *et al.*, 1988). Les méthodes de lutte (mécanique et chimique) essayées par les producteurs se sont révélées inefficaces. À cet effet, un projet de lutte biologique financé par la GTZ et la FAO a été initié à partir de 1986 afin de lutter contre ce ravageur de façon durable. Ainsi, deux espèces de parasitoïdes (*Anagyrus mangicola* Noyes et *Gyranusoidea tebygi* Noyes) ont été importées de l'Inde et lâchées dans plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest sur la période de 1987 à 1990 (NEUENSCHWANDER *et al.*, 1994). Des études axées sur la dynamique des populations du ravageur et l'action de ces parasitoïdes ont montré des résultats satisfaisants quant à la réduction des pertes de récolte et l'amélioration des conditions socio-économiques des populations (VÖGELE *et al.*, 1991 ; BOAVIDA et NEUENSCHWANDER, 1995 ; PITAN *et al.*, 2000 ; BOKONON-GANTA *et al.*, 2002). Selon NEUENSCHWANDER (2003), une fois que les populations du ravageur se sont effondrées sous l'action des parasitoïdes, celui-ci s'est

restreint au manguier comme sa principale plante hôte. Cependant, malgré l'établissement des parasitoïdes dans les pays non couverts par les lâchers de parasitoïdes, la cochenille demeure une menace majeure à cause de son effet dévastateur. Ainsi, des pertes de rendement de 53% ont été rapportées en station de recherche à Korhogo-Lataha (Côte-d'Ivoire) par HALA *et al.* (2004). Elles atteignent parfois 100% en milieu paysan. Des travaux de recherche conduits dans ce pays sur la dynamique des populations du ravageur recommandent l'élevage de masse des 2 parasitoïdes pour mener une lutte biologique augmentative (HALA *et al.*, 2011). La cochenille farineuse du manguier a été signalée à partir des années 2000 comme une menace pour la filière mangue au Burkina Faso, à partir de la Côte-d'Ivoire (OUÉDRAOGO, 2002). En plus du Burkina Faso, HALA *et al.* (2004) ont rapporté la présence du ravageur au Mali et en Guinée où elle est devenue une préoccupation majeure.

Initialement observée à l'extrême ouest du Burkina Faso (frontière avec la Côte-d'Ivoire), la cochenille s'est ensuite propagée dans cette région qui constitue la principale zone de production de la mangue du pays. Elle a été répertoriée en 2009 dans 29 localités réparties dans les provinces de la Comoé, du Houet, de la Léraba et du Kéné Dougou (DAKOUO *et al.*, 2011). Durant la même année, un suivi de courte durée (avril à juin) a été consacré à la dynamique des populations du ravageur dans son aire de distribution (L.C. OTOIDOBIGA, communication personnelle). Des travaux ont été également réalisés pour évaluer l'efficacité du Chlorpyrifos éthyle et du Thiametoxam (NÉBIÉ, 2011). Ces deux insecticides synthétiques se sont révélés efficaces contre le ravageur. Mais ils demeurent incompatibles avec les parasitoïdes *A. mangicola* et *G. tebygi*. En raison du peu de connaissances disponibles sur le ravageur, des études approfondies sur celui-ci s'avèrent nécessaires afin de développer une stratégie de lutte efficace et durable. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude dont l'objectif principal a été d'étudier l'écologie de *R. invadens* et de rechercher des moyens de lutte biologique contre cet insecte ravageur. Il s'est agi spécifiquement de :

- Étudier la diversité spécifique des cochenilles, leurs dégâts et leur importance sur le manguier ;
- Inventorier les ennemis naturels et les plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier ;
- Étudier la dynamique des populations des cochenilles en relation avec les facteurs biotiques et abiotiques ;
- Évaluer l'efficacité de l'entomopathogène *Metarhizium anisopliae* souche ICIPE 69 contre la cochenille farineuse du manguier.

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs activités ont été réalisées aussi bien au laboratoire qu'en verger. Elles ont été conduites sur la base des hypothèses suivantes :

- La cochenille farineuse du manguier est l'espèce de cochenille prédominante vis-à-vis des autres cochenilles locales sur le manguier ;
- La cochenille farineuse du manguier s'est adaptée à une diversité de plantes et d'ennemis naturels après son établissement au Burkina Faso ;
- L'importance des dégâts et les périodes d'abondance des populations de la cochenille varient respectivement selon les périodes de l'année et les localités ;
- L'entomopathogène *Metarhizium anisopliae* souche ICIPE 69 commercialisée sur le marché contre la cochenille du papayer est aussi efficace contre la cochenille farineuse du manguier.

Le présent mémoire de thèse est subdivisé en 3 parties. La première partie précédée d'une introduction générale fait une synthèse bibliographique sur le manguier et les contraintes liées à sa production. La deuxième partie porte sur le matériel et la méthodologie utilisés pour la conduite de l'étude. La troisième partie est consacrée aux résultats et à la discussion. Elle regroupe six chapitres. Le premier chapitre traite de la diversité des cochenilles et de leur importance relative sur le manguier. Les deuxième et troisième chapitres sont axés respectivement sur les ennemis naturels et les plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier. Les quatrième et cinquième chapitres portent respectivement sur la dynamique des populations des cochenilles et celle des parasitoïdes. Le sixième chapitre traite de l'efficacité du bio pesticide *Metarhizium anisopliae* souche ICIPE 69 contre la cochenille farineuse du manguier. Enfin, une conclusion générale est faite sur l'ensemble des résultats obtenus.

I^{ERE} PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LE MANGUIER

I. SYSTÉMATIQUE, ORIGINE ET DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DU MANGUIER

Le manguiier (*Mangifera indica* L.) appartient à l'ordre des Sapindales et à la famille des Anacardiaceae qui regroupe plus de 600 espèces réparties dans 70 genres. Le genre *Mangifera* comprend environ 70 espèces surtout restreintes à l'Asie tropicale. Il peut être subdivisé en 2 sous-genres (*Limus* et *Mangifera*) composés de plusieurs sections (KOSTERMANS et BOMPARD, 1993). Le manguiier est une plante diploïde ($2n=40$) avec un génome de $8.8 \cdot 10^8$ paires de bases (BENNETT et LEITCH, 2003).

Les récits historiques fournissent des divergences sur l'origine et la distribution du manguiier. Certains auteurs considèrent l'Inde comme le centre d'origine à cause du niveau élevé de la diversité de manguiiers qui existe dans ce pays (RAVISHANKAR *et al.*, 2000). Selon des preuves taxonomiques et moléculaires, le manguiier a évolué dans une zone plus étendue incluant le Nord-ouest de Myanmar, le Bangladesh et le Nord-est de l'Inde (MUKHERJEE et LITZ, 2009). Cette extension a été l'œuvre de marchands. Ainsi, les Portugais sont à l'origine de sa dissémination en Afrique australe et orientale, au Brésil et dans les îles caraïbes (NAKASONE et PAULL, 1998). De nos jours, le manguiier est cultivé dans plus de 100 pays du monde (KARAR *et al.*, 2009). L'arbre a été introduit en Floride au XIX^{ème} siècle, successivement à partir des Caraïbes et de l'Inde. Depuis cette période, la Floride a connu l'introduction de nouveaux germoplasmes à partir de l'Asie, l'Afrique, l'Amérique Centrale et du Sud, et des îles Caraïbes et Pacifiques (CAMPBELL, 1992). Ainsi, la Floride est considérée de nos jours comme le centre secondaire de diversification du manguiier. Le manguiier se rencontrait déjà en Afrique de l'Est dès le XIV^{ème} siècle. C'est au début du XIX^{ème} siècle qu'il a été signalé pour la première fois en Afrique de l'Ouest, notamment au Sénégal (REY *et al.*, 2004). L'introduction du manguiier au Burkina Faso remonte à la période coloniale. Selon SAWADOGO *et al.* (2001), ses premières diffusions ont été faites dans l'ouest du pays à partir de la station agricole de Banfora.

II. EXIGENCES ÉCOLOGIQUES DU MANGUIER

Le manguiier 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 3600 mm. Le manguiier 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 (BALLY, 2006).

III. PRODUCTION DE LA MANGUE AU BURKINA FASO

Au Burkina Faso, le secteur fruitier constitue une importante source d'amélioration des revenus des ménages agricoles. Plus de 58% des arboriculteurs sont des producteurs de mangues. Cette culture fruitière occupe 24,7% des superficies emblavées après l'anacarde (70,2%). En termes de quantité produite, la mangue se classe au premier rang avec 62,50% de la production nationale fruitière (MAH, 2011). Les principales zones de production sont les régions de l'Ouest (provinces du Houet, du Kéné Dougou, de la Comoé et de la Léraba) et du Centre Ouest (provinces du Boulkiemdé, du Sanguié et de la Sissili). Plus d'une soixantaine de variétés de manguiers sont cultivées dans l'ensemble de ces zones (PAFASP, 2010). Mais 6 variétés demeurent populaires dans les vergers. Ce sont les variétés Amélie, Kent, Keitt, Lippens, Springfield et Brooks. Les périodes de production varient selon les variétés et les zones de production. De façon générale, la campagne débute en février avec la variété Amélie dans la région du Centre-ouest et prend fin en août avec la variété Brooks dans la province du Kéné Dougou (PAFASP, 2009).

IV. COMMERCIALISATION DE LA MANGUE AU BURKINA FASO

Les circuits de commercialisation de la mangue comportent plusieurs niveaux : national, sous-régional et international (MAH, 2011). Plus de 80% des mangues produites sont destinés au marché local et sous-régional (PAFASP, 2009). Au niveau national, les mangues sont achetées par des particuliers dans toutes les provinces productrices pour les revendre dans les grands centres urbains. Une partie est également absorbée par les unités de transformation dont une soixantaine situées essentiellement au centre et à l'ouest du pays. Pour le marché sous régional, des particuliers se font livrer les mangues sur des points de vente en gros (MAH, 2011). Ces fruits sont ensuite emballés dans des cartons pour être acheminés par des camions vers les pays voisins tels que le Niger, le Mali, la Côte-d'Ivoire et le Ghana. En 2009, 5 503 T de mangues fraîches ont été exportées vers le Niger. La principale destination pour

l'exportation sur le marché international est l'Europe (plus de 90% du volume total exporté). Dans ce cas de figure, les mangues sont expédiées par avion ou par bateau. Les pays destinataires sont la France, les Pays-Bas, la Belgique, l'Espagne et l'Allemagne. De 2008 à 2009, le Burkina Faso a exporté respectivement 2 294 T et 1 976 T de mangues fraîches vers l'Europe. Le marché d'exportation concerne aussi la mangue transformée (surtout la mangue séchée) qui est exportée majoritairement vers l'Europe. Pour les années 2007 et 2008, les tonnages exportés étaient respectivement de 600 T et 300 T de mangues séchées. Les variétés concernées sont Amélie, Brooks et Lippens. L'activité de séchage est répartie géographiquement par ordre d'importance dans les régions des Hauts-Bassins, des Cascades, du Centre, du Centre-ouest et du Centre-nord (PAFASP, 2009). Le tableau I renseigne sur les quantités de mangues exportées dans les années récentes (2014 et 2015).

Tableau I : Données sur l'exportation de la mangue et de ses sous produits au cours des années 2014 et 2015 au Burkina Faso

Années	Mangues fraîches	Mangues séchées	Pulpes
2014	3515,451 T	779,058 T soit	2754 T soit
		11685,87 T de mangues fraîches	5011 T de mangues fraîches
2015	4973,886 T	1208,114 T soit	2600 T soit
		18121,71 T de mangues fraîches	4400 T de mangues fraîches

Source : ANONYME, 2015 a et b

V. PROBLÈMES PHYTOSANITAIRES LIÉS À LA PRODUCTION DE LA MANGUE AU BURKINA FASO

Au Burkina Faso, la filière mangue est confrontée à divers problèmes phytosanitaires dont les maladies et les insectes ravageurs. Parmi les maladies, les plus connues sont l'antracnose, la bactériose et le dessèchement. Les insectes ravageurs regroupent essentiellement les mouches des fruits, les termites et la cochenille farineuse du manguier.

5.1. Maladies du manguier

5.1.1. Anthracnose du manguier

L'antracnose du manguier est causée par un champignon (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz & Sacc) de la classe des Ascomycètes présente dans les régions chaudes et humides des zones tropicales et subtropicales. Outre le manguier, le champignon est capable de se développer sur d'autres cultures fruitières telles que le bananier, l'avocatier, le papayer et le caféier (NELSON, 2008).

La maladie affecte toutes les parties aériennes du manguiier. Sur les feuilles, les lésions commencent par des petites taches noires anguleuses qui peuvent s'agrandir pour former des régions mortes étendues (Planche I : A). Par temps sec, les lésions peuvent causer la chute des feuilles (NELSON, 2008). Les inflorescences sévèrement infectées sont complètement détruites (Planche I : B). Les jeunes fruits infectés développent des taches noires, se déforment et tombent. La plupart des infections du fruit vert restent latentes et généralement invisibles jusqu'à la maturité. La pourriture du fruit peut survenir à ce stade sur l'arbre ou pendant le stockage causant ainsi des pertes énormes dans l'exportation et la commercialisation (HAGGAG, 2010).

La lutte prophylactique est essentiellement recommandée pour contrôler la maladie. Selon HAGGAG (2010) l'agent pathogène a une longue durée de survie saprophytique sur les rameaux morts. Ainsi, les rameaux et les feuilles morts doivent être taillés et brûlés afin de réduire le potentiel d'inoculum. Il est également recommandé d'utiliser des plantes intercalaires non hôtes pour limiter la propagation de l'agent pathogène. Le traitement chimique avec les sels d'acide phosphorique et l'hydroxyde du cuivre peut également être réalisé.

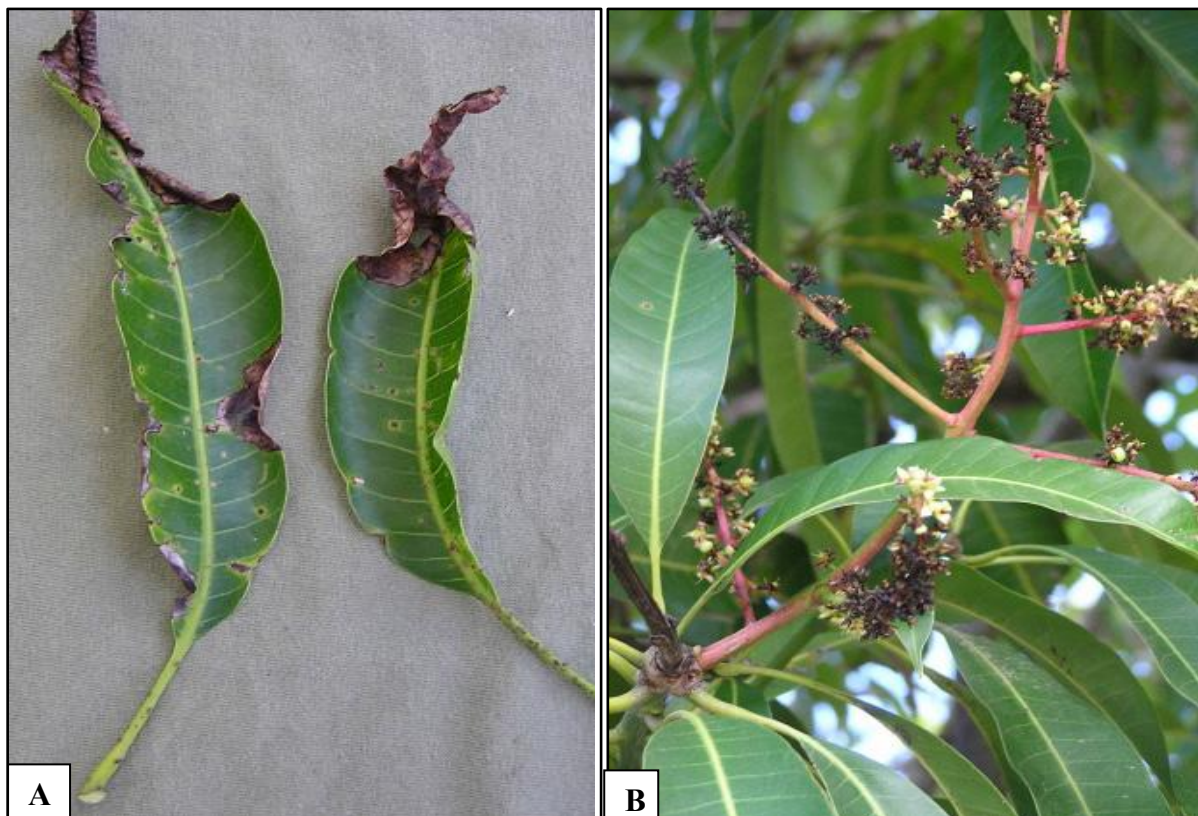


Planche I : Symptômes de l'antracnose sur feuilles (A) et inflorescences (B) du manguiier (NELSON, 2008)

5.1.2. Bactériose du manguier

La bactériose du manguier est causée par une bactérie phytopathogène appartenant à l'espèce *Xanthomonas citri*. Cette espèce a une très grande spécificité de pouvoir pathogène. Elle est donc subdivisée en pathovars qui renseignent sur la plante hôte à laquelle elle s'attaque. Ainsi, *X. citri* pv. *mangiferaeindicae* est inféodé au manguier *Mangifera indica* (COLEACP/PIP, 2013). Mais en plus du manguier, cette souche de bactérie est capable d'infester les espèces sauvages de manguiers, l'anacardier ainsi que les herbes (HAGGAG, 2010 ; ZOMBRÉ *et al.*, 2016). L'aire de distribution de la maladie couvre plusieurs régions du monde où la mangue est produite. Elle a été récemment répertoriée en Afrique de l'Ouest au Ghana, au Burkina Faso, au Mali et en Côte-d'Ivoire (PRUVOST *et al.*, 2011 a et b ; PRUVOST *et al.*, 2012 ; PRUVOST *et al.*, 2014). Une étude conduite par ZOMBRÉ *et al.* (2015) a confirmé la présence de la maladie au Bénin.

La bactériose du manguier provoque plusieurs types de symptômes qui ont en commun les taches noires en relief sur les branches, les rameaux, les pédoncules, les feuilles et les fruits. Sur les feuilles, ces taches noires sont entourées d'un halo plus clair d'aspect huileux à la face inférieure et d'un halo jaune à la face supérieure (Planche II : A). Sur les fruits, les taches se déchirent en forme d'étoile et laissent couler de la gomme (Planche II : B). Les dégâts s'intensifient en saison pluvieuse au cours de laquelle les bactéries sont naturellement disséminées par la pluie et le vent et réalisent de nouvelles infections (COLEACP/PIP, 2013). De façon générale, la maladie provoque la chute des fruits (10-70 %), des pertes de rendement (10-85 %) et la pourriture des fruits en conditionnement (5-100 %) (HAGGAG, 2010).

La lutte préventive est la méthode à privilégier afin de limiter la propagation et l'incidence de la maladie. Ainsi, il est recommandé d'éviter le transport de matériel végétal contaminé depuis les zones infestées vers les zones saines. Les arbres malades doivent être éliminés lorsque la maladie n'est pas encore généralisée. Il faut également tenir compte de ce risque lors de l'installation de nouveaux vergers et « aérer » ceux existants. Quant à la lutte curative, les produits à base de cuivre (750g/ha) peuvent être utilisés pendant les périodes à risque.

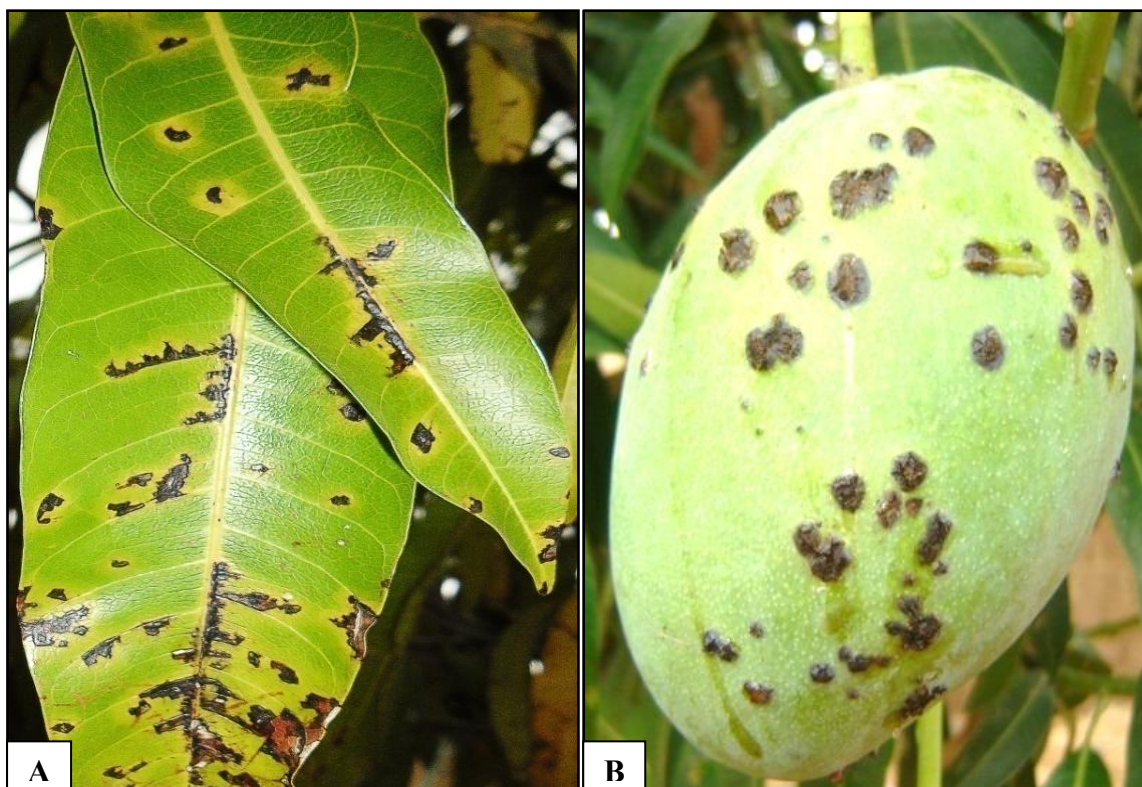


Planche II : Symptômes (taches noires) de la bactériose sur feuilles (A) et fruit (B) de manguier (ZOMBRÉ, 2016)

5.1.3. Dessèchement du manguier

Le dessèchement du manguier est une contrainte biotique qui prend actuellement de l'ampleur au Burkina Faso. Il constitue une menace majeure pour la filière mangue compte tenu de son incidence et de sa distribution dans toutes les zones de production de la mangue. Selon HAUGUI (2005), le dessèchement du manguier est provoqué par un complexe de champignons phytopathogènes. Quatre espèces de champignons parasites ont été isolées des arbres malades. Il s'agit de *Lasiodiplodia theobromae*, *Hendersonnulla toruloides*, *Fusarium sp.* et *Phoma sp.*. Cependant, les mauvaises pratiques culturales, les propriétés physico-chimiques des sols et les facteurs climatiques peuvent également être à l'origine du dessèchement des manguiers.

Les symptômes se manifestent par des nécroses de couleur rouge brique sur les feuilles. Les branches flétrissent et se dessèchent d'un côté. Le phénomène se généralise progressivement pour envahir toute la canopée de l'arbre. La maladie s'observe aussi bien sur les arbres en peuplement dense que sur ceux isolés des habitations. Elle peut provoquer la mort des plantes à tout âge (Planche III).

Les méthodes prophylactiques (déracinement et incinération des arbres sévèrement atteints) sont recommandées pour limiter la dissémination de l'agent pathogène. Les fongicides

indiqués contre les champignons susmentionnés peuvent être utilisés en lutte curative. Ainsi, l'application du carbendazime et du thiophanate-méthyl à 1 ppm permet d'inhiber la croissance de *L. theobromae* et d'améliorer la croissance végétative des manguiers en verger (KHANZADA *et al.*, 2005). Au Mali, l'application du Carbofuran combiné aux fertilisants (urée, phosphate d'ammoniaque, sulfate de phosphate) a permis de récupérer des manguiers présentant 80% de feuilles desséchées (N'DIAYE *et al.*, 2011).



Planche III : Dessèchement évolutif sur deux pieds de manguiers (A : Jeune pied ; B : Pied âgé) (Photo K. NÉBIÉ)

5.2. Insectes nuisibles

5.2.1. Mouches des fruits

Les mouches des fruits appartiennent à la superfamille des Tephritoidea et à la famille des Tephritidae qui regroupe plus de 4800 espèces réparties dans 500 genres à travers le monde. Largement phytophages, la plupart des espèces nuisibles appartiennent aux groupes dont les larves se développent dans les fruits (VIRGILIO *et al.*, 2015). Une centaine d'espèces sont considérées comme des ravageurs d'importance économique.

Au Burkina Faso, la problématique des mouches de fruits a été posée à partir des années 2000 (OUÉDRAOGO, 2002). Les dégâts observés par cet auteur ont été attribués aux espèces du genre *Ceratitis*. De nos jours, avec l'introduction de l'espèce exotique *Bactrocera dorsalis*,

les mouches des fruits représentent le principal groupe d'insectes ravageurs inféodés au manguier (DAKOUO *et al.*, 2011). Les travaux de OUÉDRAOGO *et al.* (2011) ont permis d'inventorier 18 espèces de mouches de fruits réparties dans les genres *Bactrocera*, *Ceratitidis* et *Dacus*. *C. cosyra* et *B. dorsalis* (Planche IV) sont les espèces les plus abondantes.

Les dégâts des mouches des fruits débutent par des piqûres de ponte au niveau de l'épiderme du fruit. L'éclosion des œufs donne des larves (asticots) qui consomment la pulpe du fruit (Photo 1). Les fruits ainsi piqués tombent prématurément et ne sont ni consommables, ni commercialisables. Les larves au stade III quittent les fruits pour devenir des pupes dans le sol. Le cycle est ainsi achevé au bout de 25 jours en moyenne avec l'émergence des adultes. Selon OUÉDRAOGO (2011), *C. cosyra* et *B. dorsalis* sont associées à 95% des dégâts dans les vergers de manguiers au Burkina Faso. Les cultivars qui mûrissent en retard sont plus infestés par les mouches des fruits que ceux à maturité précoce. Cette situation contraint les exportateurs de mangues à raccourcir leur campagne. Les mangues exportées sont également soumises aux multiples restrictions à cause du statut d'insectes de quarantaine des mouches des fruits. Mais une étude récente permet de lever ces restrictions. Il s'agit des travaux de SCHUTZE *et al.* (2014) qui ont révélé que l'espèce *B. invadens* rencontrée en Afrique est la même que *B. dorsalis* répertoriée dans son aire d'origine et sur d'autres continents. L'exportation de mangues est désormais donc possible entre les pays qui abritent la même espèce.

Les méthodes de lutte utilisées contre les mouches des fruits au Burkina Faso se résument au piégeage de masse avec les para-phéromones (Timaye), au traitement par tache avec les appâts empoisonnés (GF-120) et à la sanitation. Des travaux sont actuellement orientés vers le développement de la lutte biologique par l'utilisation du parasitoïde *Fopius arisanus* (Sonan). Il y a également la lutte autocide qui consiste à la production et au lâcher de mâles stériles pour réduire la reproduction chez les femelles dans la nature.

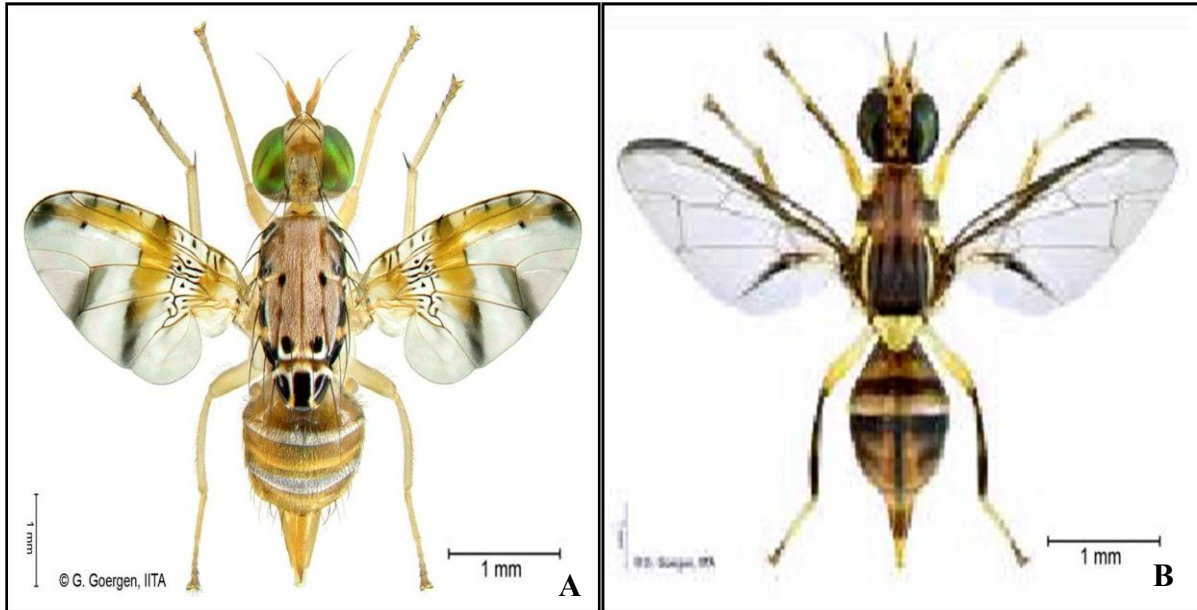


Planche IV : Femelle adulte de *Ceratitiss cosyra* (A); Femelle adulte (B) de *Bactrocera dorsalis* (Photos G. GOERGEN)



Photo 1 : Pourriture d'une mangue due aux larves des mouches de fruits

5.2.2. Termites

Les termites sont des insectes sociaux appartenant à l'ordre des isoptères. Plus de 2600 espèces sont connues à travers le monde (LANGEWALD *et al.*, 2003). Plusieurs espèces causent des dégâts sur les arbres fruitiers. Les termites figurent sur la liste des 3 principaux insectes ravageurs du manguier répertoriés dans la zone ouest du Burkina Faso (DAKOUO *et al.*, 2011). Trois espèces de termites appartenant à la famille des Kalotermitidae, Rhinotermitidae et Hodotermitidae ont été identifiées sur le manguier (OUÉDRAOGO, 2002). NDIAYE (1998) classe les termites en 3 groupes selon leur mode d'attaque. Le 1^{er} groupe est composé des termites du bois qui creusent des galeries dans les arbres au fur et à mesure qu'ils récoltent leur nourriture. Le 2^{ème} groupe comprend les lignivores constructeurs se reconnaissant par leurs galeries-tunnels faites d'un mélange de sable et de matériel stercoral. Le 3^{ème} groupe est constitué des termites se reconnaissant par leurs galeries et placages terreux qu'ils construisent sur les arbres et par le remplissage de terre de l'intérieur du tronc et des branches à la place du bois qu'ils récoltent.

Les dégâts des termites vont du dépérissement à la mort des arbres, en passant par une simple couverture des galeries-tunnels et de placages de récolte sur la surface de l'écorce. Il y a également la consommation des racines, des écorces, du bois et la chute des feuilles (KOTOKLO *et al.*, 2010). La sévérité des attaques de termites est associée à divers facteurs de stress, en particulier la sécheresse et les périodes de sécheresse prolongées dans la saison de culture ainsi que la faible fertilité des sols. Selon NDIAYE (1998), *Amitermes evuncifer* est l'une des espèces les plus dévastatrices des arbres fruitiers. Elle s'attaque aux racines et aux collets de l'extérieur ou de l'intérieur. Les attaques externes peuvent provoquer la mort des arbres par la section des tissus vivants sur tout leur pourtour. Elles peuvent se poursuivre jusqu'à la section totale de la tige chez les jeunes pieds de manguier. Cette espèce est capable de tuer un arbre robuste et en bonne santé au début de son attaque en l'espace de 5-6 mois. Les méthodes de lutte contre les termites comprennent principalement la lutte culturale et l'utilisation d'insecticides homologués. Les méthodes de lutte culturale consistent en un apport régulier d'eau pour éviter les poches de sécheresse. Il est recommandé de retirer les galeries de boue sur le tronc et tige ou pulvériser le tronc avec le malathion (1,5 ml/l). Au bout de 2 mois, un deuxième traitement à base du chlorpyrifos (1,5 ml/l) peut être réalisé au sol autour du collet de l'arbre.



Photo 2 : Attaques de termites sur les branches d'un manguier (Photo K. NÉBIÉ)

CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉS SUR LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

I. SYSTÉMATIQUE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

La cochenille farineuse du manguier est un insecte piqueur-suceur appartenant à l'ordre des Homoptères et à la famille des Pseudococcidae. Elle a été décrite pour la première fois par WILLIAMS (1986). Dès les premiers instants de son apparition en Afrique de l'Ouest dans les années 1981, *R. invadens* a été confondue à *R. spinosus* (LOHR, 1984). Le genre *Rastrococcus* compte 31 espèces décrites à travers le monde. En Afrique, les espèces de cochenilles d'importance économique sur le manguier sont *R. invadens* et *R. iceryoides* (TANGA *et al.*, 2013). Elles sont toutes natives de l'Asie du Sud. La classification de la cochenille farineuse du manguier est la suivante :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Classe : Insecta

Ordre : Hemiptera

Superfamille : Coccoidea

Famille : Pseudococcidea

Genre : *Rastrococcus*

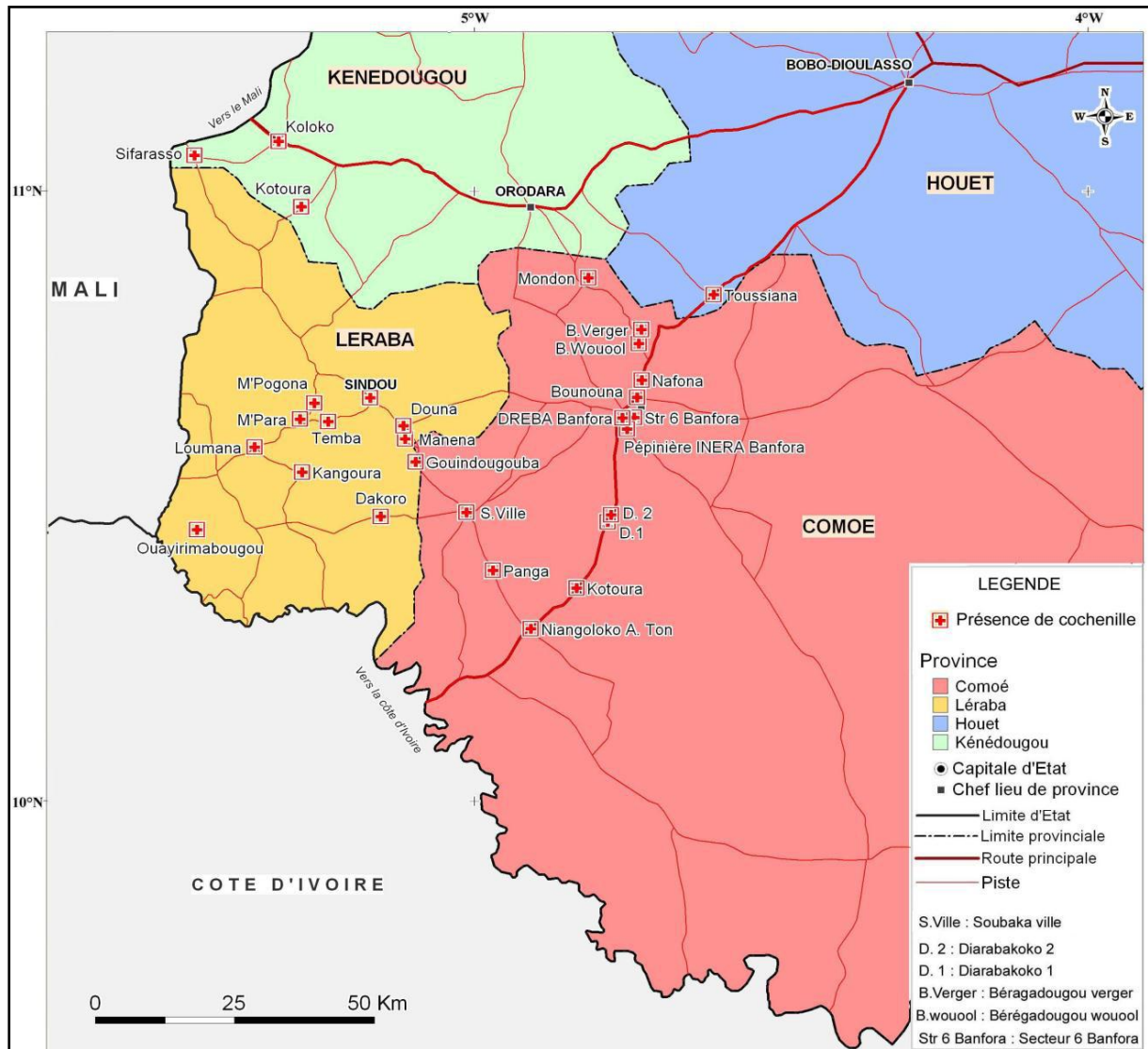
Espèce : *Rastrococcus invadens*

II. ORIGINE ET DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

La cochenille farineuse du manguier (*Rastrococcus invadens*) est originaire du sud-est de l'Asie (MOORE, 1992). 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.

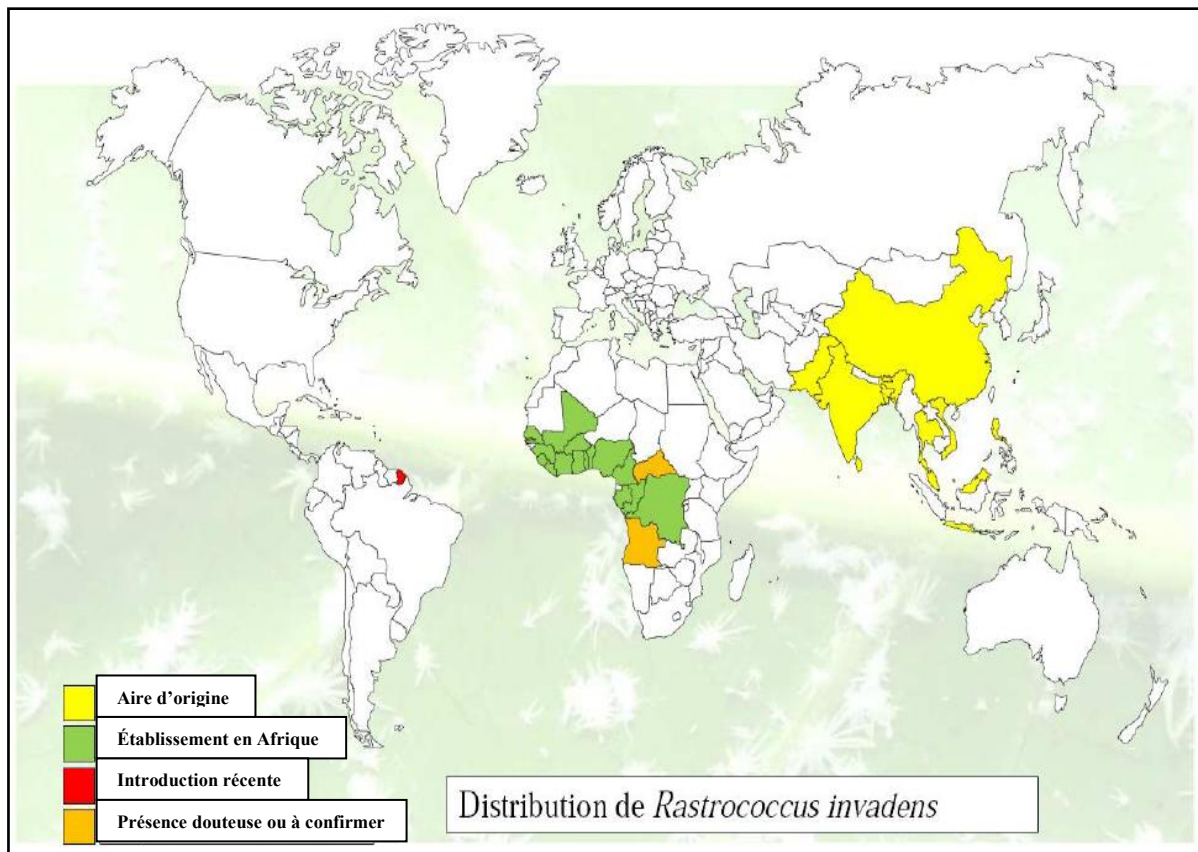
En dehors de son aire d'origine, *R. invadens* s'est établie en Afrique dans les zones aux latitudes comprises entre 0° (Libreville, Gabon) et 14°N (Dakar, Sénégal), avec différents types de climat chaud tropical (ANSES, 2015). Il a été signalé pour la première fois au Togo et au Ghana en 1980 avant de se propager dans la plupart des pays de l'Afrique de l'ouest (AGOUNKÉ *et al.*, 1988). Au milieu des années 1990, il avait presque envahit toute l'Afrique de l'ouest et centrale, du Sénégal à la République Démocratique du Congo (NEUENSCHWANDER, 2003). Observé dans les années 2000 à l'extrême ouest du Burkina Faso, le ravageur s'est ensuite propagé dans la principale zone productrice de mangues du pays. Il a été répertorié par DAKOUO *et al.* (2011) dans 29 localités réparties dans les

provinces de la Comoé, du Houet, de la Léraba et du KénéDougou (Carte 1). La cochenille a été récemment répertoriée en Guyane française (zone de Cayenne) et dans les Amériques en septembre 2014. Il s'agit de sa première apparition sur le continent américain (GERMAIN *et al.*, 2015 ; ANSES, 2015). La carte 2 présente l'aire de distribution du ravageur à travers le monde.



Carte 1 : Distribution géographique de la cochenille farineuse du manguier *Rastrococcus invadens* à l'Ouest du Burkina Faso

Source : DAKOUO *et al.* (2011)



Carte 2 : Aire de distribution mondiale de la cochenille farineuse du manguiers *Rastrococcus invadens* (Source : ANSES, 2015)

III. DESCRIPTIONS MORPHOLOGIQUE ET ANATOMIQUE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

Les individus de la cochenille farineuse du manguiers acquièrent progressivement de nouveaux caractères morphologiques pendant les différents stades de développement. Ces caractères sont principalement les filaments et les ailes. Ainsi, les larves de premier stade portent 2 filaments cireux sur la partie postérieure, et 1 sur la partie antérieure du corps. Au 2^{ème} stade de leur développement, on observe 4 filaments antérieurs et 8 filaments postérieurs, ainsi que des filaments latéraux plus courts. Au 3^{ème} 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 2 paires d'ailes et 2 paires de filaments distinctifs à l'extrémité de l'abdomen (Planche V, A). Par contre les femelles adultes sont aptérygotes. Elles présentent une apparence externe vert pâle, couverte de cire blanche à l'exception d'une zone dénudée le long de la nervure médiane (MOORE, 1992). On distingue aussi 17 paires de cires filamenteuses longues dont 2 paires antérieures sur la tête presque aussi longues que le corps, 6 paires thoraciques, 9 paires abdominales et 4 paires postérieures environ 4 fois la longueur du corps (Planche V, B).

Préparé sur des lamelles microscopiques, le corps est largement ovale. La longueur (2,6-4,4mm) et la largeur (1,7-2,7mm) du corps varient selon la plante hôte (KEMABONTA et ODEBIYI, 2001). Les antennes sont divisées en 9 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 segments ; le 3^{ème} segment étant plus large que les autres (AKINTOLA et ANDE, 2009). On dénombre 17 paires de cerarii (Figure 1); 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 3^{ème} segment (MOORE, 1992).

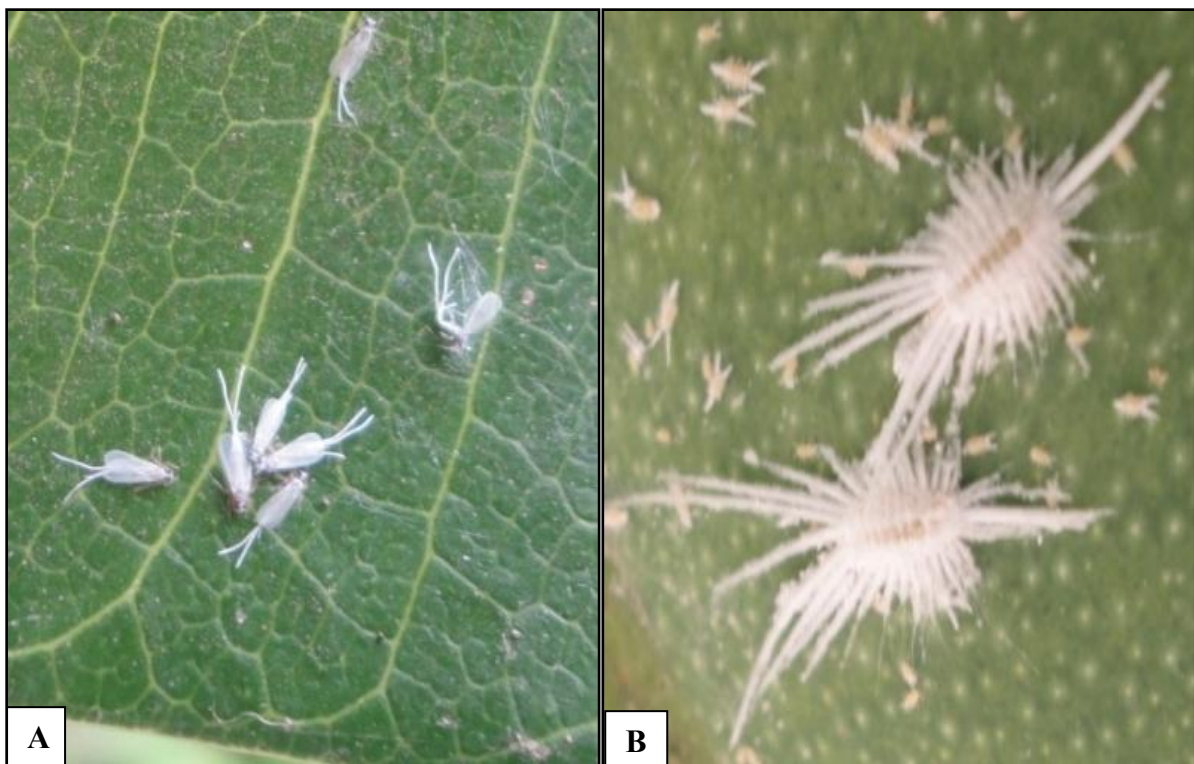


Planche V : Mâles adultes ailés (A) et, Femelles adultes et larves de stade I (B) de *Rastrococcus invadens* (Photo K. NÉBIÉ)

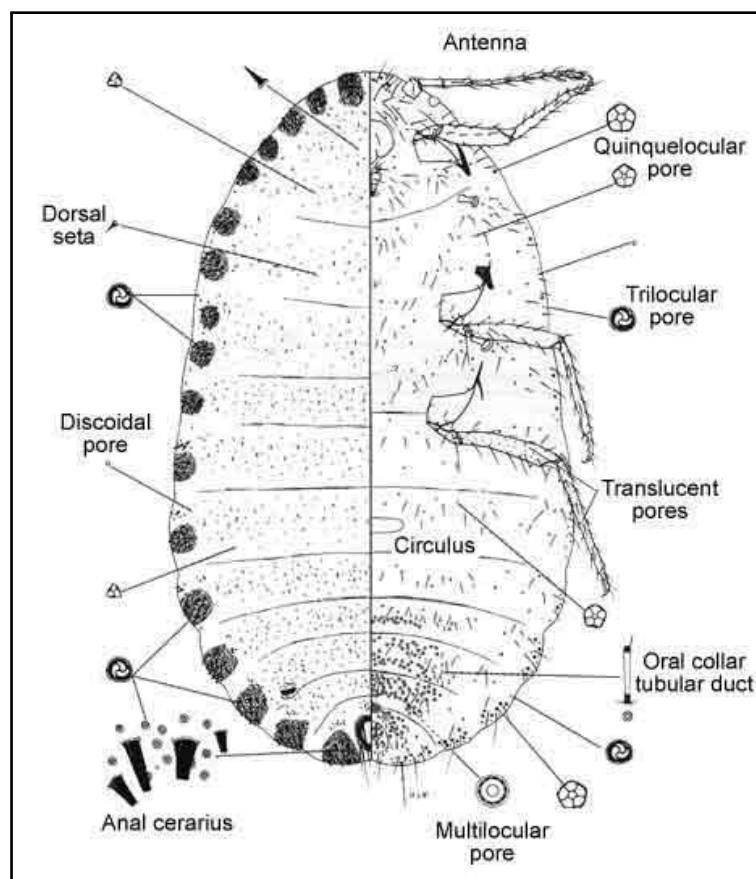


Figure 1 : Femelle adulte de *Rastrococcus invadens* préparée entre lame et lamelle (Source : <http://idtools.org/id/scales/factsheet.php?name=7016>)

IV. BIOLOGIE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

La cochenille farineuse du manguier est un insecte qui se reproduit en pondant des œufs ou des larves. Son cycle de développement est marqué par trois stades larvaires et un stade adulte aussi bien chez les mâles que chez les femelles.

Les plantes hôtes et la température jouent un rôle important dans la vie de l'insecte. WILLINK et MOORE (1988) ont étudié les paramètres biologiques de la cochenille sur des plants de citrus (citronnier) en conditions contrôlées (T=25°C ; HR=70%) et en serre (T=25 à 30°C ; HR=50 à 70%). Sur les plants de citrus, l'insecte boucle son cycle de développement (de la larve à l'adulte reproductif) au bout de 45 à 50 jours environ. Durant cette période, la femelle mue trois fois tandis que le mâle mue quatre fois. Après sa dernière mue, la femelle passe par une période pré-reproductive de 20 jours en serre contre 12 jours en conditions contrôlées avant de pondre ses premières larves. Cette ponte s'étale sur une durée de 75 jours environ avec un nombre de larves plus élevé en conditions contrôlées qu'en serre. Dans 20% des cas, 50% des larves sont pondues dans les 15 premiers jours.

Sur le manguier, la durée des stades de développement et de vie de la cochenille diminue sous l'effet de l'augmentation de la température (KEMABONTA et ODEBIYI, 2002). L'insecte vit pendant 44,8 jours et 30,1 jours à des températures respectives de 20 et 30°C. Par contre, son potentiel de ponte et sa période de reproduction évoluent de la même façon que la température et atteignent l'optimum à 30°C (205 larves pondues en 17,9 jours). À partir de 35°C, le développement et la survie de l'insecte s'avèrent impossibles.

Sur le manguier, en conditions naturelles, les travaux de SAHOO et GHOSH (2000) révèlent que la durée des différents stades de développement de l'insecte varie selon les périodes de l'année. Ainsi, cette durée est prolongée pendant les périodes au cours desquelles les températures varient entre 15-21°C. Elle est réduite au-delà de 21°C. Dans les mêmes conditions de température (25 à 30°C), WILLINK et MOORE (1988) et SAHOO et GHOSH (2000) rapportent que la durée de développement des individus femelles est plus longue sur le citronnier que sur le manguier. Les mâles par contre se développent plus vite sur le manguier que sur le citronnier. Selon KEMABONTA et ODEBIYI (2001), *R. invadens* atteint plus vite le stade adulte avec une durée de vie plus prolongée sur le manguier que sur certaines espèces végétales telles que le ficus (*Ficus sp.*), le frangipanier (*Plumaria sp.*) et le citrus (*Citrus sp.*).

V. ÉCOLOGIE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

5.1. 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. Les premières données ont été fournies par LORH (1984) qui a identifié 19 plantes hôtes au Togo. Cet inventaire a été reconduit au Togo et au Bénin par AGOUNKÉ *et al.* (1988). Ces auteurs ont 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. WILLIAMS (1986) a recensé 22 plantes hôtes dans différentes zones agro-écologiques du monde. Au Nigéria, *R. invadens* infeste 20 espèces végétales appartenant à 12 familles (IVBIJARO *et al.*, 1992). Mais l'insecte a été observé seulement sur *Mangifera indica* et *Ficus thoningii* dans la savane Sud-guinéenne du pays (AKINTOLA et ANDE, 2009). BOUSSIENGUET et MOULOUGOU (1993) ont recensé 38 espèces végétales avant l'établissement du parasitoïde *Gyranusoidea tebygi* au Gabon. La gamme des plantes hôtes s'est restreinte à une dizaine d'espèces régulièrement infestées par le ravageur après la régression de ses populations consécutive aux campagnes de lâchers de parasitoïdes. À Dakar (Sénégal), le ravageur a été observé sur 13 espèces végétales (HAN *et al.*, 2007). 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.

5.2. Complexe entomophage et entomopathogène

Les populations de la cochenille farineuse du manguier sont naturellement régulées par des organismes de plusieurs types. Ces organismes regroupent des prédateurs, des parasitoïdes et des agents pathogènes. La plupart des prédateurs et des agents pathogènes cités dans la littérature ont été inventoriés dans les zones où le ravageur a été accidentellement introduit. Les parasitoïdes décrits sont *Anagyrus mangicola* Noyes et *Gyranusoidea tebygi* Noyes (Hymenoptera : Encyrtidae) importés de l'aire d'origine du ravageur (AGOUNKÉ *et al.*, 1988). Parmi les prédateurs, l'ordre des coléoptères regroupe le plus grand nombre d'espèces connues. Certaines d'entre elles ont présenté un potentiel de prédation intéressant qui favorise leur utilisation à grande échelle comme agents de lutte biologique contre le ravageur. Il s'agit de *Cryptolaemus montrouzieri* Muls. (MANI et KRISHNAMOORTHY, 2001), *Exochomus laeviusculus* Weise et *E. foudrasi* Mulsant (HAN *et al.*, 2007). Sur le manguier, MANI et KRISHNAMOORTHY (2001) ont observé au bout de deux mois une réduction de 99,44% des populations de *R. invadens* causée par *C. montrouzieri*. Le répertoire des prédateurs de la cochenille compte actuellement 24 espèces prédatrices réparties dans les ordres des Coléoptères (Coccinellidae, Cleridae et Nitidulidae), des Lépidoptères (Noctuidae, Lycaenidae) et des Neuroptères (Chrysopidae) (AGOUNKÉ *et al.*, 1988 ; PITAN *et al.*, 2000 ; MANI et KRISHNAMOORTHY, 2001 ; HAN *et al.*, 2007).

Les entomopathogènes regroupent les champignons de l'ordre des Hypocreales (Ophiocordycipitaceae) et Entomophthorales (Neozygitaceae). Toutes les espèces découvertes (*Hirsutella cryptosclerotium* sp. nov, *H. sphaerospora* Evans & Samson et *Neozygites fumosa*) ont seulement fait l'objet de tests au laboratoire (FERNÁNDEZ-GARCÍA *et al.*, 1990 ; GARCÍA et MOORE, 1988 ; KELLER, 1997).

5.3. Fluctuation des populations

Les travaux sur la fluctuation des populations de la cochenille farineuse du manguier ont été réalisés de manière successive en fonction de son avancée géographique après l'introduction des parasitoïdes *G. tebygi* et *A. mangicola* à partir des années 1986. Il ressort de ces travaux que l'évolution des populations du ravageur est fortement influencée par les facteurs biotiques (plantes hôtes) et abiotiques du milieu. Au Sud du Bénin où le climat est de type bimodal, la densité des populations du ravageur est faible en saison pluvieuse et très élevée en saison

sèche (BOAVIDA et NEUENSCHWANDER, 1995). Par contre, au Nord de la Côte-d'Ivoire où le climat est monomodal, HALA *et al.*(2011) ont noté sur le manguier une abondance des populations de *R. invadens* pendant les périodes de fortes pluies. Par ailleurs, les densités des populations du ravageur varient d'une variété de manguier à une autre (HALA *et al.*, 2011) ou d'une espèce végétale à une autre (MATOKOT *et al.*, 1992). Dans chacun des deux cas, le niveau des populations des deux parasitoïdes est synchronisé successivement avec celui des populations vivantes du ravageur.

VI. DÉGÂTS ET INCIDENCE SOCIO-ÉCONOMIQUE DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

La cochenille farineuse du manguier est un insecte piqueur suceur de sève. Elle infeste les feuilles, les fleurs et les fruits (Planche VI). Les arbres attaqués présentent des feuilles noires (Photo 3). Ces symptômes sont la résultante du développement d'une moisissure noire (fumagine) dont l'agent responsable est *Capnodium mangiferea* (PITAN *et al.*, 2002). Ce champignon se développe sur le miellat excrété par la cochenille lors de son alimentation. La fumagine perturbe fortement la photosynthèse, arrête la croissance normale, la floraison et la fructification de la plante (NEUENSCHWANDER *et al.*, 1994).

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 (BOKONONGANTA *et al.*, 2002). Selon les mêmes auteurs, 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.

Sous l'effet de l'alimentation de *R. invadens*, les arbres sévèrement attaqués produisent très peu avec des fruits de petite taille. Les fruits attaqués perdent leur valeur commerciale (AGOUNKÉ *et al.*, 1988). De plus, le poids frais des fruits peut baisser d'environ 51% pour ces arbres. La teneur de certains nutriments est également affectée (TOBIH *et al.*, 2002 ; PITAN *et al.*, 2002). Dès l'introduction accidentelle de l'insecte au Ghana, des pertes de production de 80% ont été rapportées dans les vergers infestés (MOORE, 1992). Les valeurs des exportations de mangues et d'avocat au Ghana ont chuté de 150.000\$ US à 22.000\$ US entre 1985 et 1986 à cause des infestations de *R. invadens* (WILLINK et MOORE, 1988). Des pertes de rendement de 50% ont été rapportées en station de recherches à Korhogo-Lataha (Côte-d'Ivoire). Celles-ci atteignent souvent 100% en milieu paysan. Les taux d'infestation

des arbres dans cette région sont de 82 %, 36 % et 11 % respectivement dans les villes, les villages et les vergers des paysans (HALA *et al.*, 2004).

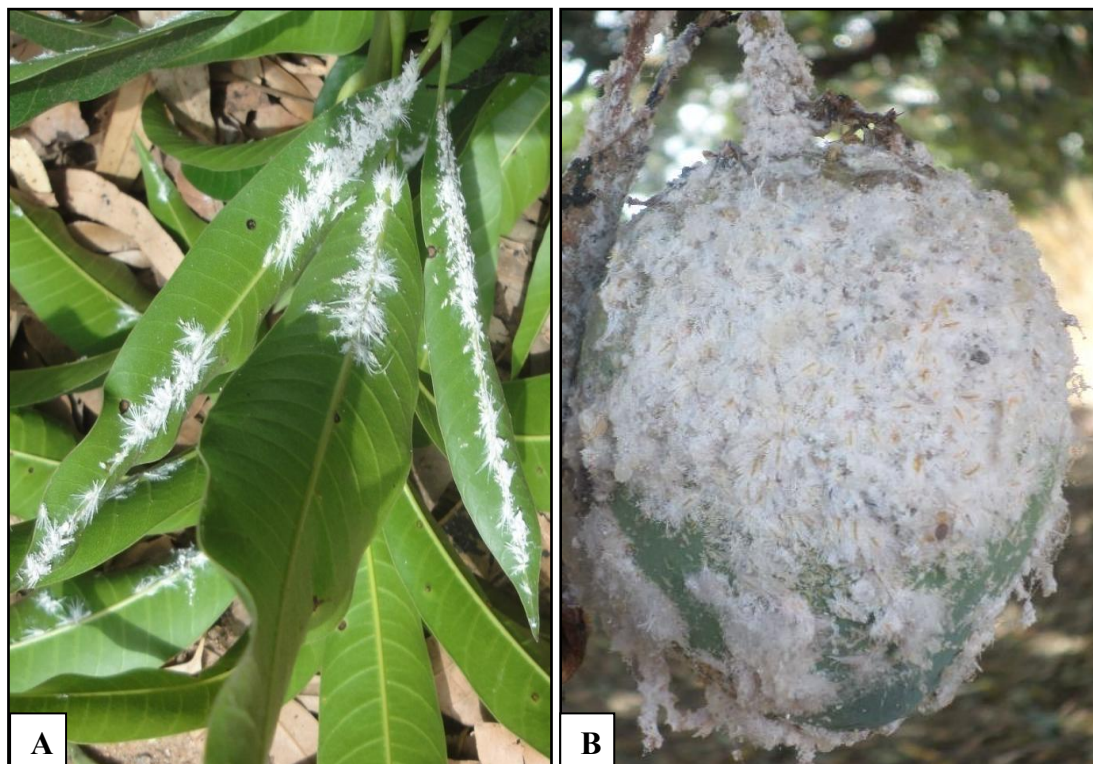


Planche VI : Feuilles de manguier (A) et une mangue (B) infestées par *Rastrococcus invadens* (Photo K. NÉBIÉ)



Photo 3 : Feuilles de manguier couvertes par la fumagine (Photo K. NÉBIÉ)

VII. PRINCIPALES MÉTHODES DE LUTTE CONTRE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

7.1. Lutte chimique

La lutte chimique a été parmi les premières méthodes de lutte utilisées par les producteurs de mangues dès l'introduction accidentelle de *R. invadens* en Afrique. Mais elle demeure une stratégie de lutte partielle ou à court terme. Même s'il existe des insecticides efficaces contre le ravageur, les traitements sont arrêtés après une courte durée en raison du coût élevé des pesticides et des pulvérisateurs adaptés (BOKONON-GANTA *et al.*, 2002). L'inefficacité de la lutte chimique contre les Pseudococcidae s'explique aussi par la nature de l'exosquelette de ces insectes qui constitue une barrière physique aux insecticides de contact. Certaines cochenilles se cachent dans les fentes ou les parties supérieures de la plante ; ce qui leur permet de survivre aux insecticides de contact (MOORE, 1992). A cet égard les insecticides systémiques sont souvent utilisés mais cela enlève le caractère biologique de la production des mangues et expose l'exportation des mangues aux restrictions de la limite maximale des résidus de pesticides. Au Burkina Faso, le Thiametoxiam et le Chlorpyrifos-éthyl sont autorisés pour la lutte contre la cochenille farineuse du manguier. Il est recommandé de dissoudre 400g de Thiametoxiam dans 500 litres d'eau pour traiter 100 pieds de manguiers. La bouillie s'applique autour du collet de l'arbre sur un rayon de 1m. Quant au Chlorpyrifos-éthyl, 1 litre du produit est dilué dans 500 litres d'eau pour traiter également 100 pieds de manguiers infestés. Pour ces deux produits, le traitement est renouvelé 2 fois selon une fréquence de 14 jours (NÉBIÉ, 2011). Certaines études se sont penchées sur l'utilisation des extraits botaniques comme une alternative aux insecticides de synthèse dans la lutte contre *R. invadens*. C'est le cas des travaux de ANDE et OLOWOJOLU (1999) qui ont mis en évidence l'efficacité des extraits aqueux de différentes parties du neem (feuilles, fruits murs et non murs, écorce) contre la cochenille. Cette option de lutte a été essayée par les paysans dans l'Ouest du Burkina Faso (DAKOUO *et al.*, 2011). Même si elle est accessible et moins coûteuse, les doses efficaces ne sont pas connues pour avoir une bonne maîtrise du ravageur.

7.2. Lutte biologique par l'utilisation des parasitoïdes

Deux espèces de parasitoïdes ont été utilisées à grande échelle contre *R. invadens* à partir de 1986. Il s'agit de *Anagyrus mangicola* et *Gyranusoidea tebygi* (Planche VI) importés de l'Inde. Les premiers lâchers ont été réalisés au Togo en 1987 avec *G. tebygi*. Ils ont été ensuite étendus à d'autres pays africains (Tableau II). En 1990, le parasitoïde *A. mangicola* a été lâché

dans certains pays pour renforcer le contrôle de *R. invadens* dans les zones où des foyers d'infestation persistaient (NEUENSCHWANDER *et al.*, 1994). *Gyranusoidea tebygi* et *A. mangicola* se sont rapidement établis et ont entraîné une réduction importante des populations de leur hôte. Ainsi, 50 à 90% de parasitisme ont été développés par *G. tebygi* trois à quatre mois après son introduction accidentelle en République Démocratique du Congo (MATOKOT *et al.*, 1992). Deux ans plus tard après les lâchers de *G. tebygi* au Nigéria le niveau des populations du ravageur a fortement diminué de 11 à 0 cochenilles/feuille et de 98 à 18,2 cochenilles/feuilles entre 1991 et 1998. Le parasitoïde s'est établi dans toutes les zones agro écologiques envahies mais aussi sur les autres plantes hôtes du ravageur (PITAN *et al.*, 2000). L'impact de *G. tebygi* a été évalué au Bénin à travers des méthodes d'exclusion physique (BOAVIDA *et al.*, 1995), des tables de vie et la dynamique des populations (BOAVIDA et NEUENSCHWANDER, 1995). Ces études ont montré des résultats satisfaisants quant au contrôle du ravageur et à l'amélioration de la productivité des manguiers. PITAN *et al.* (2002) ont noté une augmentation progressive de la productivité des manguiers infestés par la cochenille dans le Sud du Nigéria liée à l'introduction du parasitoïde *G. tebygi*. Une étude socio-économique réalisée au Togo par VÖGELE *et al.* (1991) a montré que les lâchers de *G. tebygi* ont eu un succès. La même étude a été conduite au Bénin à travers le suivi de 300 producteurs de mangues (BOKONON-GANTA *et al.*, 2002). Le programme a permis aux producteurs de mangues de gagner chacun en moyenne 328\$ US (164 000 FCFA) par an. Les deux parasitoïdes ont été répertoriés dans d'autres pays de la sous région où des lâchers n'ont pas été réalisés jusqu'à nos jours (NEUENSCHWANDER *et al.*, 1994 ; DAKOUO *et al.*, 2011 ; HALA *et al.*, 2011).

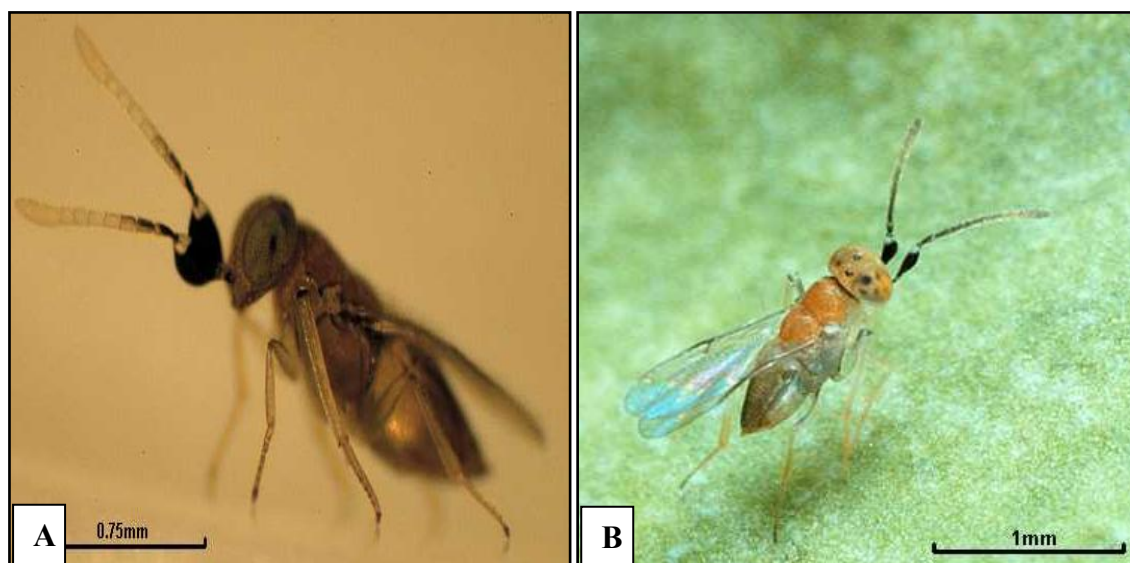


Planche VII : (A) Femelle adulte de *Anagyrus mangicola* (Photo T. CROSS) ; (B) Femelle adulte de *Gyranusoidea tebygi* (Photo G. GOERGEN)

Tableau II : Périodes de lâchers de *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola* dans les pays africains couverts par le programme de lutte biologique initié en 1986 et financé par la FAO et la GTZ

Espèce	Date des premiers lâchers	Pays	Localités
<i>Gyranusoidea tebygi</i>	1987	Togo	-----
	17-03-88	Ghana	Accra
	25-05-88	Bénin	Abomey Calavi
	09-06-89	Zaïre	Kinshasa
	03-08-89	Nigéria	Lagos
	09-01-90	Gabon	Libreville
	11-12-91	Sierra Léone	Lunsar
<i>Anagyrus mangicola</i>	21-06-91	Bénin	Ouaké
	08-10-91	Ghana	Accra
	23-10-91	Gabon	Libreville
	11-12-91	Sierra Léone	Lunsar
	30-05-92 (envoyé pour élevage)	Nigéria	Ibadan, National Horticultural Research Institute (NIHORT)

Source: NEUENSCHWANDER *et al.* (1994)

VIII. UTILISATION DES ENTOMOPATHOGÈNES DANS LA LUTTE CONTRE LES COCHENILLES

8.1. Cas du champignon *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin

Parmi les micro-organismes, les champignons représentent le plus grand groupe d'entomopathogènes avec plus de 700 espèces inféodées aux insectes (WRAIGHT *et al.*, 2007). L'un des champignons le plus utilisé à travers le monde est *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales : Clavicipitaceae) qui possède une large gamme d'hôtes bien que certains isolats soient spécifiques. Parmi les 171 formulations d'entomopathogènes commercialisées, celles à base de *M. anisopliae* représentent 33,9% (RAMANUJAM *et al.*, 2014). Des souches de *M. anisopliae* ont été rapportées efficaces contre les cochenilles dont la plupart appartient à la famille des Pseudococcidae. C'est le cas des cochenilles inféodées au cotonnier (*Phenacoccus solenopsis* (Tinsley), *Maconellicoccus hirsutus* Green), à la vigne (*Planococcus ficus* (Signoret)) et au papayer (*Paracoccus marginatus*) (UJJAN et SHAHZAD, 2007 ; GULSAR BANU *et al.*, 2010 ; KUMAR *et al.*, 2012 ; AMUTHA et GULSAR BANU, 2015 ; UJJAN *et*

al., 2015 ; MOHAMED, 2016). La souche ICIPE 69 est commercialisée en Afrique de l'Ouest pour lutter contre la cochenille farineuse du papayer.

8.2. Mode d'infection des champignons entomopathogènes

Le mode d'infection des champignons entomopathogènes se divise en quatre étapes distinctes (Figure 2): l'adhésion, la germination, la pénétration et la dissémination (BENSERRADJ, 2014).

La phase d'adhésion est la première étape du processus d'infection. Elle est déclenchée par un mécanisme de reconnaissance et de compatibilité des spores avec le tégument de l'insecte. Une fois en contact avec la cuticule, la spore produit activement un mucilage hygroscopique qui permet la modification de l'épicuticule de l'insecte facilitant la germination des spores (BOUCIAS *et al.*, 1988).

La seconde phase d'infection est la germination. Celle-ci dépend de l'état physiologique de l'hôte et aussi des conditions environnementales, notamment la température et l'humidité (BUTT et BECKET, 1994 ; BUTT *et al.*, 1994). La germination aboutit à la production d'appressoria, structures terminales servant à l'ancrage de la cuticule et favorisant la pénétration. La production d'appressoria est fortement influencée par la valeur nutritive de la cuticule.

La pénétration de *Metarhizium anisopliae* dans l'hôte est réalisée par pression mécanique et hydrolyse enzymatique (GOETTEL *et al.*, 1989). En présence d'un niveau élevé d'azote et de carbone, le tube germinatif continue de s'allonger et forme un hyphe (St LEGER *et al.*, 1992). Cet hyphe sécrète des enzymes extracellulaires telles que les protéases, les lipases et les chitinases, qui attaquent et dissolvent la cuticule, permettant aux spores de pénétrer à travers la cuticule et de se développer dans le corps de l'insecte (HAJEK et St LEGER, 1994). Une fois que le champignon a franchi avec succès la cuticule et a percé l'épiderme adjacent de la cuticule, il entre dans le système circulatoire ouvert de l'insecte, l'hémocoèle. Le champignon se multiplie par la suite à l'intérieur de tous les organes de l'insecte-hôte et il s'accroît sous forme de blastospores. À ce stade, *M. anisopliae* produit des composés toxiques non enzymatiques tels que les Destruxines (DTX) et les cytochalasmes qui lui permettent de surmonter les mécanismes de défense de l'hôte et de proliférer (INGLIS *et al.*, 2001). Sous les conditions optimales la mort de l'insecte survient normalement entre 3 à 5 jours à partir du moment de l'infection.

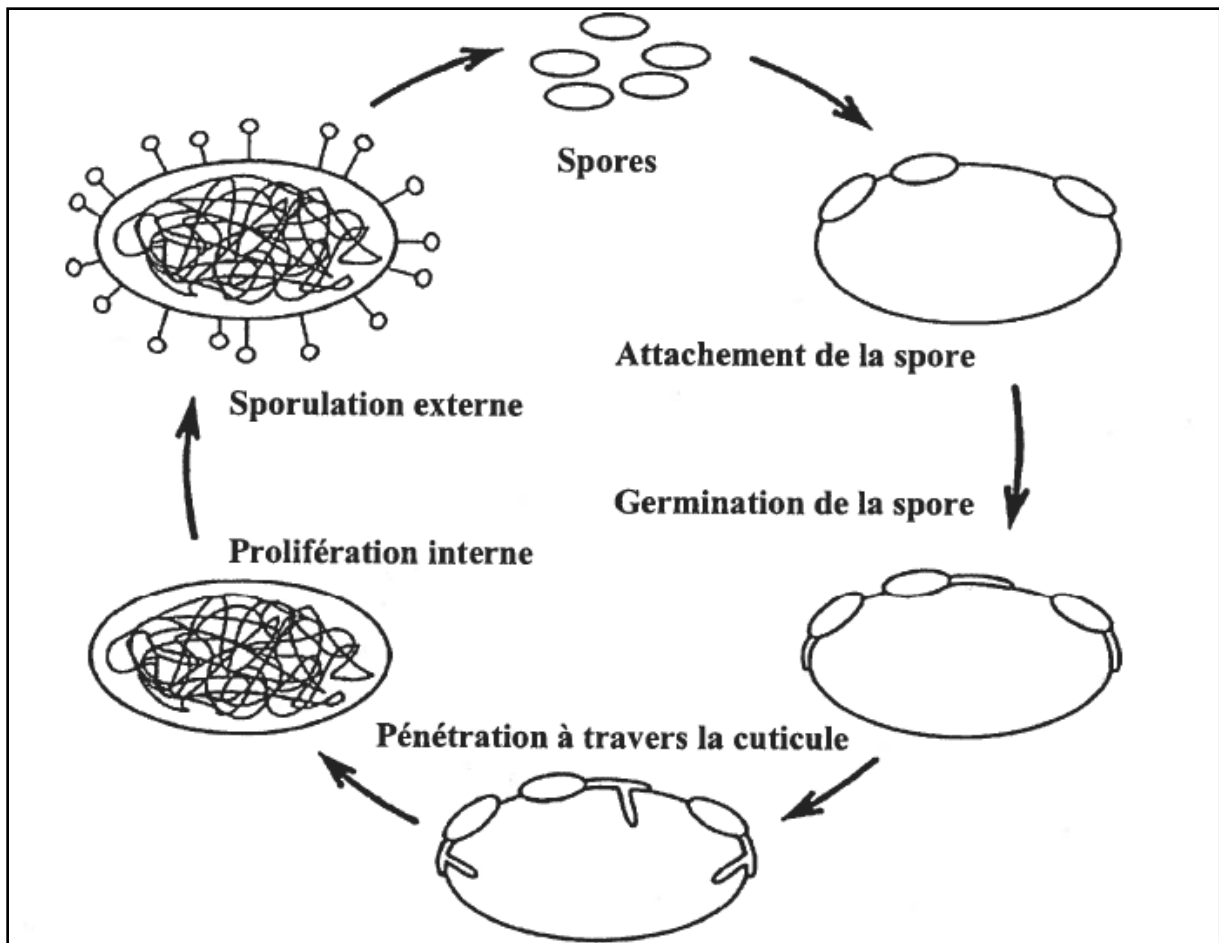


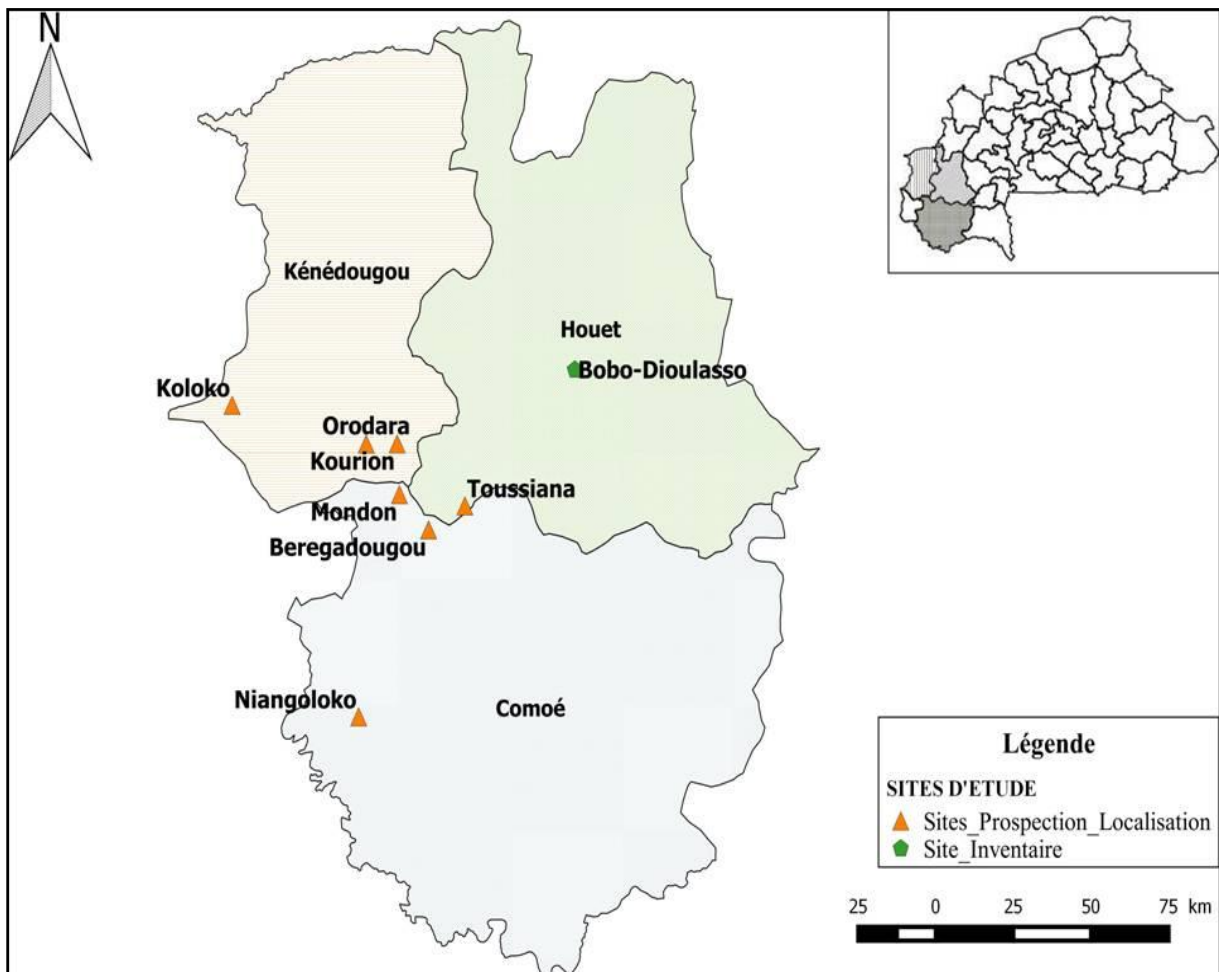
Figure 2 : Schéma du cycle biologique des champignons entomopathogènes (FERRON *et al.*, 1993)

2^{ÈME} PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

CHAPITRE I : SITES D'ÉTUDE

I. SITES D'INVENTAIRE DES COCHENILLES DU MANGUIER

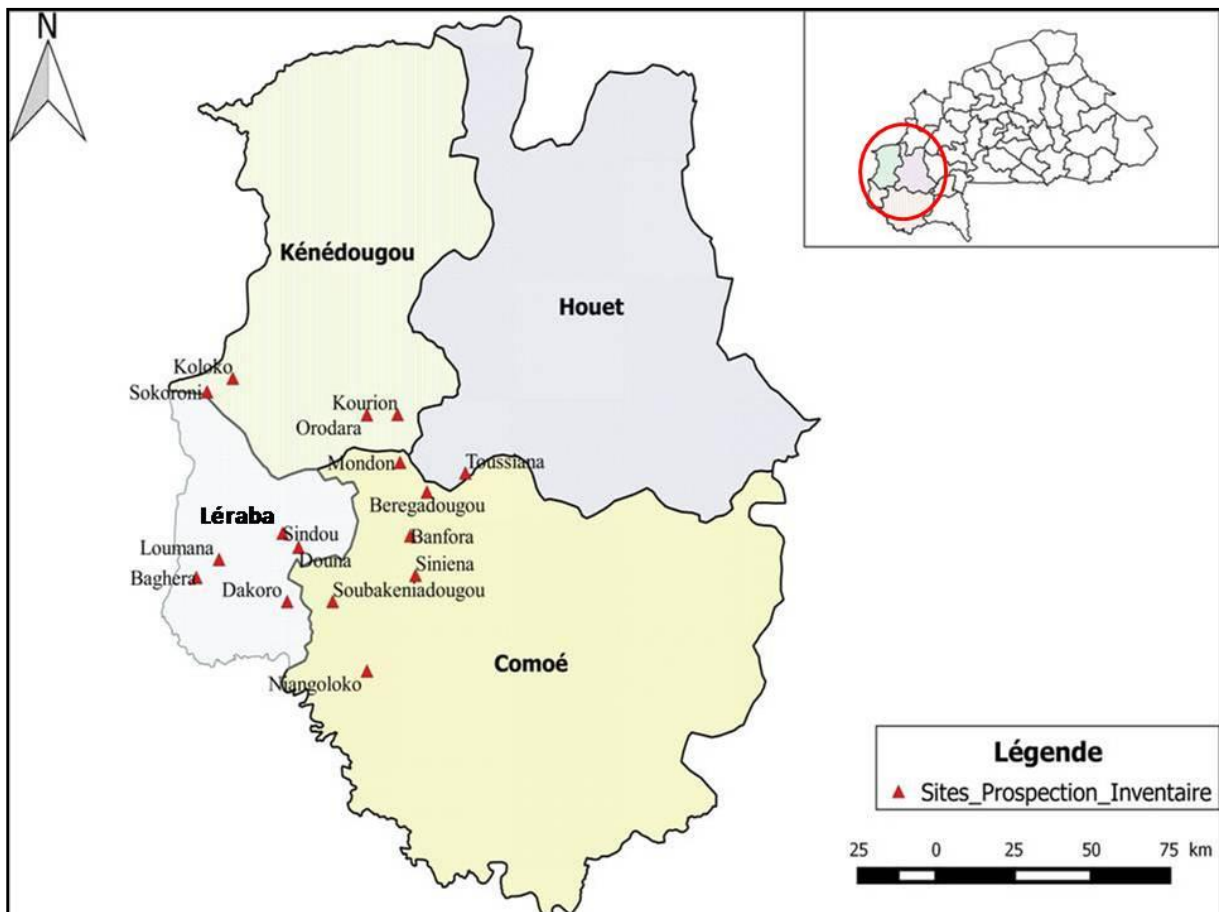
L'inventaire des cochenilles du manguier a été effectué à Bobo-Dioulasso, chef-lieu de la province du Houet. Sept autres localités ont été prospectées dans les provinces de la Comoé et du Kéné Dougou afin d'établir leur distribution géographique (Carte 3). Parmi ces localités, 5 sont d'anciens foyers d'infestation mis en évidence par DAKOUO *et al.* (2011). Il s'agit de Bérégadougou, Koloko, Mondon, Niangoloko et Toussiana.



Carte 3 : Sites d'inventaire et de prospection sur la distribution géographique des cochenilles du manguier

II. SITES D'INVENTAIRE DES PLANTES HÔTES DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

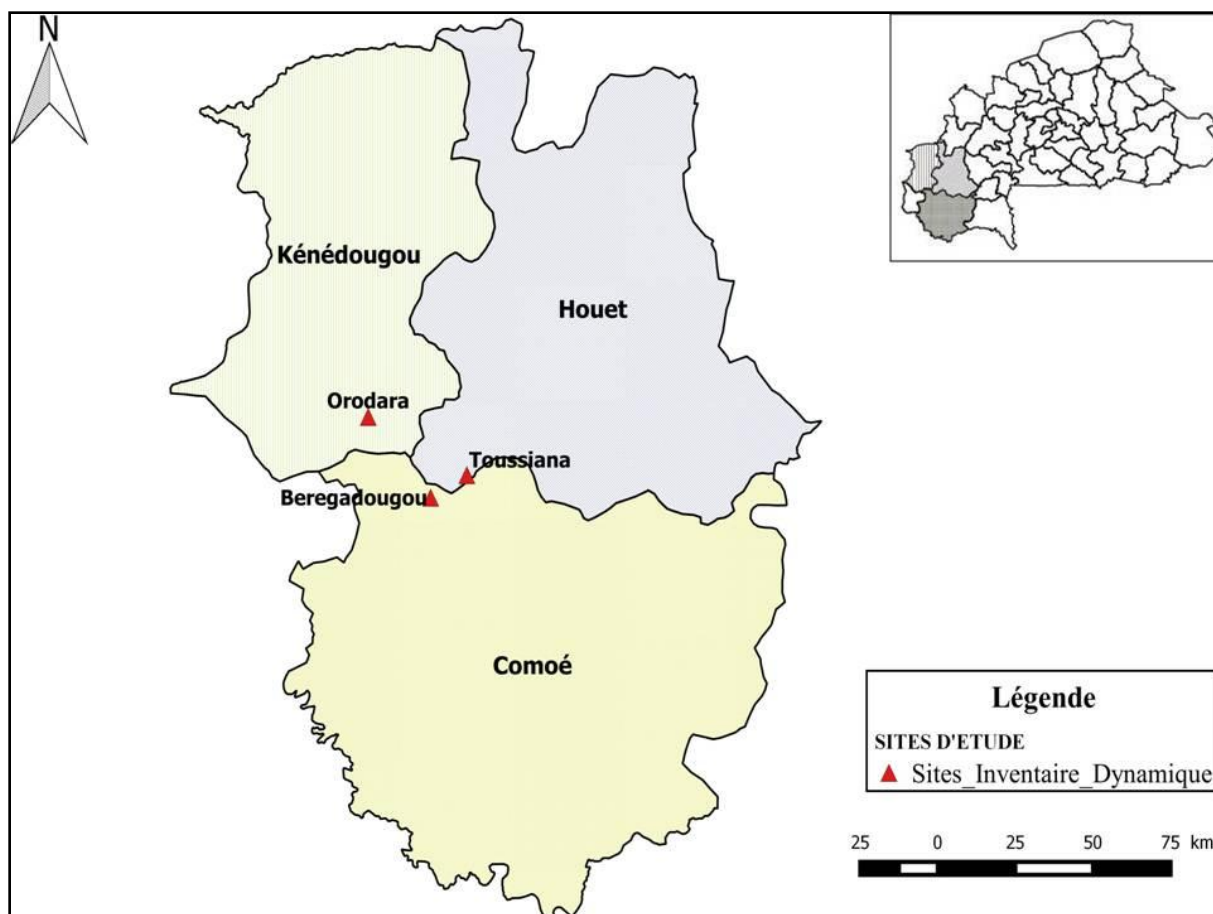
Les plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier ont été inventoriées dans 20 vergers de manguiers répartis dans 16 villages situés dans les provinces de la Comoé, du Houet, du Kéné Dougou et de la Léraba (Carte 4). Parmi ces vergers, deux sont situés en dehors des agglomérations villageoises et 18 sont au voisinage immédiat des zones d'habitation.



Carte 4 : Sites d'inventaire des plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier

III. SITES D'INVENTAIRE DES PARASITOÏDES ET DU SUIVI DE L'ÉVOLUTION DES POPULATIONS DES COCHENILLES

Les parasitoïdes de la cochenille farineuse du manguier ont été inventoriés dans trois vergers de manguiers retenus à Bérégadougou, Orodara et Toussiana. La dynamique des populations des cochenilles a été suivie dans les mêmes vergers. Bérégadougou, Orodara et Toussiana sont situées respectivement dans les provinces de la Comoé, du Kéné Dougou et du Houet (Carte 5). L'annexe 1 montre également une image satellitaire des trois vergers retenus.



Carte 5 : Sites d’inventaire des parasitoïdes et du suivi de l’évolution de la population des cochenilles du manguier

IV. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DES SITES D’ÉTUDE

Les sites retenus pour nos travaux appartiennent au climat tropical de type soudanien (LEREBOURS et MÉNAGER, 2005). C’est un climat qui se caractérise par l’alternance de deux saisons, l’une sèche et l’autre humide. La saison humide dure 5 à 6 mois avec un cumul pluviométrique annuel dépassant 900 mm. Les températures moyennes mensuelles dépassent rarement 35° C. Pour le cas spécifique des sites de Bérégadougou, Orodara et Toussiana, les relevés pluviométriques ont permis d’enregistrer respectivement une pluviométrie annuelle de 1020 mm ; 1042,78 mm et 1246,2 mm au cours de l’année 2014. Pour l’année suivante 2015, il a été enregistré 935,4 mm à Bérégadougou, 1181,1 mm à Orodara et 1193,65 mm à Toussiana. Tous ces sites ont présenté des profils similaires de périodes de pluies (Figures 3, 4 et 5). Les relevés de température et de l’hygrométrie effectués sur le site de Bérégadougou indiquent une hygrométrie moyenne mensuelle élevée (70-86%) de mai à octobre et faible (19 à 39%) de décembre à avril (Figure 6). Quant à la température moyenne, elle était basse de juin à janvier (26 à 28°C) et élevée de février à mai (29 à 32°C).

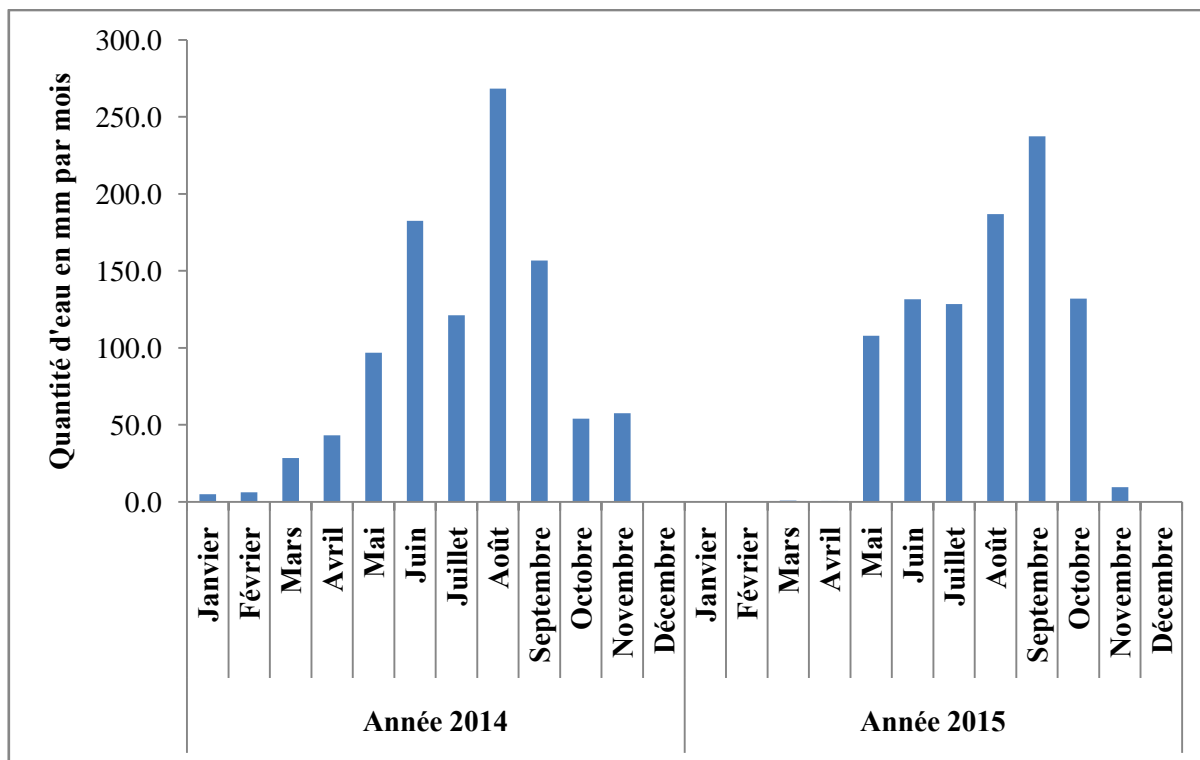


Figure 3 : Cumuls pluviométriques mensuels enregistrés sur le site de Bérégaougou de janvier 2014 à décembre 2015

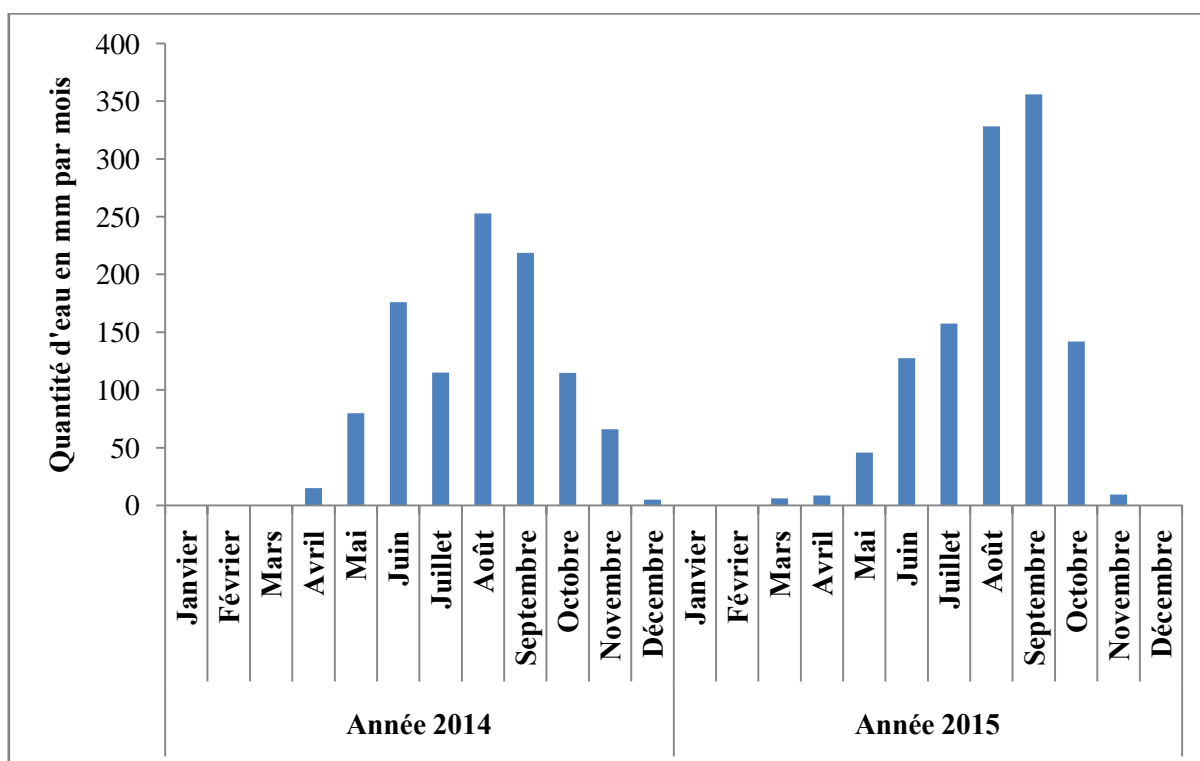


Figure 4 : Cumuls pluviométriques mensuels enregistrés sur le site d'Orodara de janvier 2014 à décembre 2015

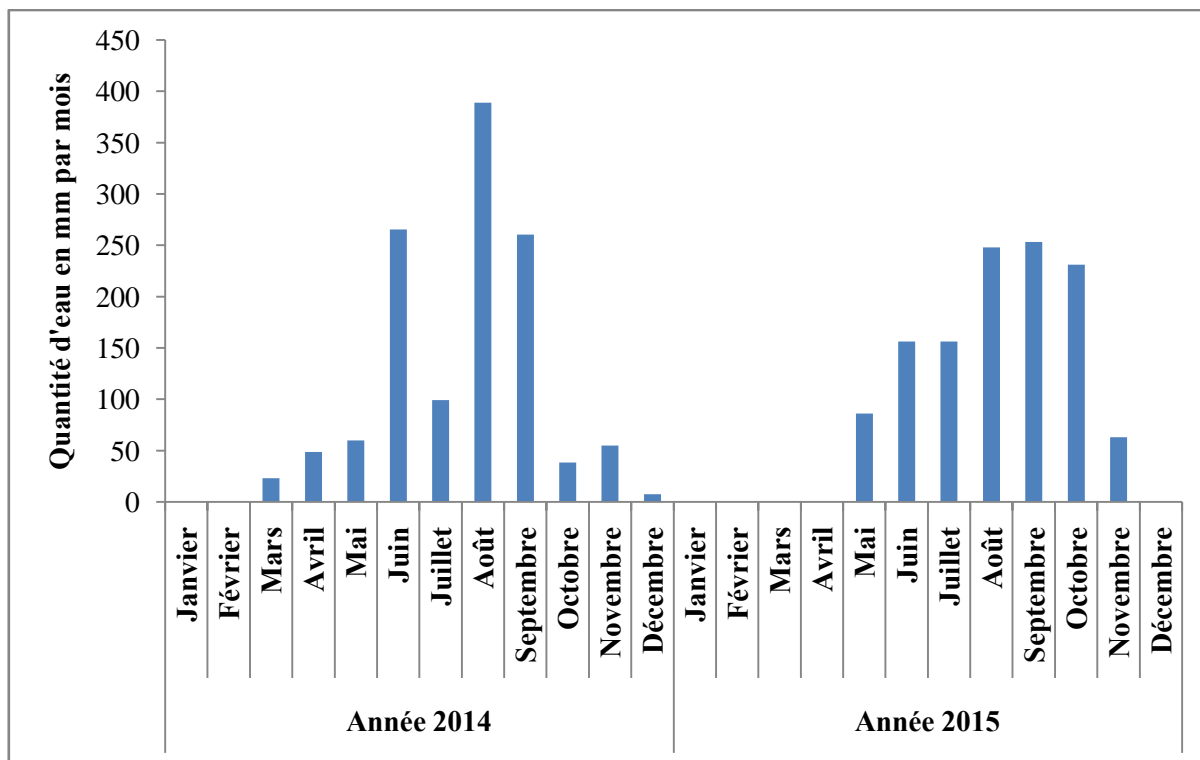


Figure 5 : Cumuls pluviométriques mensuels enregistrés sur le site de Toussiana de janvier 2014 à décembre 2015

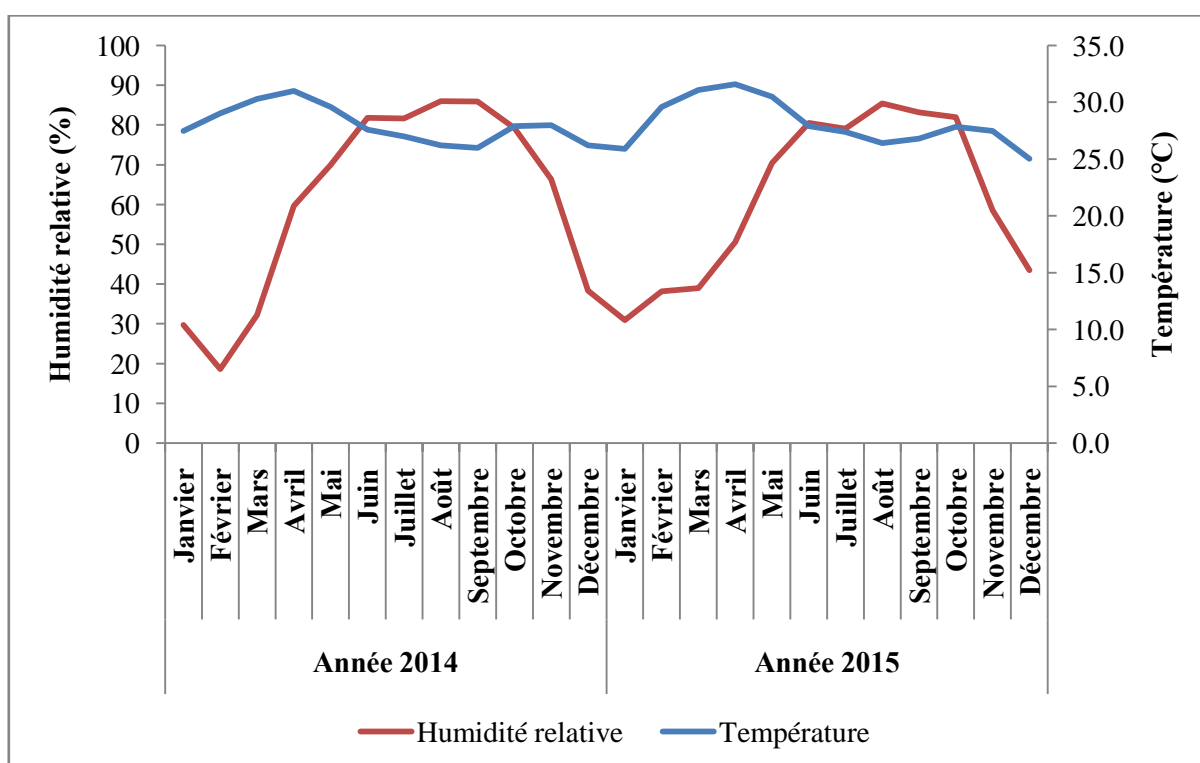


Figure 6 : Évolution de la température et de l'hygrométrie moyennes mensuelles enregistrées sur les sites de Bérégaougou, Orodara et Toussiana de janvier 2014 à décembre 2015

CHAPITRE II : MATERIEL

I. MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal était composé du manguier et d'autres plantes hôtes alternatives de la cochenille farineuse du manguier. Quatre variétés de manguiers ont été retenues. Il s'agit des variétés Amélie, Kent, Lippens et Mangot vert. Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau III. En outre, le figuier *Ficus polita* Vahl a été utilisé pour élever les cochenilles au laboratoire.

Tableau III : Caractéristiques des variétés de manguiers utilisées au cours de l'étude

Variétés	Feuilles	Fruits	Phénologie
Amélie	Petites feuilles vert clair, plates, à bords réguliers Fronaison dense en boule	Fruits arrondis à peau vert jaunâtre	Variété précoce
Kent	Port dressé	Fruits arrondis avec une peau épaisse et résistante rouge violacée	Variété tardive
Lippens	Port étalé parfois érigé	Fruits légèrement allongés avec une peau vert jaunâtre ou violacée	Variété de saison
Mangot Vert	Feuillage vert foncé, feuilles longues à bord ondulées	Fruits très petits allongés ou arrondis	Variété précoce

Source : REY *et al.* (2004) ; GUIRA et ZONGO (2006)

II. MATERIEL ANIMAL

Le matériel animal était composé des différentes espèces de cochenilles inventoriées sur le manguier. Les prédateurs et les parasitoïdes de ces cochenilles étaient également concernés.

III. MATERIEL DE COLLECTE DES DONNEES CLIMATIQUES

3.1. Thermohygrographe

Le thermohygrographe est un dispositif composé d'un Thermographe (Précis-Mécanique, 95870 Bezons-France) et d'un Hygrographe (Jules Richards et Pékly). Ces deux appareils ont été placés dans un abri en bois (Planche VIII A) installé dans un endroit dégagé. Ils enregistrent respectivement des températures comprises entre -15 et 60°C et des hygrométries allant de 0 à 100% avec une précision de 1%. Installé sur la station météorologique de Bérégaougou, les données de ce dispositif ont couvert tous les sites situés sur un rayon de 50 km.

3.2. Pluviomètres

La mesure de la pluviométrie a été effectuée avec 3 pluviomètres à lecture directe (1 pluviomètre/site) de Modèle S.P.I.E.A-Breveté S.G.D.G N°1 269 277 (Planche VIII B). Ces pluviomètres sont constitués de deux parties s'emboîtant l'une dans l'autre et d'une éprouvette qui permettent la collecte et la mesure des hauteurs de pluie. Une approximation de ¼ de millimètre est respectée pour les pluies de 0 à 10 mm et ½ millimètre pour les pluies comprises entre 1 et 10 cm à cause du changement de graduation selon la hauteur du seau du pluviomètre.

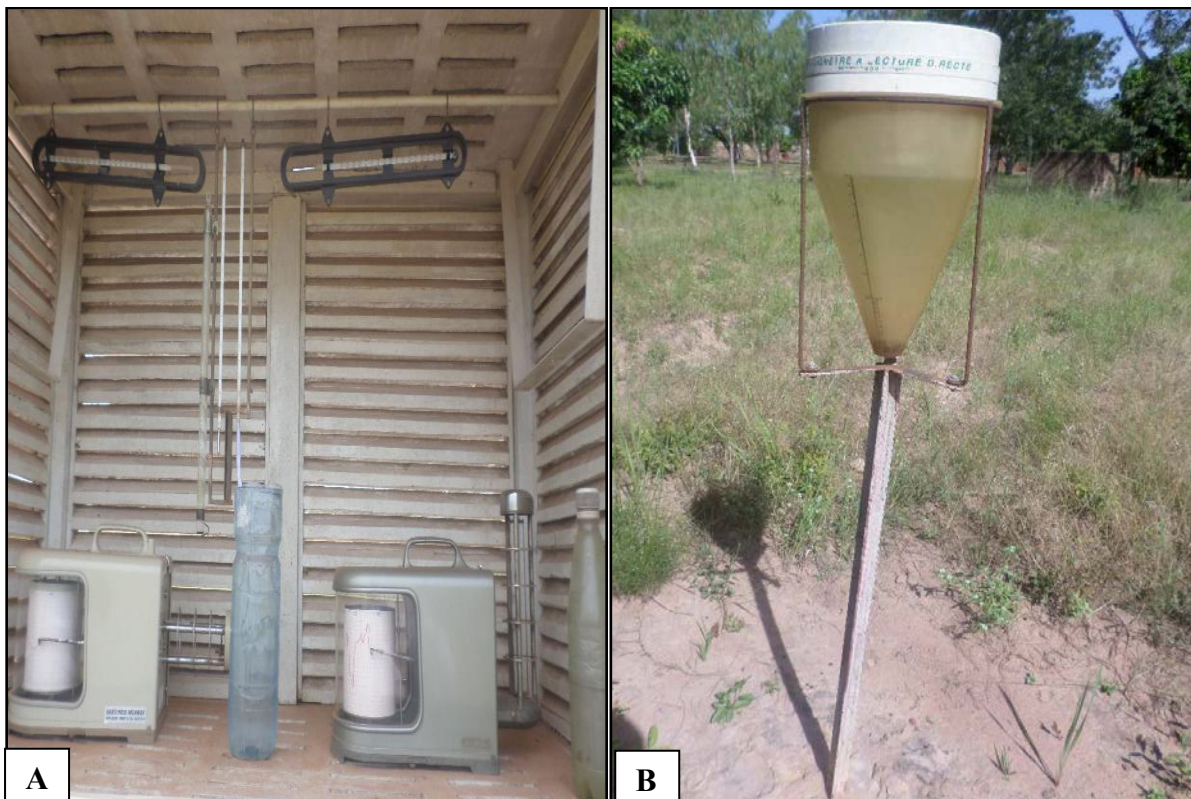


Planche VIII : Thermo-hygrographe (A) et Pluviomètre à lecture directe (B) (Photo K. NÉBIÉ)

IV. PRODUITS DE TRAITEMENT

Les produits de traitement étaient constitués d'un produit de référence Pyrical[®] 480EC et d'un produit test Campaign[®]. Pyrical[®] 480EC est un insecticide de la famille des organophosphorés. C'est un concentré émulsionnable commercialisé dans des bidons de 0,5 litre ou 1 litre (Planche IX A). Sa matière active, le Chlorpyriphos-éthyl (480g/l) a pour formule chimique $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$. Cette molécule agit par contact, ingestion et inhalation. Elle possède un effet neurotoxique et manifeste une longue persistance d'action. Le Chlorpyriphos-éthyl (480g/l) est modérément dangereux (Classe II) selon la classification de l'OMS (CSP, 2013).

Campaign[®] est un biopesticide formulé à base de la souche 69 de *Metarhizium anisopliae*. Il est conditionné à l'état commercial dans des bidons de 1l ou des sachets de 20 ml (Planche IX B). *M. anisopliae* est un champignon de la classe des Sordariomycetes, de l'ordre des Hypocreales et de la famille des Clavicipitaceae. Cet entomopathogène agit en pénétrant dans la cuticule de l'insecte pour envahir l'hémolymphe. Il est naturellement présent dans les sols à travers le monde. Aucun effet toxique n'a été enregistré par l'OMS (BPDB, <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/bpdb/Reports/1980.htm>).



Planche IX : Bidon de 1l contenant l'insecticide de synthèse Pyrical[®] 480EC (A) ; Sachet de 20ml contenant le biopesticide Campaign[®] (B) (Photo K. NÉBIÉ)

V. MATÉRIELS DIVERS

Pour la réalisation de la présente étude, divers matériels ont été utilisés aussi bien sur le terrain qu'au laboratoire (Planche X). Il s'agit :

- de l'alcool et des flacons en plastique pour la collecte et la conservation des insectes ;
- des loupes à main pour la reconnaissance et le comptage des cochenilles ;
- des loupes binoculaires pour l'identification des insectes ;
- d'un GPS pour relever les coordonnées géographiques des sites d'étude ;
- des enveloppes en papier "Kraft" de format A4 pour l'incubation des feuilles de manguiers hébergeant les cochenilles parasitées ;

- des aiguilles, des pinceaux et des boîtes de Pétri pour le dépouillement des feuilles incubées ;
- des manuels d'identification des cochenilles (WILLIAMS, 1989 ; WILLIAMS et GRANARA DE WILLINK, 1992 ; UESATO *et al.*, 2011 ; de leurs plantes hôtes (ARBONNIER, 2000 et BÄRTELS, 1994) et de leurs ennemis naturels (ANNECKE et INSLEY, 1972 ; GOERGEN et NEUENSCHWANDER, 1994 ; NOYES et HAYAT, 1994) ;
- des seaux en plastique (Ludu[®]) de dimensions 180LX140Ø pour la production des plants de *Ficus polyta* ;
- des cages d'élevage pour élever la cochenille farineuse du manguier ;
- un pulvérisateur manuel ("lave-vitre") pour l'application des produits ;
- des fiches de collecte de données (Annexe 2).

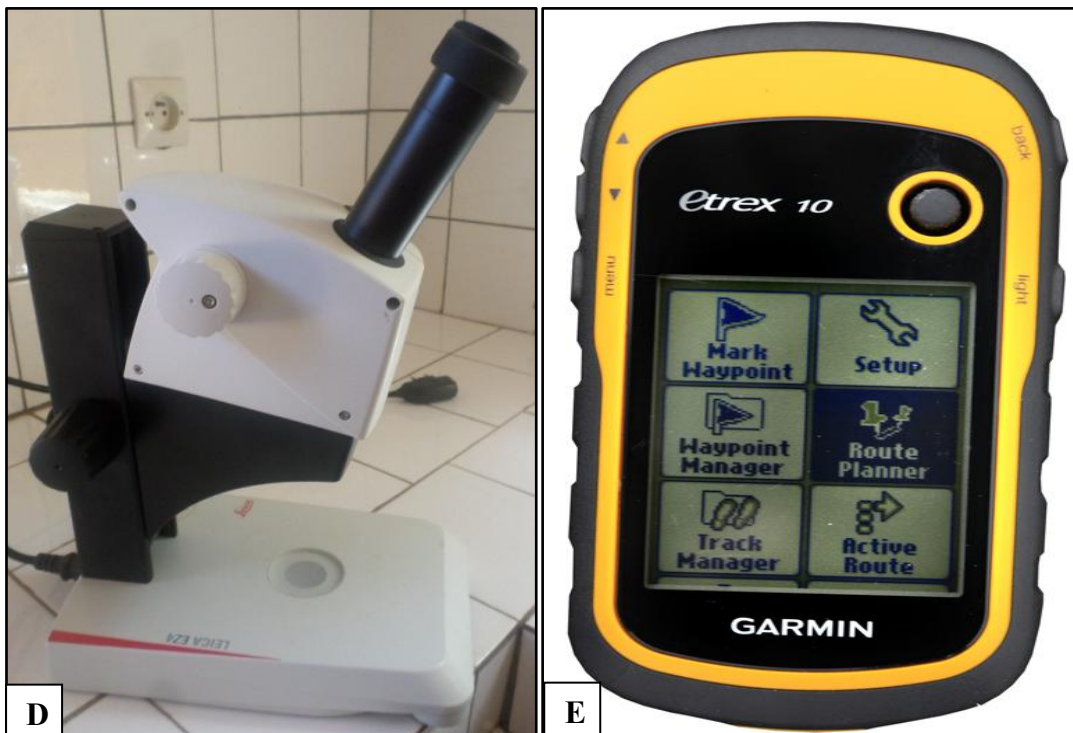
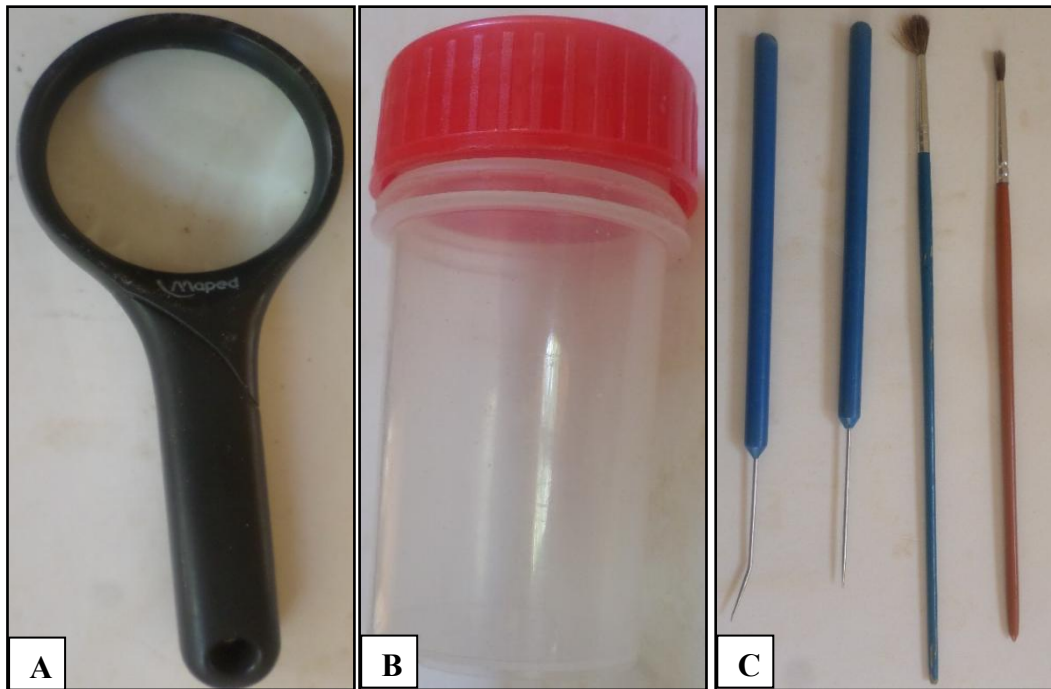


Planche X : Matériels divers utilisés au cours de l'étude (Photo K. NÉBIÉ)

- A : Loupe à main pour la reconnaissance et le comptage des cochenilles
- B : Flacon en plastique pour l'incubation des cochenilles parasitées (momies pleines)
- C : Pinceaux et aiguilles pour la récolte des cochenilles parasitées sur les feuilles
- D : Loupe binoculaire pour l'identification des insectes
- E : GPS pour relever les coordonnées géographiques des sites d'étude

CHAPITRE III: MÉTHODOLOGIE

I. CHOIX DES SITES D'ETUDE

Les sites d'étude ont été choisis en avril 2014 au cours des sorties de prospections conduites dans les foyers d'infestation de la cochenille farineuse du manguiers. Ces foyers ont été identifiés à partir de la carte de distribution établie par DAKOUO et *al.* (2011) ou sur la base des informations fournies par les Directions Provinciales de l'Agriculture. La prospection a consisté à la visite dans les foyers retenus, de vergers de manguiers infestés par la cochenille et à la sélection des vergers qui répondent aux critères suivants:

- L'âge productif des manguiers infestés et l'accessibilité du site en toute saison,
- L'engagement des propriétaires de manguiers à ne pas effectuer des tailles ou des traitements chimiques sur les manguiers ou à proximité immédiate de ceux-ci pendant la période de l'étude.

II. COLLECTE DES DONNEES CLIMATIQUES

Les données climatiques ont été collectées afin d'évaluer leur influence sur les fluctuations des populations des cochenilles et leurs dégâts sur le manguiers. Elles ont porté sur la température, l'hygrométrie et la pluviométrie. La température et l'hygrométrie ont été enregistrées sur le site de Bérégadougou à l'aide d'un thermohygrographe enregistreur à tambour. La lecture des enregistrements a été faite quotidiennement à 6h, 12 h et 18h pour relever les valeurs minimales et maximales de la température et de l'humidité relative.

Les mesures de la pluviométrie ont été effectuées à l'aide des pluviomètres à lecture directe installés sur les sites de Bérégadougou, Orodara et Toussiana. La lecture des pluviomètres a été faite quotidiennement à 8h et à 18 h pour noter la quantité d'eau tombée. Les pluviomètres ont été vidés et replacés sur leur support après chaque lecture.

III. INVENTAIRE DES ESPÈCES DE COCHENILLES INFÉODÉES AU MANGUIER

3.1. Collecte des cochenilles

La collecte des cochenilles a été réalisée de janvier à mars 2014 à l'occasion de sorties de prospections conduites dans la ville de Bobo-Dioulasso pour répertorier les foyers d'infestations de la cochenille farineuse du manguiers *R. invadens*. Au cours de ces prospections, d'autres espèces de cochenilles inconnues ont été rencontrées sur des manguiers. Elles ont donc fait l'objet de collectes pour identification. La collecte a consisté d'abord à prélever de façon aléatoire les différents organes (feuilles, inflorescences et fruits) des

manguiers attaqués. Les cochenilles ont été ensuite collectées et conservées dans des flacons contenant de l'alcool 70° pour observation au laboratoire. À cet effet, un tri préliminaire a été réalisé sous des loupes binoculaires afin de regrouper les insectes identiques selon la forme, la taille et la couleur des différentes parties de leur corps. Au total, 9 paires de lots (18 lots) de 15 à 50 insectes chacun ont été préparés et conservés dans de l'alcool à 70° pour identification. Chaque lot d'insectes a porté les informations suivantes : le numéro de l'échantillon, la date de collecte, le nom du collecteur, le lieu de collecte, la plante hôte, l'organe de la plante hôte et enfin le nombre d'insectes.

3.2. Identification des cochenilles

L'identification des cochenilles a été effectuée au laboratoire de « Biodiversity Resource Center » basé à l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA) de Cotonou (Bénin). Sur l'ensemble des 18 lots préparés, 9 ont fait l'objet d'identification ; les 9 autres ayant constitué des lots de référence conservés au niveau du laboratoire d'entomologie de l'INERA à Farako-bâ. Pour l'identification proprement dite, les insectes ont été montés individuellement sur des lames et comparés à des spécimens de référence disponibles au niveau du Centre. Des clés d'identification de WILLIAMS (1989), WILLIAMS et GRANARA DE WILLINK (1992) et UESATO *et al.* (2011) ont été également utilisées.

3.3. Localisation des foyers d'infestation des cochenilles identifiées

Pour établir la zone de distribution des cochenilles identifiées et leur relation avec *R. invadens*, sept foyers d'infestations ont été prospectés en avril 2014 dans les provinces de la Comoé, du Houet et du KénéDougou. Durant cette phase, 70 pieds de manguiers infestés par *R. invadens* ont été soumis à des observations directes pour détecter la présence des cochenilles nouvellement identifiées. Ces arbres étaient confinés dans les agglomérations ou aux abords des routes. Il a été procédé à un échantillonnage aléatoire de 30 feuilles sur chaque arbre afin de collecter les différentes espèces de cochenilles présentes. Les informations suivantes ont été également recueillies sur les organes attaqués: (i) la présence ou l'absence de l'espèce sur la feuille, l'inflorescence et le fruit ; (ii) la position de l'espèce sur la feuille, l'inflorescence et le fruit. Les espèces de cochenilles collectées ont été conservées séparément dans des flacons contenant de l'alcool 70° et emmenées au laboratoire. Des observations ont été faites sous loupe binoculaire afin de les identifier au moyen des spécimens de référence.

IV. INVENTAIRE DES PARASITOÏDES ET HYPERPARASITOÏDES ASSOCIÉS A LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

4.1. Collecte et incubation des cochenilles parasitées

La collecte des cochenilles parasitées a été réalisée entre mai 2014 et mai 2015 sur les sites de Bérégadougou, Orodara et Toussiana. Au cours de cette période, des échantillons de feuilles ont été collectés sur 18 manguiers infestés par la cochenille farineuse du manguiers selon une fréquence de 1 mois. À chaque fréquence d'échantillonnage, 60 feuilles infestées (30 jeunes feuilles et 30 feuilles âgées) ont été prélevées sur chaque arbre suivant les 4 points cardinaux en raison de 15 feuilles/point cardinal. Les cochenilles parasitées (momies pleines) ont été ensuite collectées et incubées dans des flacons. Les feuilles ont été également incubées dans des enveloppes en papier Kraft de format A4 pour permettre le développement des larves prédatrices observées au cours de l'échantillonnage. Sur chaque flacon et enveloppe ont été inscrites les informations suivantes : la localité, la date de collecte et le numéro de l'arbre.

4.2. Identification des insectes émergés

Au bout de 4 semaines d'incubation, les insectes émergés aussi bien dans les flacons que dans les enveloppes ont été collectés et conservés dans des flacons contenant de l'alcool 70°. Un tri préliminaire a été effectué pour regrouper les insectes identiques selon la forme, la taille et la couleur des différentes parties du corps. Au total, 15 paires soit 30 lots de 10 à 60 insectes chacun ont été constitués. Quinze lots ont été envoyés à l'IITA pour identification ; les 15 autres ayant servi de lots de référence conservés au laboratoire d'entomologie de l'INERA à Farako-bâ. Les parasitoïdes ont été montés individuellement sur des lames et comparés à des spécimens de référence disponibles au niveau du Centre. Des clés d'identification ont été également utilisées pour identifier aussi bien les parasitoïdes que les prédateurs. Celles-ci étaient de ANNECKE et INSLEY (1972), GOERGEN et NEUENSCHWANDER (1994) et de NOYES et HAYAT (1994).

V. INVENTAIRE DES PLANTES HÔTES DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

5.1. Prospection dans les vergers

La prospection des vergers a été réalisée durant la saison sèche (avril 2014) et la saison pluvieuse (août à octobre 2014) dans les foyers d'infestation de la cochenille farineuse du manguiers. Vingt vergers ont été prospectés en saison sèche, soit 18 à proximité des agglomérations et 2 en plein champ. Compte tenu de la diversité des plantes incluant les herbacées et les cultures vivrières en saison pluvieuse, 6 vergers parmi les 20 ont été revisités.

Plusieurs spéculations vivrières étaient emblavées dans certains vergers. Il s'agit du niébé, de la tomate, de l'arachide, du gombo et du maïs. Chaque verger a été prospecté sur un rayon de 200m pour recenser les plantes infestées par *R. invadens*. Des observations directes ont été effectuées sur les feuilles, les inflorescences et les fruits des plantes suivant la diagonale du verger. Le tableau IV renseigne sur le nombre et la période de prospection des vergers dans les différents sites.

Tableau IV : Nombre de vergers prospectés par localité, type de vergers et période d'inventaire des plantes hôtes de *Rastrococcus invadens* à l'ouest du Burkina Faso

Sites		Nombre de vergers	Type de vergers (période de prospection)
Provinces	Localités		
Houet	Toussiana	1	VA (SS ; SP)
	Banfora	2	VA (SS)
	Bérégadougou	2	VA (SS ; SP)
Comoé	Mondon	1	VA (SS)
	Niangoloko	2	VA (SS) ; VC (SS)
	Siniéna	1	VA (SS)
KénéDougou	Koloko	1	VA (SS)
	Kourion	1	VC (SS ; SP)
	Orodara	2	VA (SS ; SP)
	Sokoroni	1	VA (SS)
	Dakoro	1	
Léraba	Douna	1	
	Loumana	1	
	Sindou	1	VA (SS)
	Baghéra	1	
	Soubakeniadougou	1	
Total		20	

VA : Verger en Agglomération ; VC : Verger au Champ ; SS : Saison Sèche ; SP : Saison Pluvieuse

5.2. Identification et évaluation du niveau d'infestation des plantes

Toutes les plantes infestées ont été identifiées in situ et avec l'aide des spécialistes. À cet effet, deux manuels d'identification ont été utilisés à savoir ceux de ARBONNIER (2000) et de BÄRTELS (1994). Le niveau d'infestation a été évalué en comptant le nombre de cochenilles vivantes (tous stades confondus) sur 20 feuilles prélevées au hasard sur les arbres, les arbustes et les arbrisseaux. Quant aux grandes herbes et adventices, l'évaluation a été réalisée respectivement sur 2 feuilles et 5 pieds. Le nombre moyen de cochenilles a été calculé afin de déterminer le niveau d'infestation selon l'échelle mise au point par AKINTOLA et ANDE (2009). Les notes de l'échelle sont :

- Infestation faible : ≤ 5 cochenilles/feuille ;
- Infestation moyenne : ≥ 10 cochenilles/feuille ;
- Infestation forte : > 25 cochenilles/feuille.

VI. SUIVI DE L'ÉVOLUTION DES POPULATIONS DES COCHENILLES ET DE LEURS PARASITOÏDES SUR LE MANGUIER

Les populations de cochenilles et celles des parasitoïdes qui leur sont associés ont été suivies de mai 2014 à août 2015 selon une fréquence de 15 ± 1 jours. Durant cette période, la densité des cochenilles vivantes, parasitées ou mortes a été évaluée sur 18 pieds de manguiers retenus sur les sites de Bérégadougou, Orodara et Toussiana. À chaque date d'observation, l'évaluation a été réalisée in situ et a concerné 360 feuilles soit 20 feuilles prélevées sur chaque arbre suivant les 4 points cardinaux (5 feuilles/point cardinal) de sa frondaison. Toutes les feuilles ont été minutieusement examinées sous des loupes à main pour noter les valeurs correspondantes aux paramètres susmentionnés. Le taux de couverture des feuilles par la fumagine a été également évalué selon l'échelle utilisée par PITAN *et al.* (2002) (Tableau V, Photo 4). À l'issue de ces observations, les cochenilles parasitées ont été collectées et mises dans des flacons en plastique. Les feuilles quant à elles ont été incubées dans des enveloppes en papier "Kraft" de format A4 (une enveloppe par arbre) pour permettre aux cochenilles nouvellement parasitées de boucler leur cycle de développement. Au bout de 4 semaines, les insectes émergés ont été collectés et identifiés à la loupe binoculaire en utilisant des spécimens de référence identifiés à l'IITA.

Tableau V: Échelle de notation du taux de couverture de la surface foliaire par la fumagine

Échelle	Taux de couverture des feuilles par la fumagine
0	0%, absence de cochenilles et de fumagine
1	1 à 25% de la surface foliaire couverte par la fumagine
2	25 à 50% de la surface foliaire couverte par la fumagine
3	51 à 75% de la surface foliaire couverte par la fumagine
4	76 à 100% de la surface foliaire couverte par la fumagine

Source : PITAN *et al.* (2002)

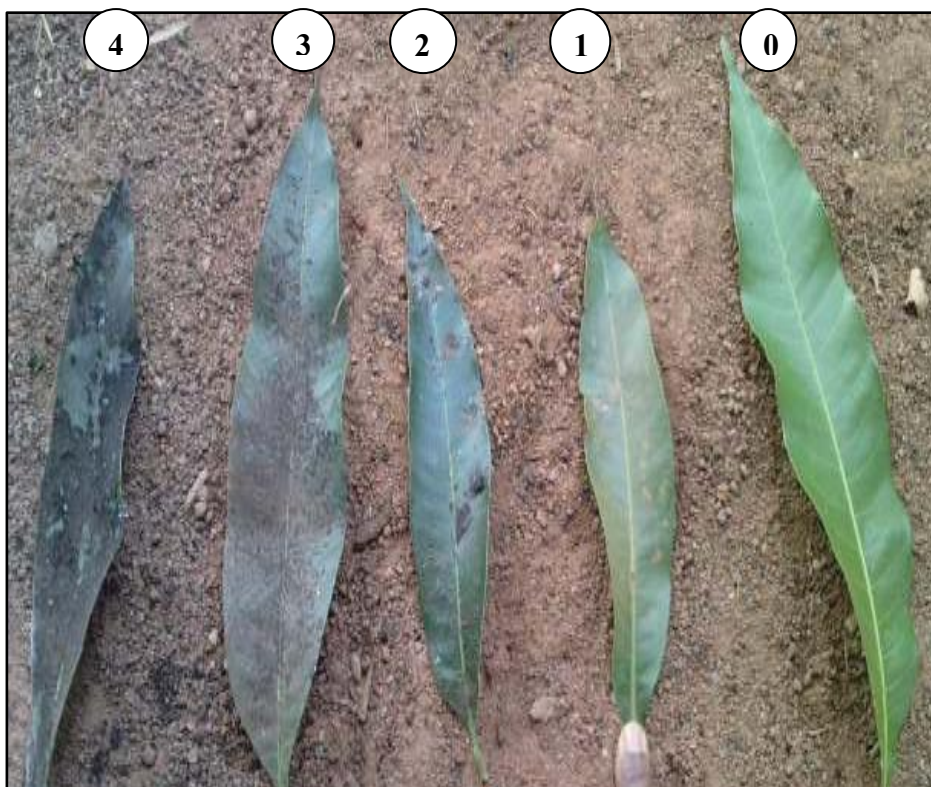


Photo 4 : Feuilles de mangoier présentant les notes de l'échelle pour caractériser le taux de couverture foliaire par la fumagine (Photo K. NÉBIÉ)

VII. EVALUATION DE L'EFFICACITE DU *METARHIZIUM ANISOPLIAE* ICIPÉ 69 CONTRE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

7.1. Dispositif expérimental

Un dispositif de type Bloc complet totalement randomisé a été mis en place pour tester la virulence du *Metarhizium anisopliae* ICIPÉ 69 sur la cochenille farineuse du mangoier au laboratoire. Cinq traitements répétés chacun 3 fois ont été constitués. Il s'agit : du témoin non traité (T), de la dose unique du Chlorpyrifos-éthyl (P=480g/l) et des trois traitements de *M. anisopliae* (M1= 10^8 conidies/ml, M2= 10^9 conidies/ml et M3= 2.10^9 conidies/ml). La concentration de 10^8 conidies/ml a été obtenue en diluant 1 ml du produit commercial avec 9 ml d'eau. La concentration 10^9 conidies/ml correspond à la concentration nominale. La concentration 2.10^9 conidies/ml a été préparée en prélevant 2 ml du produit commercial brut.

7.2. Production de la plante hôte

La production des plants a consisté au repiquage de boutures d'une longueur de 20 cm dans des pots contenant de la terre stérilisée à la chaleur. Ces boutures ont été prélevées sur les figuiers (*F. polyta*) plantés dans les agglomérations. À l'issue du repiquage, les pots ont été placés dans un endroit modérément ombragé puis recouverts d'une moustiquaire supportée par un fer (Photo 5). Cette technique permet d'éviter les attaques de certains arthropodes. Les

boutures ont été régulièrement arrosées et entretenues jusqu'à l'apparition de feuilles capables d'héberger les populations de cochenilles.

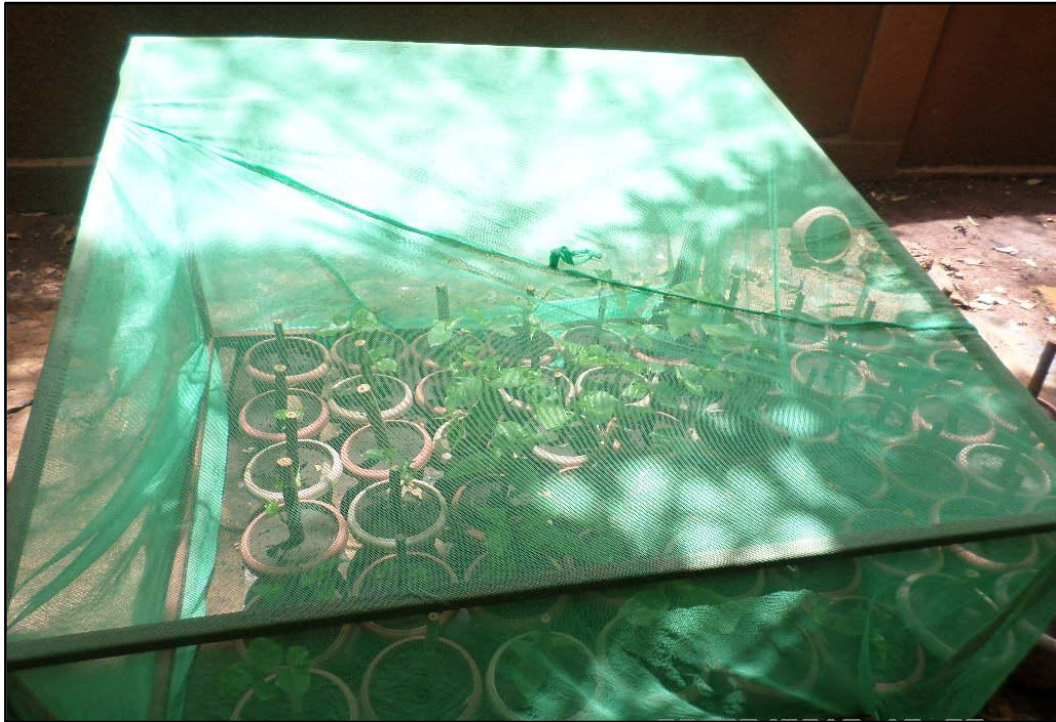


Photo 5 : Dispositif de production de *Ficus polyta* destiné à l'élevage de la cochenille farineuse du manguiers *Rastrococcus invadens* (Photo K. NÉBIÉ)

7.3. Élevage des cochenilles

Au bout de 45 jours après la mise en pot des boutures, les plants ont été nettoyés et transférés dans des cages pour l'élevage des cochenilles. Pour ce faire, une vingtaine de cochenilles femelles gravides et saines ont été déposées sur les feuilles de chaque plant pour une durée de 48 h au bout de laquelle elles sont retirées. Au total, 60 plants soit 15 plants/stade de la cochenille ont été infestés. Deux cent larves ont été retenues et suivies sur chaque plant. Les larves n'ont été utilisées qu'au bout des périodes suivantes : 3 jours pour le stade I, 7 jours pour le stade II, 16 jours pour le stade III et 23 jours pour le stade adulte. La température dans les salles d'élevage variait entre 25 et 30°C ; l'humidité relative de 60 à 70%. La photopériode a été réglée pour avoir 12h d'obscurité et 12h d'éclairage.

7.4. Préparation des bouillies et traitement des plants infestés

Pour chacun des traitements susmentionnés, une bouillie a été préparée pour traiter les plants infestés. La bouillie du Chlorpyrifos-éthyl a été obtenue en prélevant 1,25 ml du produit commercial pour compléter avec 1 l d'eau. Quant aux concentrations inférieures et intermédiaires du *M. anisopliae*, 3 ml de chacune ont été dilués avec 1 l d'eau. Pour la

concentration supérieure, 6 ml du produit commercial ont été dilués avec 1 litre d'eau. Chacune des bouillies préparées a été appliquée à l'aide d'un pulvérisateur à main. Toutes les parties aériennes de plant infesté ont été pulvérisées avec 0,5 litre de bouillie.

7.5. Évaluation de la densité des cochenilles vivantes ou mortes

Le nombre de cochenilles vivantes ou mortes a été évalué aussi bien sur les plants traités que ceux non traités (témoins). Les premières observations ont été réalisées 24 h après l'application des produits. Celles-ci ont été suivies de 3 séances d'observations suivant une fréquence de 48 h. À chaque séance d'observation, les cochenilles vivantes ou mortes ont été dénombrées grâce à une loupe à main.

VIII. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES ET EXPRESSION DES RÉSULTATS

8.1. Données de l'inventaire des cochenilles, des parasitoïdes et des plantes hôtes

Au bout de 12 séances d'observations pour les parasitoïdes et de 24 séances d'observation pour les cochenilles, le nombre total d'individus de chaque espèce de parasitoïde ou de cochenille a été estimé. Ces valeurs ont permis de présenter la proportion en pourcentage de chaque espèce de parasitoïde ou de cochenille sur chaque site.

Le niveau d'infestation des plantes hôtes a été calculé pour chaque espèce végétale en divisant le nombre total de cochenilles par le nombre de feuilles observées. Les plantes hôtes ont été ensuite regroupées en plusieurs catégories (adventices, essences à bois d'œuvre, céréales, cultures fruitières, légumes, plantes ornementales, plantes sauvages) pour l'ensemble des sites prospectés. La proportion en pourcentage de chaque catégorie de plantes a été représentée dans un diagramme circulaire.

8.2. Données du suivi de l'évolution des populations des cochenilles et des parasitoïdes

Les données obtenues sur le suivi de l'évolution des populations des cochenilles et des parasitoïdes ont été saisies et organisées par site et par date d'observation avec le logiciel Microsoft Excel 2010. Il s'agissait de calculer le nombre moyen de cochenilles vivantes/feuille, de cochenilles parasitées/feuille et le taux moyen de parasitisme/feuille. Le taux moyen de parasitisme (P) a été déterminé selon la formule suivante : $[(nCP)/(nCP+nCV)]*100$ soit nCP le nombre de cochenilles parasitées et nCV le nombre de cochenilles vivantes. Les parasitoïdes émergés ont été dénombrés par espèce selon les dates d'observations. Le nombre moyen d'individus de chaque espèce de parasitoïde a été calculé sur la base du nombre de lots d'échantillons incubés (6). Chaque lot étant constitué de 20

feuilles, ces moyennes sont exprimées en nombre de parasitoïdes par lot de 20 feuilles. Les valeurs moyennes obtenues ont servi à illustrer l'évolution des populations des cochenilles, des parasitoïdes et du taux de parasitisme sur les sites de Bérégadougou, Orodara et Toussiana. Pour les analyses statistiques, les données ont été transformées en $\log(x+1)$. Celles-ci ont été ensuite regroupées et soumises à une analyse multivariée pour évaluer l'effet des facteurs abiotiques et du parasitisme sur les populations des cochenilles. Une analyse de corrélation bilatérale (seuils 5% et 1%) a été également faite selon la loi de Pearson pour établir le niveau de relation entre la densité des cochenilles et les facteurs abiotiques. Ces analyses ont été réalisées avec le logiciel IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) statistics 22.

8.3. Données de l'évaluation de l'efficacité de *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69 contre la cochenille farineuse du manguier

Le nombre de cochenilles vivantes ou mortes a été saisi avec le logiciel Microsoft Excel 2010. Les mortalités des cochenilles ont été ajustées par rapport à la mortalité naturelle en utilisant la formule d'ABBOTT cité par SOOKAR (2013). La proportion (P) des insectes morts a été calculée selon la formule suivante : $[(T-T')/T]*100$, où T est le pourcentage d'insectes vivants sur les plants non traités et T' la proportion d'insectes vivants sur les plants traités après application des produits. Ces valeurs ont été soumises à une analyse de variance avec le logiciel Genstat Discovery Edition 4. Les moyennes obtenues ont été séparées par le test de Student-Newman-Keuls au seuil de probabilité 5%.

3^{ÈME} PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE I : DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE, DÉGÂTS ET DISTRIBUTION DES COCHENILLES INFÉODÉES AU MANGUIER À L'OUEST DU BURKINA FASO

INTRODUCTION

Au Burkina Faso, les contraintes de production de la mangue sont en partie attribuées aux insectes. Les principaux nuisibles connus de ce groupe sont les mouches de fruits, les cochenilles et les termites (DAKOUO *et al.*, 2011). Les mouches de fruits au nombre de 18 espèces sont regroupées au sein des genres *Bactrocera*, *Ceratitis* et *Dacus* mis en évidence par OUÉDRAOGO (2011). Les travaux de cet auteur ont permis de situer l'importance de l'espèce invasive *Bactrocera dorsalis* par rapport aux espèces natives. En effet, l'auteur rapporte que *B. dorsalis* est la principale espèce suivie de *Ceratitis cosyra*. Celles-ci sont à l'origine de 95% des dégâts sur la mangue. Elles constituent donc de nos jours les espèces cibles sur lesquelles les méthodes de lutte sont appliquées. Quant au groupe des cochenilles, les rapports indiquent une seule espèce (*Rastrococcus invadens*) accidentellement introduite dans la zone Ouest du Burkina Faso dans les années 2000 (DABIRÉ *et al.*, 2002). Cette cochenille a été répertoriée en 2009 dans 29 localités réparties dans les provinces de la Comoé, du Houet, du Kéné Dougou et de la Léraba (DAKOUO *et al.*, 2011). Elle continue de se propager vers d'autres localités avec le risque d'envahir toutes les zones de production de la mangue. À cet égard, il s'avère nécessaire de mener des investigations conduisant à la mise en œuvre d'une stratégie de lutte efficace et durable contre les cochenilles du manguier. La production de connaissances sur la diversité spécifique et l'importance des cochenilles permettrait de mieux orienter les stratégies de lutte et de limiter les risques d'émergence de nouvelles espèces. La présente étude a eu pour objectif de faire une étude diagnostique sur la présence d'autres espèces de cochenilles du manguier. Il s'agissait notamment d'inventorier les cochenilles du manguier, de décrire la nature de leurs attaques et de les répertorier dans l'aire de distribution de *R. invadens*.

I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE

La diversité spécifique des cochenilles du manguier a été étudiée à Bobo-Dioulasso. À cet effet, des cochenilles ont été collectées sur les feuilles, les inflorescences et les fruits des manguiers infestés. Un tri préliminaire a été ensuite réalisé pour regrouper les cochenilles sur la base des caractères morphologiques. Les spécimens, conservés en différents lots ont été identifiés à « Biodiversity Resource Center » basé à l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA) de Cotonou (Bénin).

À l'issue des résultats d'identification, plusieurs localités situées dans les provinces de la Comoé, du Kéné Dougou et de la Léraba ont été prospectées. Il s'agissait de localiser les foyers d'infestation des cochenilles, de décrire leurs dégâts et leur mode de vie.

I. RÉSULTATS

1.1. Diversité spécifique et abondance des cochenilles inféodées au manguier

En plus de *Rastrococcus invadens* déjà connue sur le manguier, 2 espèces de cochenilles ont été identifiées. Il s'agit de *Icerya aegyptiaca* Douglas 1890 et *Ferrisia virgata* Cockerell 1893 (Planche XI). Les rapports d'identification sont présentés en Annexe 4. Au bout de 24 séances d'observations bihebdomadaires de juin 2014 à juin 2015, la somme des densités moyennes exprimées en nombre de cochenilles/feuille a atteint 1290 à Orodara. Celles de Toussiana et de Bérégadougou ont atteint respectivement 1031 et 714. L'espèce *R. invadens* a été plus abondante que *F. virgata* et *I. aegyptiaca* dans tous les sites d'étude (Tableau VI). Elle occupe à elle seule 98 à 99% de la somme des densités moyennes des cochenilles dénombrées sur les feuilles des manguiers. Par contre *F. virgata* et *I. aegyptiaca* ont représenté environ 1 à 2% de cette population. *I. aegyptiaca* a été plus abondante que *F. virgata* à Bérégadougou et Orodara.

Tableau VI : Abondance relative (%) des trois espèces de cochenilles farineuses (*Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca* et *Rastrococcus invadens*) sur la période de juin 2014 à juin 2015 dans trois localités à l'Ouest du Burkina Faso

N°	Famille	Espèce	Localité		
			Abondance relative (%)		
			Bérégadougou	Orodara	Toussiana
1	Pseudococcidae	<i>Ferrisia virgata</i>	0,64	0,33	0,78
2		<i>Rastrococcus invadens</i>	98,20	98,39	98,92
3	Monophlebidae	<i>Icerya aegyptiaca</i>	1,16	1,28	0,31
Total			714 (100%)	1290 (100%)	1031 (100%)

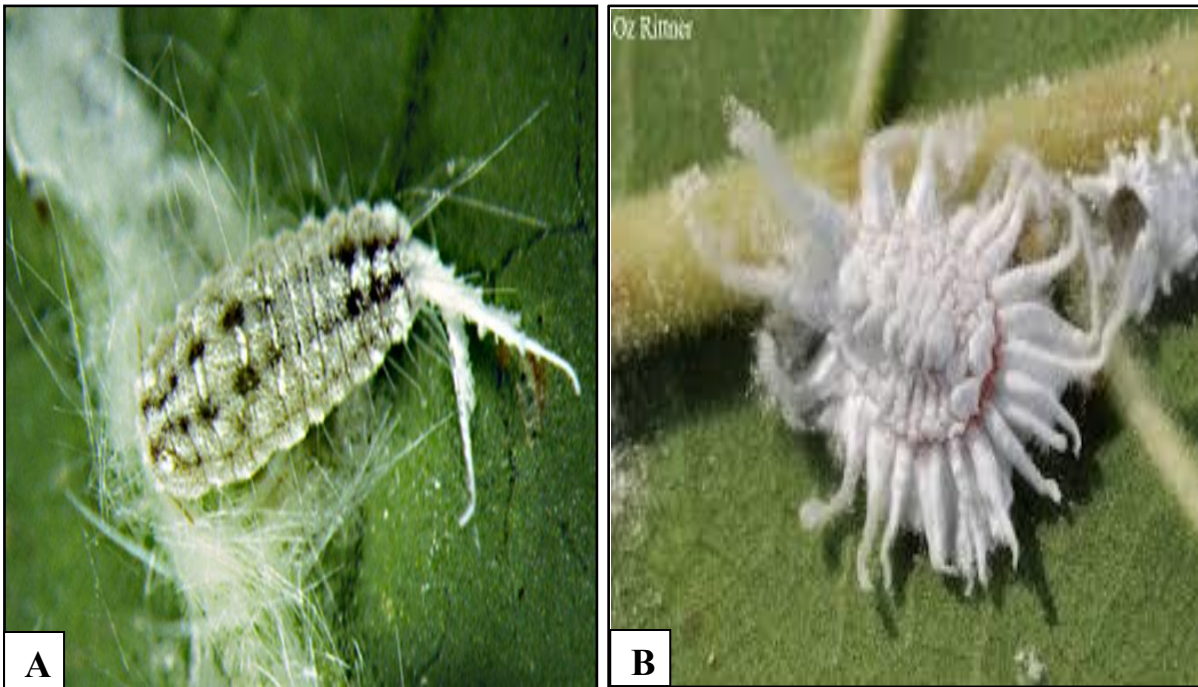


Planche XI : Femelles adultes de *Ferrisia virgata* (A) et de *Icerya aegyptiaca* (B)

1.2. Distribution géographique des espèces de cochenilles identifiées

La prospection qui a été réalisée dans les 7 localités a permis de confirmer la présence de *I. aegyptiaca* et *F. virgata* dans les foyers d'infestation de par *R. invadens*. Ces trois espèces de cochenilles ont été observées ensemble sur les feuilles, les inflorescences ou les fruits des manguiers.

1.3. Nature des attaques des cochenilles identifiées

Les infestations de *I. aegyptiaca* ont été principalement observées sur les feuilles et les rameaux ; très rarement sur les inflorescences et les fruits des manguiers infestés. Sur les feuilles, l'insecte colonise la nervure principale des faces inférieure et supérieure (Planche XII). Celles de *F. virgata* et *R. invadens* ont été observées sur les feuilles, les inflorescences et les fruits des manguiers infestés. Sur les feuilles, les deux espèces colonisent les deux faces foliaires à travers les nervures principales et secondaires. Sur les fruits, les infestations commencent par le pédoncule et envahissent progressivement toute la peau du fruit (Planche XII).

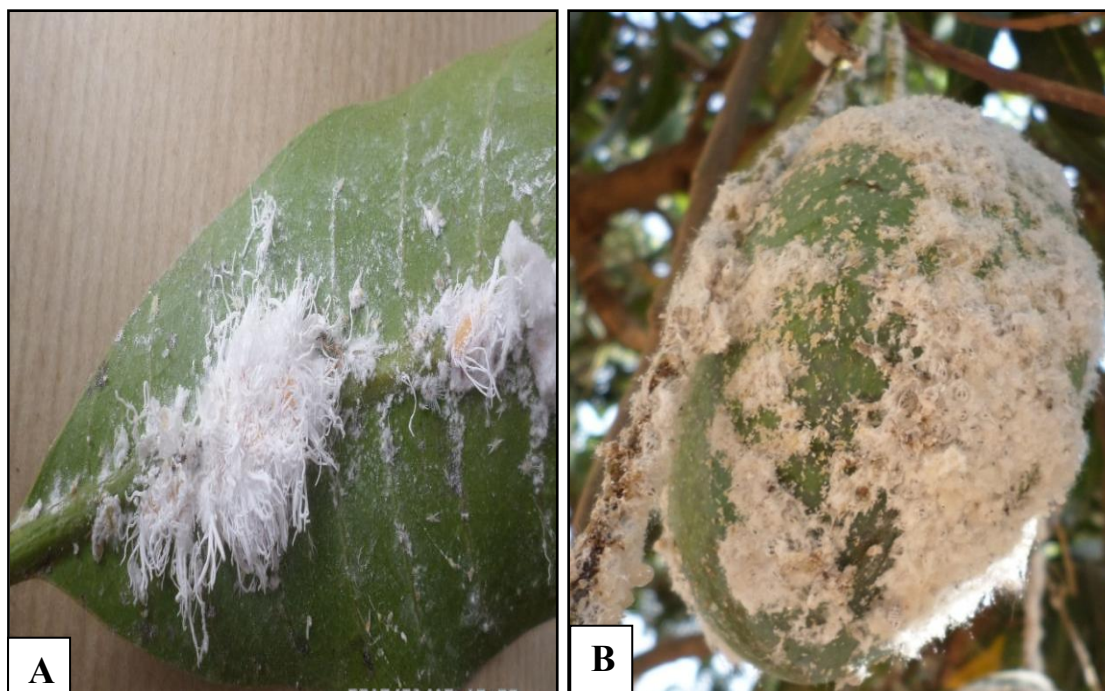


Planche XII : Colonie de *Icerya aegyptiaca* sur la nervure principale de la face inférieure d'une feuille de manguier (A) ; Mangue infestée par une colonie de *Ferrisia virgata* (B) (Photo K. NÉBIÉ)

II. DISCUSSION

2.1. Diversité spécifique et distribution des cochenilles du manguier

Les prospections réalisées dans les foyers d'infestation de *R. invadens* ont permis de collecter et d'identifier deux espèces de cochenilles indigènes inféodées au manguier. Il s'agit de *Ferrisia virgata* et *Icerya eagyptiaca*, qui partagent la même zone de répartition que *R. invadens*. Ces résultats viennent montrer pour la première fois l'existence de *F. virgata* et *I. aegyptiaca* comme insectes inféodés au manguier au Burkina Faso. *Ferrisia virgata*, *I. aegyptiaca* et *R. invadens* sont rencontrées ensemble sur les manguiers infestés, surtout sur les feuilles. Par ailleurs, chacune d'elle a une position spécifique sur les feuilles. *Rastrococcus invadens* et *F. virgata* colonisent les faces inférieure et supérieure des feuilles à travers les nervures principales et secondaires. À l'inverse, *I. aegyptiaca* colonise les faces inférieure et supérieure à travers les nervures principales. *F. virgata* a été déjà répertoriée dans plusieurs pays de l'Afrique de l'ouest et à travers le monde (BEN-DOV, 1994 ; CABI, 1966 ; GERMAIN *et al.*, 2010 ; MUNIAPPAN *et al.*, 2012). Quant à *I. aegyptiaca*, elle a été observée également en Afrique de l'ouest, en Asie et en Océanie (CABI et EPPO, 2003). La diversité spécifique des cochenilles révélée dans cette étude est relativement faible comparée aux 10 espèces des mêmes familles rapportées sur le manguier dans les zones Nord et Centre du Bénin (GERMAIN *et al.*, 2010).

2.2. Abondance de *Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca* et *Rastrococcus invadens* sur le manguier

Les populations de *R. invadens* ont été plus abondantes que celles de *F. virgata* et *I. aegyptiaca* sur tous les sites d'étude. La très faible densité de *F. virgata* et de *I. aegyptiaca* atteste que *R. invadens* demeure la principale espèce de cochenille sur le manguier au Burkina Faso. Cette situation serait probablement liée au caractère invasif de *R. invadens* qui a été accidentellement introduite en Afrique de l'Ouest dans les années 1980 (NEUENSCHWANDER *et al.*, 1994). Bien qu'introduite récemment au Burkina Faso *R. invadens* s'est bien établie au point de devenir la principale espèce de cochenilles. D'autre part, le manguier serait une plante hôte secondaire de *F. virgata* et *I. aegyptiaca* ; ce qui explique leur faible densité par rapport à *R. invadens*. Cependant, il n'existe pas encore des données sur les plantes hôtes de ces 2 espèces de cochenilles au Burkina Faso. En effet, *F. virgata* et *I. aegyptiaca* sont des ravageurs redoutables sur certaines cultures ou sur le manguier dans certains pays. Ainsi, *F. virgata* est vecteur du Cacao Swollen Shoot Virus (CSSV) qui sévit en Afrique de l'Ouest sur le cacaoyer *Theobroma cacao* L. (KOUAKOU *et al.*, 2011 ; OBODJI *et al.*, 2015). Elle est également vectrice du pepper yellow mottle virus (PYMoV) chez le poivrier noir (BOARI *et al.*, 2010). Elle fait partie des trois principales cochenilles du cotonnier en Inde, au Pakistan et au Brésil (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Dans le cas du Burkina Faso, il ne serait pas exclu d'avoir de fortes attaques de cette cochenille sur le cotonnier. Mais une étude n'a pas encore été réalisée dans ce sens. Les dégâts de *I. aegyptiaca* sont également connus sur diverses plantes. Elle provoque des dégâts importants sur le manguier en Iran où elle a été accidentellement introduite en 2013 (MOGHADDAM *et al.*, 2015). En Inde, SENTHILKUMAR et BARTHAKUR (2005) ont rapporté une réduction sensible de la croissance des jeunes plants du teck, *Tectona grandis* L.f.. Considérée comme un insecte de quarantaine aux États-Unis, *I. aegyptiaca* a été interceptée 8 fois entre 1995 et 2012 sur une variété d'hôtes en provenance de plusieurs pays. Son origine africaine en fait d'elle un ravageur mineur sur le manguier.

CONCLUSION PARTIELLE

Durant cette étude, deux espèces de cochenilles indigènes ont été inventoriées sur le manguier à l'ouest du Burkina Faso. Il s'agit de *F. virgata* et *I. aegyptiaca*. Ces résultats renseignent la communauté scientifique sur l'aire de distribution de *F. virgata* et *I. aegyptiaca* à travers le monde en incluant le Burkina Faso. *Ferrisia virgata* et *I. aegyptiaca* coexistent avec *R. invadens* sur le manguier. *Rastrococcus invadens* a été l'espèce prédominante. Elle constitue donc la principale espèce de cochenille du manguier. Elle exercerait une pression trophique sur les espèces de cochenilles indigènes en causant des dégâts importants sur le manguier. Ceci montre la nécessité d'explorer des possibilités de lutte durable contre cet insecte ravageur. Le chapitre II donne un aperçu sur les ennemis naturels (parasitoïdes et prédateurs) qui entrent en ligne de compte dans la gestion durable du ravageur.

CHAPITRE II : ENNEMIS NATURELS DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

INTRODUCTION

Les populations de la cochenille farineuse du manguier sont naturellement régulées par des insectes prédateurs ou parasitoïdes. Cette régulation naturelle est connue aussi bien dans son aire d'origine (Inde) (GUPTA *et al.*, 1991 ; MANI et KRISHNAMOORTHY, 2004) qu'en Afrique (AGOUNKÉ *et al.*, 1988). Parmi les parasitoïdes connus, *Anagyrus mangicola* Noyes et *Gyranusoidea tebygi* Noyes (Encyrtidae : Hymenoptera) ont été importés de l'Inde pour développer un programme de lutte biologique classique contre le ravageur en Afrique. Ils ont été produits en masse et lâchés entre 1986 et 1992 dans 5 pays en Afrique de l'Ouest et 2 pays en Afrique Centrale (NEUENSCHWANDER *et al.*, 1994). Les rapports sur les nouvelles détections du ravageur dans d'autres pays africains ont permis de signaler la présence des deux parasitoïdes sur leur hôte en Côte-d'Ivoire (HALA *et al.*, 2004) et au Burkina Faso (DAKOUO *et al.*, 2011). *Anagyrus mangicola* et *G. tebygi* se sont aussi adaptés à un complexe d'hyper parasitoïdes en Afrique (BIASSANGAMA *et al.*, 1991 ; MATOKOT *et al.*, 1992 ; BOAVIDA et NEUENSCHWANDER, 1995). Cependant, les avis restent toujours partagés quant à l'impact réel du complexe d'hyper parasitoïdes sur l'efficacité du contrôle exercé par *A. mangicola* et *G. tebygi*. Dans certains cas, les hyper parasitoïdes sont considérés comme un indicateur de l'établissement des parasitoïdes sur l'hôte. Dans d'autres cas, ils sont considérés comme un facteur limitant l'action des parasitoïdes à cause de leur abondance. À cet égard, des auteurs suggèrent une production de masse de *A. mangicola* et *G. tebygi* pour mener une lutte biologique augmentative contre le ravageur (HALA *et al.*, 2011). Les données sur les composantes du système tri trophique cochenille-parasitoïde-hyperparasitoïde ne sont pas encore complètes au Burkina Faso. La présente étude a eu pour objectif d'actualiser le répertoire des parasitoïdes inféodés à *R. invadens* et d'identifier le complexe d'hyper parasitoïdes qui lui est associé. Il s'agissait également de situer le niveau d'abondance de ces parasitoïdes et hyper parasitoïdes sur les populations de *R. invadens*.

I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE

Les ennemis naturels (parasitoïdes et prédateurs) de la cochenille farineuse ont été inventoriés à Bérégadougou, Orodara et Toussiana. Pour se faire, un échantillonnage mensuel de 1080 feuilles infestées a été réalisé sur 18 manguiers pendant une année (mai 2014 à mai 2015). Ces feuilles ont été incubées dans des enveloppes en papier Kraft de format A4 pour permettre le développement des larves prédatrices. Les cochenilles parasitées ont été au préalable collectées et incubées dans des flacons en plastique. Au bout de 4 semaines d'incubation, les insectes émergés aussi bien dans les flacons que dans les enveloppes ont été collectés et regroupés en différents lots sur la base des caractères morphologiques. Les spécimens ont été conservés dans de l'alcool 70° et envoyés à l'IITA pour identification. Les parasitoïdes identifiés ont été dénombrés par espèce afin de déterminer leur proportion dans chaque site d'étude.

II. RÉSULTATS

2.1. Parasitoïdes et hyperparasitoïdes inféodés à la cochenille farineuse du manguiier

Cinq espèces de parasitoïdes ont été inventoriées sur les sites de Toussiana, Bérégadougou et Orodara (Tableau VII). Parmi ces espèces, 2 sont des parasitoïdes primaires. Il s'agit de *Gyranusoidea tebygi* Noyes et de *Anagyrus mangicola* Noyes (Planche XIII). Les trois autres sont des parasitoïdes secondaires (hyper parasitoïdes). Ce sont *Chartocerus hyalipennis* Hayat, *Marietta leopardina* Motschulsky et *Pachyneuron sp.* (Planche XIV). Ils appartiennent tous à l'ordre des hyménoptères. *Gyranusoidea tebygi* et *A. mangicola* sont de la famille des Encyrtidae. *C. hyalipennis*, *M. leopardina* et *Pachyneuron sp.* appartiennent respectivement aux familles des Signiphoridae, Aphelinidae et Pteromalidae.

Tableau VII : Parasitoïdes de *Rastrococcus invadens* inventoriés sur les sites de Toussiana, Bérégadougou et Orodara

Ordre	Famille	Espèces	Nature
		<i>Anagyrus mangicola</i> Noyes	
	Encyrtidae	<i>Gyranusoidea tebygi</i> Noyes	Parasitoïdes primaires
Hymenoptera	Signiphoridae	<i>Chartocerus hyalipennis</i> Hayat	
	Aphelinidae	<i>Marietta leopardina</i> Motschulsky	Parasitoïdes secondaires
	Pteromalidae	<i>Pachyneuron sp.</i>	ou Hyperparasitoïdes

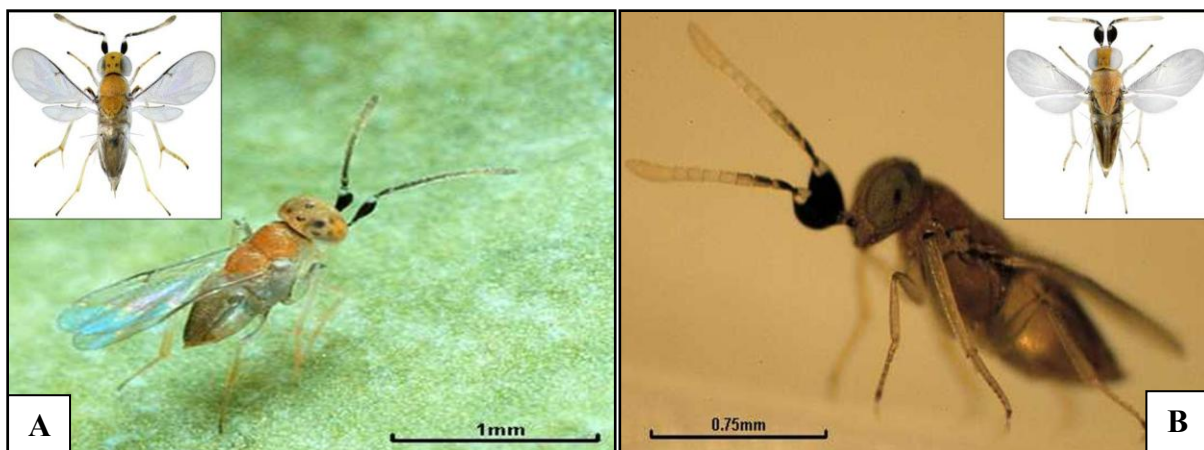


Planche XIII : (A) *Gyranusoidea tebygi* (Photo T. CROSS) ; (B) *Anagyrus mangicola* (Photo G. GOERGEN) deux parasitoïdes primaires de *Rastrococcus invadens*

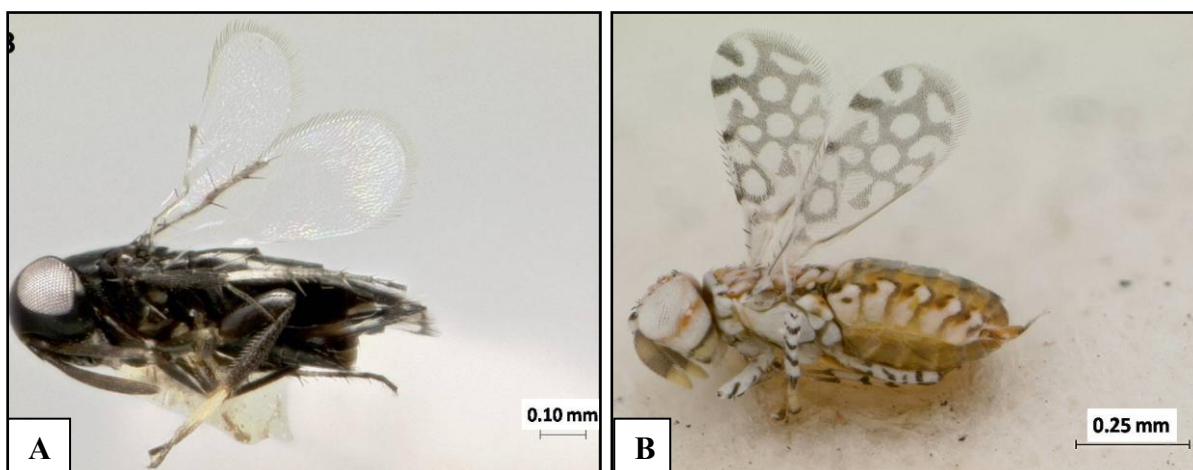


Planche XIV : *Chartocerus hyalipennis* (A) ; *Marietta leopardina* (B) ; *Pachyneuron* sp. (C) trois parasitoïdes secondaires de *Rastrococcus invadens* (BISTLINE-EAST et HODDLE, 2014 ; HODDLE et al., 2013 ; Photo K. NÉBIÉ)

2.2. Prédateurs rencontrés sur les colonies de la cochenille farineuse du manguier

Quatre espèces d'insectes prédateurs ont été collectées à partir des échantillons de feuilles incubées. Il s'agit de *Nephus flavomaculatus* Fürsch, *Exochomus troberti* (Mulsant), *Dicrodiplosis manihoti* Harris et *Chrysoperla* sp. (Planches XV, XVI et XVII). *Nephus flavomaculatus* et *E. troberti* appartiennent à l'ordre des coléoptères et à la famille des Coccinellidae. *Dicrodiplosis manihoti* est un diptère de la famille des Cecidomyiidae. *Chrysoperla* sp. appartient à l'ordre des Nevroptères et à la famille des Chrysopidae.



Planche XV : Adulte de *Dicrodiplosis manihoti* (A) et *Nephus flavomaculatus* (B) prédateurs de la cochenille farineuse du manguier *Rastrococcus invadens* (Photo K. NÉBIÉ)



Planche XVI: Adulte de *Exochomus troberti* nouvellement émergé, prédateur de la cochenille farineuse du manguier *Rastrococcus invadens* (Photo K. NÉBIÉ)



Planche XVII : Œufs (A), larve (B) et Adulte (C) de *Chrysoperla sp.* prédateur de la cochenille farineuse du manguier *Rastrococcus invadens* (Photo K. NÉBIÉ)

2.3. Abondance relative des espèces de parasitoïdes sur les sites d'étude

2.3.1. Sur le site de Bérégadougou

Pour l'ensemble des parasitoïdes identifiés, les parasitoïdes primaires (*G. tebygi* et *A. mangicola*) ont été plus nombreux que les hyper parasitoïdes (Figure 7). Les populations de *G. tebygi* représentaient 33,43% du nombre total des espèces identifiées. Celles-ci étaient suivies de *A. mangicola* (25,26%), *Pachyneuron sp.* (17,76%), *Chartocerus hyalipennis* (12,25%) et *Marietta leopardina* (11,30%). Parmi les parasitoïdes primaires, *G. tebygi* a été plus abondant que *A. mangicola* (56,96% contre 43,04%) (Figure 8). Quant aux parasitoïdes secondaires, *Pachyneuron sp.* était prédominant (42,99%) suivi de *C. hyalipennis* (29,66%) et *M. leopardina* (27,36%) (Figure 9).

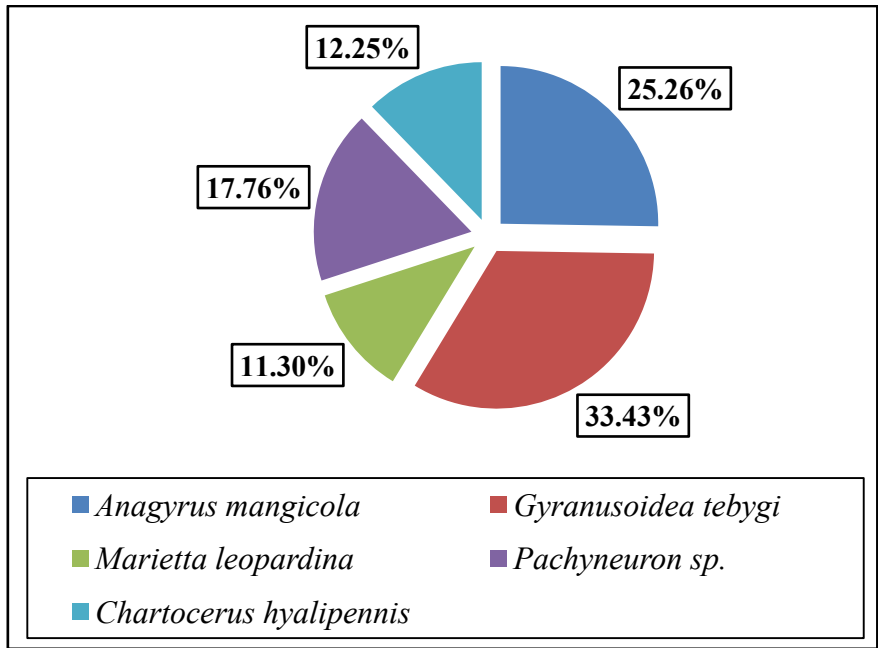


Figure 7 : Proportion des différentes espèces de parasitoïdes primaires et secondaires de *Rastrococcus invadens* sur le site de Bérégadougou

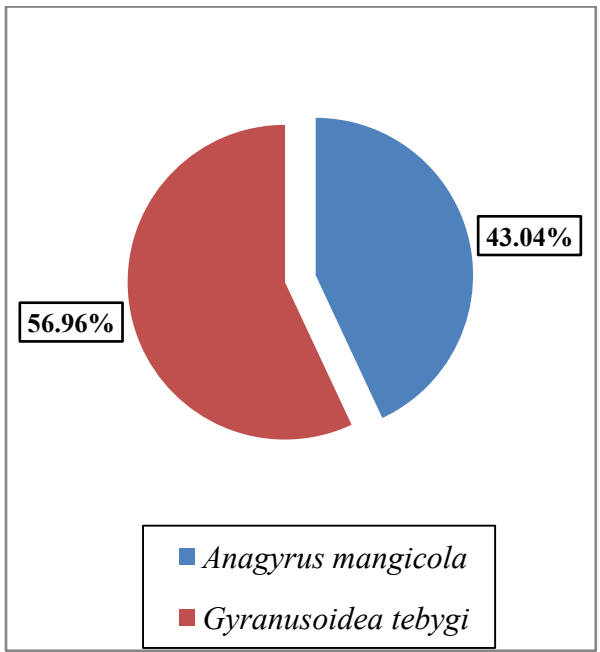


Figure 8 : Proportion des parasitoïdes primaires sur le site de Bérégadougou

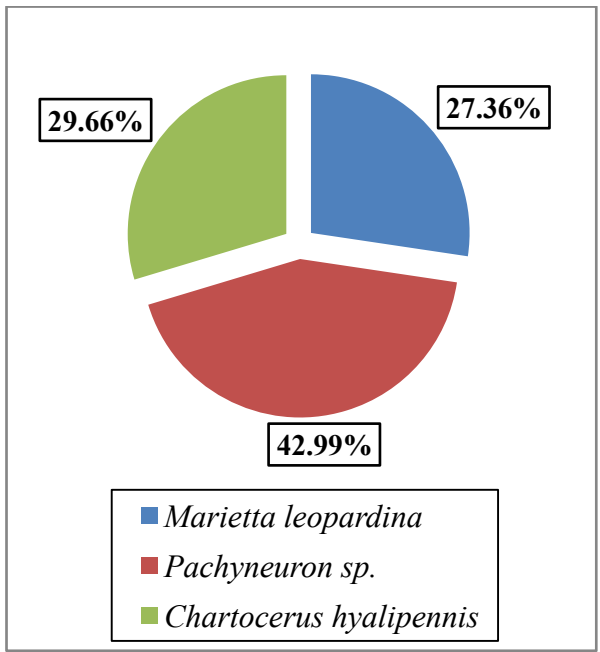
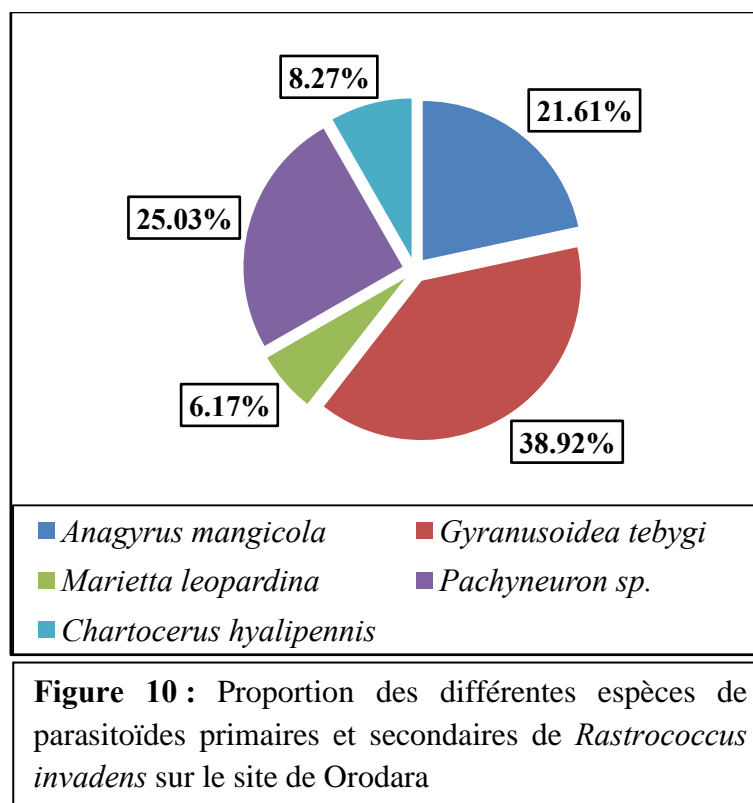


Figure 9 : Proportion des hyper-parasitoïdes sur le site de Bérégadougou

2.3.2. Sur le site de Orodara

Les populations des parasitoïdes primaires (*G. tebygi* et *A. mangicola*) ont été plus importantes que celles des hyperparasitoïdes (Figures 10). Les populations de *G. tebygi* occupaient 38,92% du nombre total des parasitoïdes émergés, suivies de celles de *Pachyneuron sp.* (25,03%), *A. mangicola* (21,61%), *C. hyalipennis* (8,27%) et *M. leopardina* (6,17%). Parmi les parasitoïdes primaires, *G. tebygi* représentait 64,29% du total contre 35,71% pour *A. mangicola* (Figure 11). Les parasitoïdes secondaires étaient fortement représentés par *Pachyneuron sp.* (63,41%) suivi de *C. hyalipennis* (20,97%) et de *M. leopardina* (15,63%) (Figure 12).



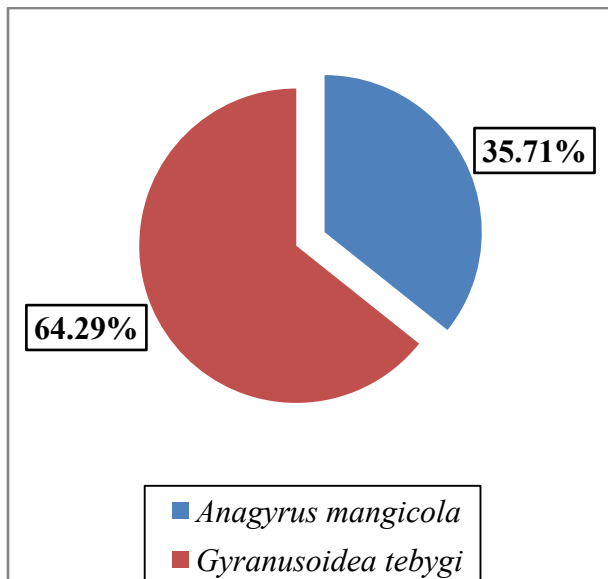


Figure 11 : Proportion des parasitoïdes primaires sur le site de Orodara

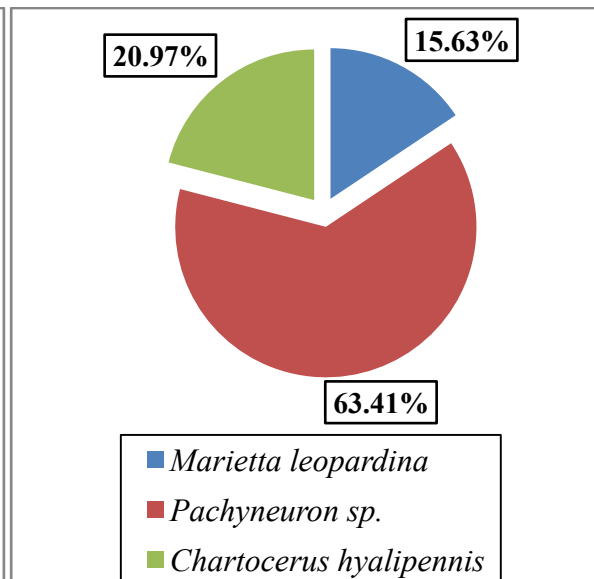


Figure 12 : Proportion des hyperparasitoïdes sur le site de Orodara

2.3.3. Sur le site de Toussiana

Les parasitoïdes primaires (*G. tebygi* et *A. mangicola*) étaient plus représentés par rapport aux hyperparasitoïdes (Figure 13). Le nombre d'individus adultes de *G. tebygi* représentait 34,67% du nombre total des parasitoïdes émergés, suivi de *A. mangicola* (29,70%), *Pachyneuron sp.* (15,33%), *M. leopardina* (13,88%) et *C. hyalipennis* (6,42%). Parmi les parasitoïdes primaires, *G. tebygi* représentait 53,87% du total contre 46,13% pour *A. mangicola* (Figure 14). Les hyperparasitoïdes étaient dominés par *Pachyneuron sp.* (43,02%) suivi de *M. leopardina* (38,96%) et de *C. hyalipennis* (18,02%) (Figure 15).

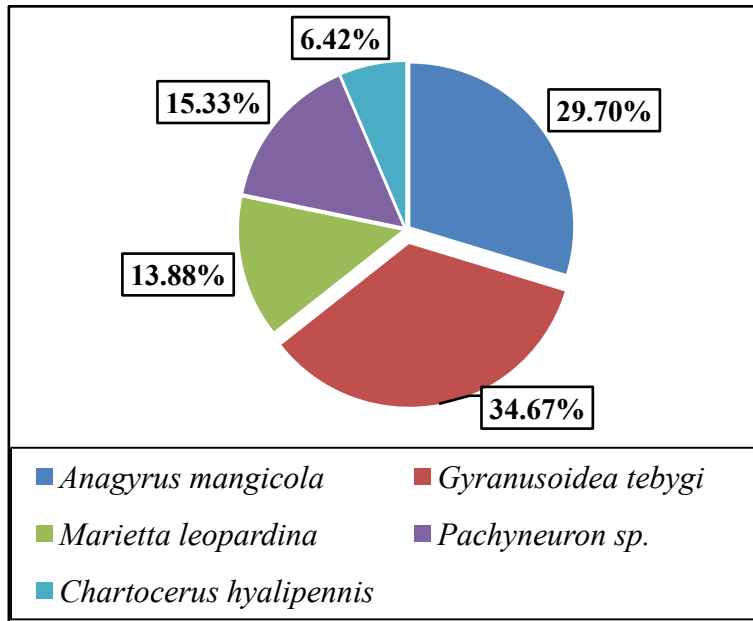


Figure 13 : Proportion des différentes espèces de parasitoïdes primaires et secondaires de *Rastrococcus invadens* sur le site de Toussiana

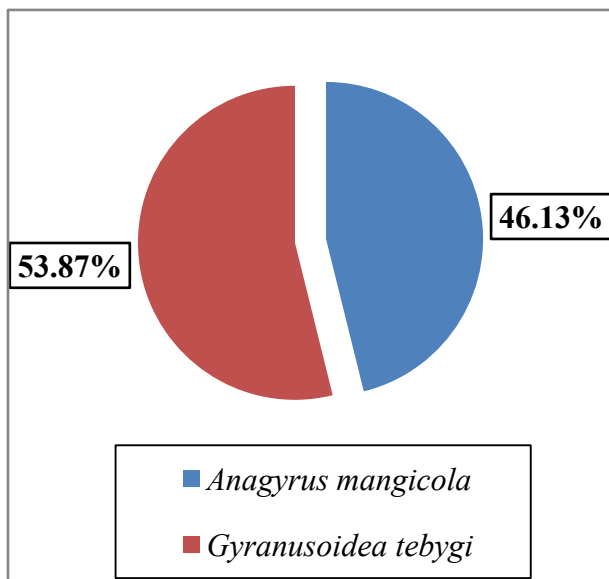


Figure 14 : Proportion des parasitoïdes primaires sur le site de Toussiana

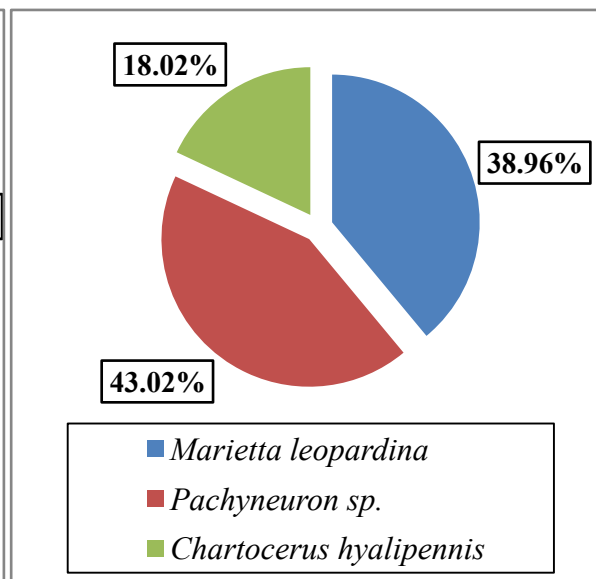


Figure 15 : Proportion des hyperparasitoïdes sur le site de Toussiana

III. DISCUSSION

3.1. Diversité spécifique et abondance des parasitoïdes associés à *Rastrococcus invadens*

La présente étude a permis d'inventorier 5 espèces de parasitoïdes dont 2 primaires (*Anagyrus mangicola* et *Gyranusoidea tebygi*) et 3 secondaires (*Chartocerus hyalipennis*, *Marietta leopardina* et *Pachyneuron sp.*). *Chartocerus hyalipennis* est un hyper parasitoïde grégaire tandis que *M. leopardina* et *Pachyneuron sp.* sont des hyper parasitoïdes solitaires (BOAVIDA et NEUENSCHWANDER, 1995). Les 2 parasitoïdes primaires *G. tebygi* et *A. mangicola* sont des endoparasitoïdes solitaires et spécifiques à la cochenille farineuse du manguier (BOKONON-GANTA *et al.*, 1995). Ces parasitoïdes ont une préférence pour des stades spécifiques de développement de la cochenille pour leur reproduction. *Gyranusoidea tebygi* se reproduit sur les individus aux stades I, II et III avec une préférence pour les stades I et II (BOAVIDA *et al.*, 1995). En revanche, *A. mangicola* se développe sur tous les stades de développement de l'hôte mais préfère les individus aux stades II et III (BOKONON-GANTA *et al.*, 1995). *Gyranusoidea tebygi* et *A. mangicola* ont été introduits de l'Inde dans les années 1986 pour contrôler *R. invadens* en Afrique (NEUENSCHWANDER *et al.*, 1994). Un complexe d'hyper parasitoïdes s'est établi à partir de *G. tebygi* et *A. mangicola* incluant les espèces *C. hyalipennis*, *M. leopardina* et *Pachyneuron sp.* (AGRICOLA et FISCHER, 1991 ; BIASSANGAMA *et al.*, 1991 ; PITAN *et al.*, 2000 ; HALA *et al.*, 2011). Ces trois espèces sont des hyper parasitoïdes obligatoires qui se développent sur les cochenilles et d'autres ravageurs du même ordre (GOERGEN et NEUENSCHWANDER, 1992 et 1994 ; HODDLE *et al.*, 2013 ; BISTLINE-EAST et HODDLE, 2014). *Anagyrus mangicola* et *G. tebygi* sont donc incontournables pour les hyper parasitoïdes dans le système trophique cochenille-parasitoïde-hyperparasitoïde. Sur tous les sites d'études, les populations de *G. tebygi* et celles de *A. mangicola* ont été prédominantes vis-à-vis des hyper parasitoïdes qui présentaient des taux d'émergence de 35 à 42%. Des travaux similaires ont rapporté un taux d'émergence d'hyperparasitoïdes plus élevé au Togo (56-86%) (AGRICOLA et FISCHER, 1991), au Bénin (52-100%) (BOAVIDA et NEUENSCHWANDER, 1995), au Nigéria (37-57%) (PITAN *et al.*, 2000) et en Côte-d'Ivoire (65,18%) (HALA *et al.*, 2011). Ces taux d'émergence élevés seraient liés à la diversité spécifique des hyperparasitoïdes qui est plus importante comparée à celle de notre étude. La non spécificité des hyperparasitoïdes constitue également un facteur important qui influence le niveau d'hyperparasitisme sur un ravageur donné. Dans notre cas, *Rastrococcus invadens* vit en association avec d'autres cochenilles telle que *Ferrisia virgata*. Cette dernière est aussi hyperparasitée par *Chartocerus hyalipennis* et probablement par *Marietta leopardina* et *Pachyneuron sp.* ; ce qui expliquerait en partie le résultat obtenu. Le

taux d'hyper parasitisme élevé a été considéré comme un facteur limitant l'action de *G. tebygi* et *A. mangicola* dans ces pays. Mais selon BOAVIDA et NEUENSCHWANDER (1995) l'établissement de ces hyperparasitoïdes constitue un mécanisme de stabilisation dans l'interaction hôte-ennemi naturel et ne freine donc pas l'efficacité de *A. mangicola* et *G. tebygi*.

3.2. Prédation observée sur la cochenille farineuse du manguier

Quatre espèces de prédateurs ont été répertoriées sur les sites d'étude. Il s'agit de *Nephus flavomaculatus*, *Exochomus troberti* (Coccinellidae), *Dicrodiplosis manihoti* (Cecidomyidae) et *Chrysoperla sp.* *Exochomus troberti* figure parmi les coccinelles prédatrices les plus importantes signalées au Togo sur la cochenille farineuse du manguier (AGOUNKÉ *et al.*, 1988). Les mêmes auteurs ont rapporté sur l'espèce *E. promptus* commune au Bénin et au Togo. L'action prédatrice de cette espèce a été par la suite étudiée au Bénin (BOAVIDA et NEUENSCHWANDER, 1995) et au Nigéria (PITAN *et al.*, 2000). Deux autres espèces du même genre (*E. foudrasi* et *E. laeviusculus*) ont été répertoriées dans la région de Dakar (Sénégal) par HAN *et al.* (2007). Ces auteurs rapportent que *E. foudrasi* et *E. laeviusculus* présentent des paramètres biologiques intéressants qui favorisent leur utilisation dans la lutte biologique contre la cochenille farineuse du manguier. Les espèces *E. flavipes*, *N. sudanicus* et *N. flavomaculatus* ont été également signalées au Togo par AGOUNKÉ *et al.* (1988). Des cas de prédation dus à *D. manihoti* n'ont jamais été mentionnés dans la littérature sur la cochenille farineuse du manguier. Cependant, ce diptère a été décrit comme prédateur au sein de la chaîne alimentaire associée à la cochenille farineuse du manioc, *Phenacoccus manihoti* de la même famille que *R. invadens* (NEUENSCHWANDER *et al.*, 1987). Les mêmes auteurs rapportent que c'est le second prédateur le plus commun de *P. manihoti* au Nigéria. Il est également inféodé aux cochenilles *Pseudococcus longispinus* et *Planococcus citri* toutes de la famille des Pseudococcidae (ABBAS, 1999). GUPTA *et al.* (1991) ont rapporté *Triommata sp.* (Cecidomyidae) comme un prédateur de la cochenille farineuse du manguier à Bhagalpur (Inde). Chez *Dicrodiplosis manihoti*, la prédation est développée par les larves qui sucent l'hémolymphe des cochenilles conduisant à leur mort. Les chrysopides du genre *Chrysoperla* sont également connus comme prédateurs généralistes sur les cochenilles (de VILLIERS *et al.*, 2008).

CONCLUSION PARTIELLE

L'étude du cortège parasitaire de la cochenille farineuse du manguier a permis d'identifier 2 parasitoïdes primaires (*Anagyrus mangicola* et *Gyranusoidea tebygi*) et 3 hyperparasitoïdes (*Chartocerus hyalipennis*, *Marietta leopardina* et *Pachyneuron sp.*). Les populations des parasitoïdes primaires étaient plus abondantes que celles des hyperparasitoïdes. Il existe des prédateurs qui participent également à la régulation naturelle des populations de la cochenille farineuse du manguier. Ce sont *Nephus flavomaculatus*, *Exochomus troberti*, *Dicrodiplosis manihoti* et *Chrysoperla sp.*. *Dicrodiplosis manihoti* est identifié pour la première fois comme prédateur de *R. invadens*. En plus de ces résultats, il est également important de fournir des informations sur la gamme des espèces végétales capables de maintenir les populations du ravageur dans le temps et dans l'espace. Le chapitre III fait l'état des résultats de cette investigation.

CHAPITRE III : PLANTES HÔTES DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

INTRODUCTION

Plusieurs espèces de cochenilles s'attaquent aux cultures vivrières, ornementales et de serre à travers le monde (SAENGYOT et BURIKAM, 2011 ; CHAM *et al.*, 2011 ; ABBAS *et al.*, 2010). Pour une espèce de cochenille, la gamme de plantes hôtes attaquées varie selon les zones agro écologiques. Ces plantes hôtes assurent le maintien des populations du ravageur lorsque les conditions de vie lui sont défavorables sur l'hôte primaire. Elles constituent des foyers potentiels limitant l'efficacité de certaines méthodes de lutte. Les plantes hôtes favorisent également la dissémination des insectes ravageurs à travers le transport d'organes végétaux infestés d'une localité à une autre. En ce qui concerne la cochenille farineuse du manguiier, elle a été recensée sur plusieurs espèces végétales en Afrique de l'Ouest (IVBIJARO *et al.*, 1992 ; HALA *et al.*, 2004 ; HAN *et al.*, 2007 ; AKINTOLA et ANDE, 2009). Ces plantes hôtes regroupent d'autres cultures fruitières aussi fortement attaquées comme le manguiier qui est la principale plante hôte du ravageur. Le caractère invasif et polyphage de *R. invadens* fait de lui un ravageur d'importance économique et de quarantaine à travers le monde (SCALES INSECTS, <http://idtools.org/id/scales/factsheet.php?name=7016>). Il est donc important d'étudier la gamme des plantes hôtes de *R. invadens* au Burkina Faso, notamment dans la zone Ouest où elle cause déjà des dégâts importants sur le manguiier. La connaissance des plantes hôtes de *R. invadens* pourrait aider les producteurs à adopter de bonnes pratiques culturales telles que l'arrachage de ces plantes hôtes alternatives à l'intérieur ou autour des vergers. Ceci permettrait de limiter la dissémination du ravageur et de le contenir dans le temps et dans l'espace. C'est dans ce sens que cette étude a été conduite afin d'établir la gamme des plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguiier dans la zone ouest du Burkina Faso.

I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE

Les plantes hôtes de la cochenille ont été inventoriées dans les provinces de la Comoé, du Houet, du Kéné Dougou et de la Léraba. L'inventaire a consisté à prospecter 20 vergers de manguiers infestés et répartis dans plusieurs localités. Chaque verger a été prospecté sur un rayon de 200 m pour recenser les plantes infestées par *R. invadens*. Le niveau d'infestation de ces plantes a été évalué en comptant le nombre de cochenilles vivantes (tous stades confondus) sur 20 feuilles prélevées au hasard sur les arbres, les arbustes et les arbrisseaux. Quant aux grandes herbes et adventices, l'évaluation a été réalisée respectivement sur 2 feuilles et 5 pieds. Les niveaux d'infestation ont été caractérisés selon l'échelle mise au point par AKINTOLA et ANDE (2009).

II. RÉSULTATS

2.1. Diversité spécifique des plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier

En considérant l'ensemble des vergers prospectés, 40 espèces végétales appartenant à 24 familles étaient infestées par *R. invadens* (Tableau VIII). Cette gamme de plantes est composée de céréales, de cultures fruitières, de plantes ornementales, de légumes, d'adventices, de plantes sauvages et d'essences destinées au bois d'œuvre. Le plus grand nombre de plantes hôtes (5) appartenait à la famille des Rutacées suivie de celles des Anonacées (3 plantes) et des Moracées (3 plantes). Les autres familles étaient représentées par 1 ou 2 espèces végétales. Tous les niveaux d'infestation (faible, moyen et élevé) ont été observés. Le niveau d'infestation le plus élevé a été observé sur 8 plantes. Il s'agit de *Vitex doniana*, *Khaya senegalensis* (Photo 6), *Musa sapientum*, *Passiflora sp.*, *Vitellaria paradoxa* (Photo 7), *Citrus limon* (Photo 8), *C. tangelo* et *Tectona grandis* (Photo 9). Des plantes ont présenté des niveaux d'infestation variés selon les localités. C'est le cas de *C. limon*, *C. tangelo*, *C. sinensis*, *M. sapientum*, *Psidium guayava* (Photo 10) et *Sida acuta*. Pour certaines plantes hôtes, le niveau d'infestation variait suivant le stade de croissance. Il s'agit de *K. senegalensis* et de *V. paradoxa*. Le maïs (*Zea mays* L.) était la seule céréale attaquée par la cochenille (Photo 11).



Photo 6 : Colonies de *Rastrococcus invadens* sur les feuilles de caïlcédrat, *Khaya senegalensis* (Photo K. NÉBIÉ)



Photo 7 : Colonies de *Rastrococcus invadens* sur les feuilles du karité, *Vitellaria paradoxa* (Photo K. NÉBIÉ)



Photo 8 : Colonies de *Rastrococcus invadens* sur les feuilles d'oranger, *Citrus sinensis* (Photo K. NÉBIÉ)



Photo 9 : Colonies de *Rastrococcus invadens* sur les feuilles de teck, *Tectona grandis* (Photo K. NÉBIÉ)



Photo 10 : Colonies de *Rastrococcus invadens* sur les feuilles du goyavier, *Psidium guayava* (Photo K. NÉBIÉ)



Photo 11 : Colonies de *Rastrococcus invadens* sur une feuille du maïs, *Zea mays* (Photo K. NÉBIÉ)

Tableau VIII : Plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier, *Rastrococcus invadens* inventoriées à l'ouest du Burkina Faso

Plantes hôtes		Noms usuels	Stade de croissance	Niveau d'infestation (*)
Famille (Nombre d'espèces)	Espèces (statut)			
Amaranthaceae (2)	<i>Amaranthus graecizans</i> (L)	Amaranthe	Herbe	*
	<i>Amaranthus sp.</i> (A)			
Annonaceae (3)	<i>Annona muricata</i> (Fr)	Corossolier	Arbustes	*
	<i>A. squamosa</i> (Fr)	Pomme cannelle	Arbustes	*
	<i>A. senegalensis</i> (S)	Pomme sauvage	Arbrisseau	*
Apocynaceae (2)	<i>Saba senegalensis</i> (S)	Liane sauvage	Arbrisseau	**
	<i>Catharanthus roseus</i> (O)	----	Herbe	*
Arecaceae (2)	<i>Borassus akeassii</i> (Fr)	Rônier	Grandes herbes	*
	<i>Elaeis guineensis</i> (L)	Palmier à huile		*
Asteraceae (1)	<i>Acanthospermum hispidum</i> (A)	-----	Herbe	*
Bombacaceae (1)	<i>Ceiba pentandra</i> (S)	Kapokier	Arbustes	*
Combretaceae (1)	<i>Terminalia latifolia</i> (S)	-----	Arbrisseau	*
Convolvulaceae (2)	<i>Ipomoea batatas</i> (L)	Patate douce	Herbe	*
	<i>Ipomoea sp.</i> (A)	-----		*
Euphorbiaceae (2)	<i>Jatropha curcas</i> (O)	Jatropha	Arbustes	*
	<i>Ricinus communis</i> (S)	Ricin	Arbrisseau	*
Fabaceae (1)	<i>Piliostigma thonningii</i> (S)	-----	Arbrisseau	*
Lamiaceae (1)	<i>Vitex doniana</i> (S)	-----	Arbre	***
Lauraceae (1)	<i>Persea americana</i> (Fr)	Avocatier	Arbrisseau	*
Malvaceae (2)	<i>Sida acuta</i> (A)	Sida	Herbe	* ; **
	<i>S. rhombifolia</i> (A)			*
Meliaceae (2)	<i>Khaya senegalensis</i> (O)	Caïlcédrat	Arbrisseau ; Arbre	*** ; *
	<i>Trichilia emetica</i> (S)	-----	Arbrisseau	*
Moraceae (3)	<i>Ficus polyta</i> (O)	Figuiers	Arbustes, Arbre	**
	<i>F. sur</i> (S)		Arbrisseau ; Arbre	**
	<i>Ficus sp.</i> (S)		Arbrisseau	*
Musaceae (1)	<i>Musa sapientum</i> (Fr)	Bananier	Grande herbe	* ; ***
Myrtaceae (1)	<i>Psidium guayava</i> (Fr)	Goyavier	Arbustes	* ; **

Suite du Tableau VIII				
Plantes hôtes		Noms usuels	Stade de croissance	Niveau d'infestation (*)
Famille (Nombre d'espèces)	Espèces (statut)			
Passifloraceae (1)	<i>Passiflora sp.</i> (A)	-----	Herbe	***
Poaceae (2)	<i>Cymbopogon citratus</i> (A)	Citronnelle	Herbe	*
	<i>Zea mays</i> (C)	Maïs		**
Rutaceae (5)	<i>Citrus aurantifolia</i> (Fr)	Agrumes	Arbustes	*
	<i>C. limon</i> (Fr)		Arbustes	* ; ** ; ***
	<i>Citrus ×tangelo</i> (Fr)		Arbustes	* ; ***
	<i>C. reticulata</i> (Fr)			*
	<i>C. sinensis</i> (Fr)			* ; **
Sapindaceae (1)	<i>Blighia sapida</i> (Fr)	Acki	Arbustes	*
Sapotaceae (1)	<i>Vitellaria paradoxa</i> (S)	Karité	Arbrisseau ; Arbre	*** ; *
Solanaceae (1)	<i>Nicotiana sp.</i> (A)	-----	Herbe	*
Verbenaceae (1)	<i>Tectona grandis</i> (B)	Teck	Arbustes	***

A : Adventice, B : essence à bois d'œuvre, C : Céréale, Fr : Culture Fruitière, L : Légume, O : Plante Ornementale, S : Plante Sauvage

(*) Niveau d'infestation : *infestation faible, **infestation moyenne, ***infestation élevée

2.2. Importance relative des plantes hôtes de *Rastrococcus invadens*

Pour l'ensemble des vergers prospectés, la gamme des plantes hôtes était composée de 12 espèces de cultures fruitières soit 30%, 11 espèces de plantes sauvages (27,5%) et 8 espèces d'adventices soit 20% (Figure 16). Les plantes ornementales et les légumes ont représenté respectivement 10% et 7,5% des espèces identifiées. Les céréales et les essences destinées au bois d'œuvre représentaient chacune 2,5%.

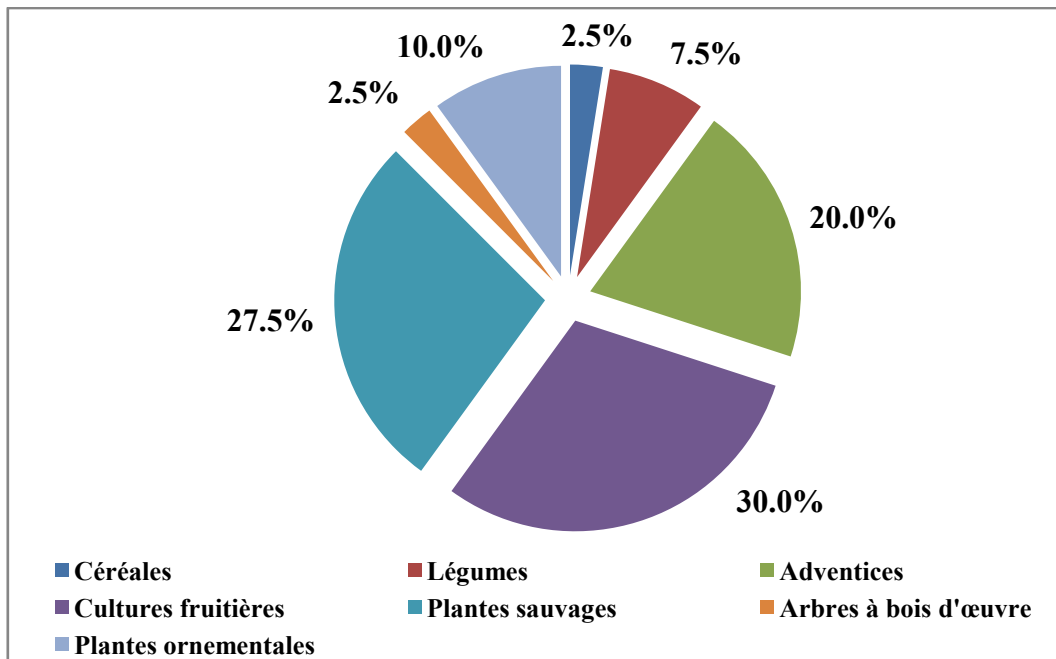


Figure 16 : Importance relative des plantes hôtes de *Rastrococcus invadens* à l'ouest du Burkina Faso

III. DISCUSSION

En plus du manguier (*Mangifera indica*), il a été inventorié 40 espèces végétales réparties dans 24 familles qui sont attaquées par la cochenille à l'ouest du Burkina Faso. Certaines de ces espèces avaient déjà été rapportées au Togo et au Bénin par AGOUNKÉ *et al.* (1988). Comme dans cette étude, ces auteurs ont noté une variation du niveau d'infestation pour la plupart des plantes inventoriées dans les deux pays. Leurs travaux ont également présenté des espèces végétales avec ou sans attaques de cochenilles respectivement au Bénin et au Togo et vis-versa. Par ailleurs, ils ont cité le papayer et le neem, légèrement infestés parmi les plantes hôtes du ravageur. Ces deux espèces végétales n'ont pas présenté d'attaques de cochenilles au cours de notre étude malgré leur présence dans des vergers de manguiers fortement infestés. Le faible niveau d'infestation qu'elles ont affiché font d'elles des hôtes occasionnels et peuvent donc ne pas être infestées dans certaines zones agro écologiques comme la nôtre. Ce phénomène pourrait être également lié à la présence de principes biologiques actifs qui empêchent le développement de l'insecte sur ces plantes. Les travaux de ANDE et OLOWOJOLU (1999) ont mis en évidence l'effet insecticide de différentes parties (feuilles, écorces et fruits) du neem contre la cochenille farineuse du manguier. Le neem a présenté également un faible niveau d'infestation dans la ville de Dakar où 13 espèces de plantes hôtes ont été inventoriées par HAN *et al.* (2007). Contrairement à nos résultats et ceux obtenus au Togo, Bénin, Congo Brazaville et Gabon (AGOUNKÉ *et al.*, 1988 ; BIASSANGAMA *et al.*, 1991 ; BOUSSIENGUET et MOULOUNGOU, 1993), le goyavier n'assure pas le maintien

des populations de la cochenille dans la savane sud-guinéenne du Nigéria (AKINTOLA et ANDE, 2009). La variation du niveau d'infestation observée entre les arbrisseaux et les arbres de *Khaya senegalensis* et *Vitellaria paradoxa* pourrait être liée aux caractéristiques physico-chimiques que présente chaque stade de croissance de ces essences. Les feuilles des arbrisseaux généralement jeunes seraient plus favorables au développement de l'insecte. La proportion des cultures fruitières relativement élevée comparée aux autres plantes hôtes serait probablement liée à la diversité des arbres fruitiers dans notre zone d'étude qui est une zone de production fruitière par excellence. Parmi ces arbres fruitiers, les citrus sont fréquemment rencontrés dans les vergers de manguiers ou à leur périphérie; ce qui expliquerait leur nombre élevé parmi les cultures fruitières. La diversité floristique (adventices et essences sauvages) dans les vergers prospectés pourrait expliquer le nombre élevé de cette catégorie de plantes attaquées par la cochenille. Mais la plupart de ces plantes ont présenté un faible niveau d'infestation. Sur les 40 plantes hôtes inventoriées au cours de cette étude, 25 apparaissent nouvellement dans le répertoire en Afrique de l'ouest et à travers le monde.

CONCLUSION PARTIELLE

La présente étude conduite à l'ouest du Burkina Faso a permis d'établir une large gamme de plantes hôtes attaquées par la cochenille farineuse du manguiers. Au total, 40 plantes hôtes réparties dans 24 familles ont été inventoriées en saison sèche et en saison pluvieuse. Ces plantes sont principalement dominées par les cultures fruitières, les essences sauvages et les adventices. Il a été noté 25 nouvelles espèces végétales qui apparaissent dans le répertoire des plantes hôtes de la cochenille en Afrique et dans le monde. La diversité de ces plantes constitue un moyen de propagation du ravageur dans le temps et dans l'espace. Généralement rencontrées à proximité des manguiers infestés, il est important de les prendre en compte dans le développement des stratégies de lutte. Cette étude montre par ailleurs que des essences fruitières locales importantes subissent les attaques de cochenilles. C'est le cas du karité et des lianes sauvages qui constituent des produits forestiers non ligneux importants pour les populations rurales. Le chapitre IV décrit la dynamique des populations des cochenilles sur leur hôte primaire qui est le manguiers.

CHAPITRE IV : FLUCTUATION DES POPULATIONS DES COCHENILLES DU MANGUIER À L'OUEST DU BURKINA FASO

INTRODUCTION

Au Burkina Faso, le secteur fruitier constitue une importante source d'amélioration de revenus pour les ménages agricoles. Plus de la moitié des arboriculteurs fruitiers s'adonnent à la production de la mangue. Cette dernière occupe la première place avec 62,50% de la production nationale fruitière (MAH, 2011). Selon les mêmes sources, près de 75% de mangues produites annuellement sont fournies par la région de l'Ouest. Dans cette zone, les contraintes de production sont en partie attribuées aux insectes dont la cochenille farineuse du manguier *Rastrococcus invadens* Williams (DAKOUO *et al.*, 2011). Cet insecte ravageur a été accidentellement introduit en Afrique de l'Ouest dans les années 1980. Les premiers foyers ont été signalés au Ghana, au Bénin et au Togo (AGOUNKÉ *et al.*, 1988). Les échanges commerciaux entre les pays de la sous région ouest africaine ont favorisé la propagation du ravageur (NEUENSCHWANDER *et al.*, 1994). En effet, après son apparition en 1989 à la partie Est de la Côte-d'Ivoire, *R. invadens* a migré vers la région Nord de ce pays où il occasionne des pertes de rendement de l'ordre de 53% en station de recherches et de 100% en milieu paysan (HALA *et al.*, 2004). Le ravageur s'est ensuite établi dans la zone Ouest du Burkina Faso (frontière avec la partie Nord de la Côte-d'Ivoire) où il a été observé pour la première fois dans les années 2000 (DABIRÉ *et al.*, 2002). Très peu d'informations ont été fournies sur l'écologie du ravageur après son introduction dans cette zone. Les seuls rapports disponibles portent sur sa distribution géographique (DAKOUO *et al.*, 2011) et sur une étude de courte durée (avril à juin 2009) de la dynamique de ses populations (L.C. OTOIDOBIGA, communication personnelle). Dans une perspective de développer une stratégie de lutte durable basée sur les connaissances écologiques du ravageur, des travaux ont été initiés à partir de 2014 dans les vergers de manguiers. Cette investigation a eu pour objectif d'établir les périodes d'abondance de *R. invadens* et celles des cochenilles indigènes rencontrées sur le manguier.

I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE

La dynamique des populations des cochenilles du manguier a été étudiée dans les localités de Bérégadougou, Orodara et Toussiana situées respectivement dans les provinces de la Comoé, du Kéné Dougou et du Houet. Pour se faire, des observations bihebdomadaires ont été réalisées de mai 2014 à août 2015 afin d'évaluer la densité des cochenilles vivantes ou mortes sur 18 pieds de manguiers retenus sur les sites. L'évaluation a porté sur 360 feuilles soit 20 feuilles prélevées sur chaque arbre à chaque date d'observation. Le taux de couverture des feuilles par la fumagine a été également évalué selon l'échelle utilisée par PITAN *et al.* (2002). Les données collectées ont été soumises à une analyse multivariée afin de mesurer l'influence des facteurs abiotiques (température, hygrométrie et pluviométrie) sur les populations des cochenilles.

II. RÉSULTATS

2.1. Fluctuation des populations de *Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca* et *Rastrococcus invadens*

2.1.1. Sur le site de Bérégadougou

Rastrococcus invadens était l'espèce la plus importante, suivie de *I. aegyptiaca* puis de *F. virgata* en saison pluvieuse entre mai et octobre 2014 et entre mai et août 2015. Il a été observé en moyenne 4 à 103 individus/feuille pour *R. invadens*. À la même période, les densités de *I. aegyptiaca* et celles de *F. virgata* ont varié respectivement de 0,02 à 2 individus/feuille et de 0 à 0,25 individus/feuille (Figure 17). *Rastrococcus invadens* a présenté des pics d'abondance en fin-mai, mi-août, mi-septembre et mi-octobre 2014 et fin juillet 2015. *Icerya aegyptiaca* a présenté des pics d'abondance en mi-juillet, fin août 2014 et fin mai 2015. Ceux de *F. virgata* ont été observés en fin juillet et fin-août 2014. Les populations de *R. invadens* et celles de *I. aegyptiaca* ont connu une baisse en saison sèche (décembre 2014 à avril 2015). *Rastrococcus invadens* est restée prédominante suivie de *F. virgata* puis de *I. aegyptiaca*. Pour ces trois espèces, il a été noté respectivement 5 à 25 ; 0,033 à 0,9 et 0,04 à 0,38 individus/feuille. Les populations de *R. invadens* ont fluctué autour de trois pics observés en fin-décembre 2014, fin-janvier et mi-mars 2015. *Ferrisia virgata* a présenté des pics d'abondance en fin novembre 2014, fin janvier, mi mars et mi avril 2015. Ceux de *I. aegyptiaca* ont été observés en fin décembre 2014 et fin janvier 2015.

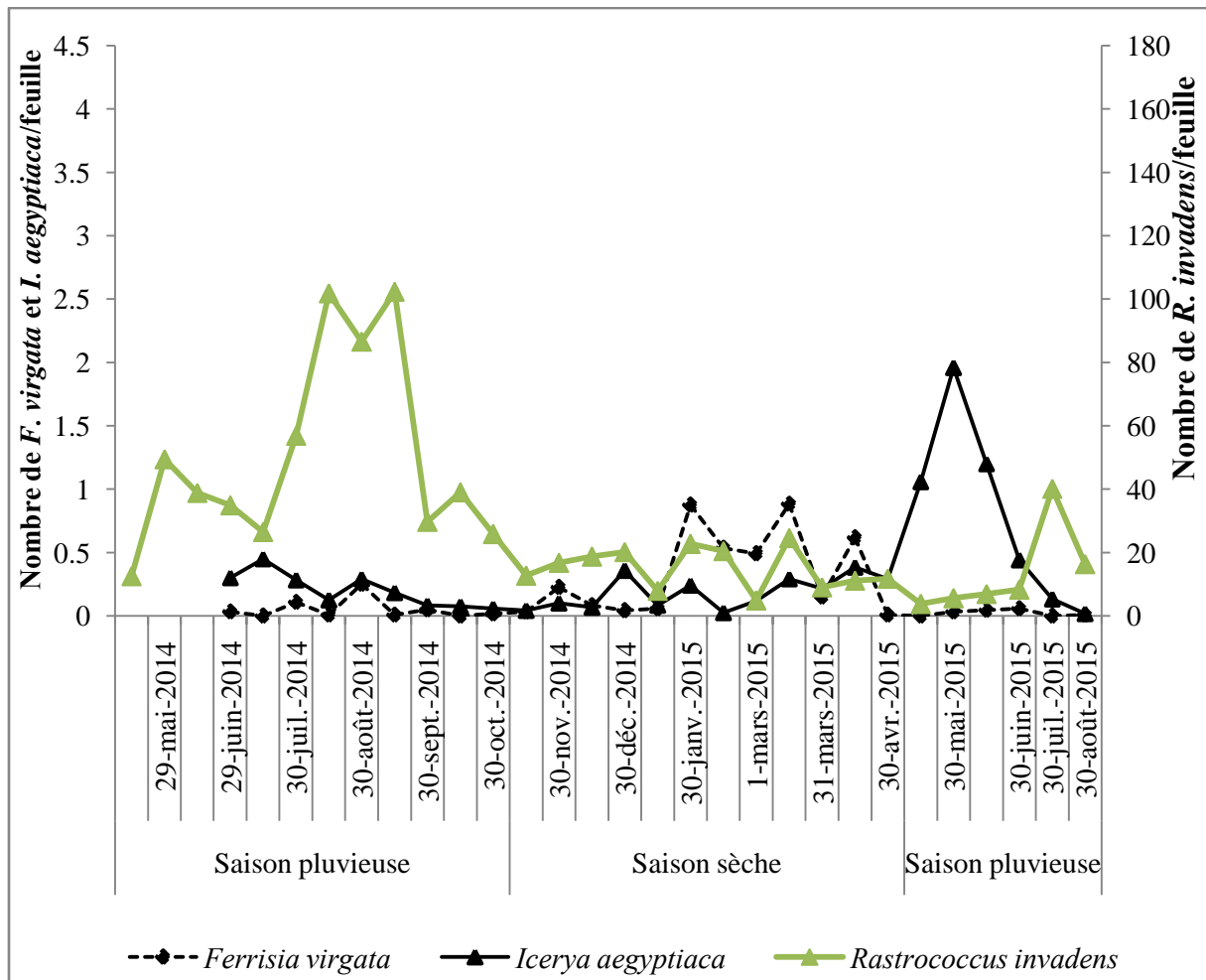


Figure 17 : Évolution des populations des trois espèces de cochenilles farineuses (*Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca* et *Rastrococcus invadens*) sur le site de Bérégadougou au cours de la période de mai 2014 à août 2015

2.1.2. Sur le site de Orodara

À Orodara, *R. invadens* a également prédominé par rapport à *I. aegyptiaca* et *F. virgata* en saison pluvieuse (Figure 18). Il a été noté en moyenne 2 à 164 individus/feuille pour *R. invadens* suivie de 0,03 à 4,03 pour *I. aegyptiaca* puis de 0 à 0,06 pour *F. virgata*. Les pics d'abondance de *R. invadens* ont été décelés en fin-mai, fin-août 2014 et fin-juillet 2015. Ceux de *I. aegyptiaca* ont été observés en fin juillet, fin août 2014 et en fin mai 2015. Les densités des populations de *R. invadens* et de *I. aegyptiaca* ont chuté en saison sèche tandis que celle de *F. virgata* a connu une augmentation. Mais *R. invadens* a demeuré prédominante à cette période avec une densité moyenne de 5 à 84,3 individus/feuille contre 0,04 à 0,9 pour *F. virgata* et 0,06 à 0,4 pour *I. aegyptiaca*. *Rastrococcus invadens* a présenté des pics en fin-décembre 2014, mi-février et mi-mars 2015. Ceux de *F. virgata* ont été observés en fin janvier, mi-mars et mi-avril 2015.

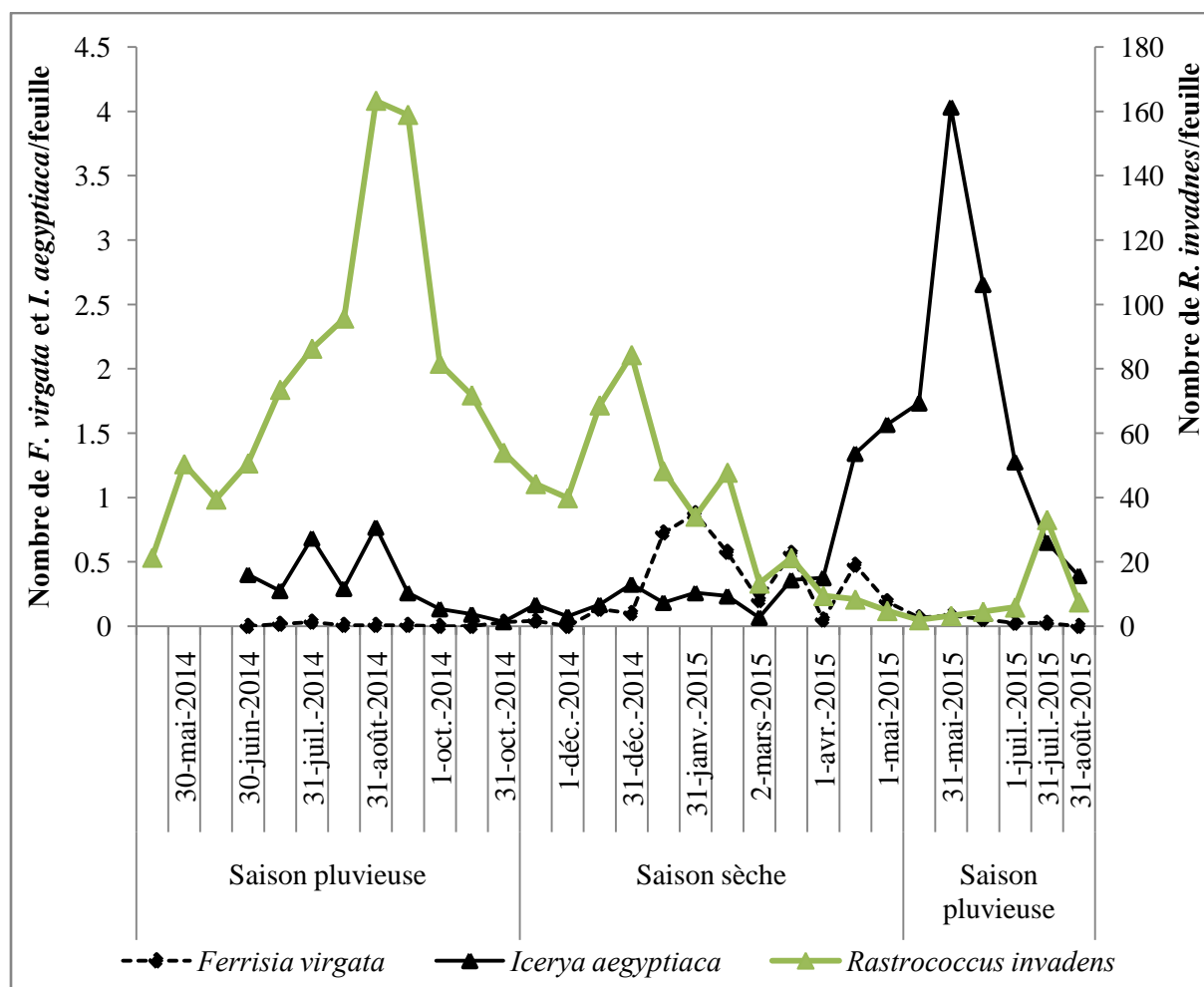


Figure 18 : Évolution des populations des trois espèces de cochenilles farineuses (*Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca* et *Rastrococcus invadens*) sur le site de Orodara au cours de la période de mai 2014 à août 2015

2.1.3. Sur le site de Toussiana

Rastrococcus invadens a été plus présente à Toussiana en saison pluvieuse avec en moyenne 12 à 132 individus/feuille, suivie de *I. aegyptiaca* (0,04 à 0,5 individus/feuille) puis de *F. virgata* (0 à 0,23 individus/feuille) (Figure 19). *Rastrococcus invadens* a présenté des pics d'abondance en fin-mai, fin-juin, fin-août 2014 et en fin juillet 2015. Ceux de *I. aegyptiaca* ont été observés en fin juillet et mi-septembre 2014 et en mi-mai 2015. La densité des populations de *R. invadens* et celle de *I. aegyptiaca* ont baissé en saison sèche contrairement à celle de *F. virgata*. Mais *R. invadens* a demeuré prédominante avec en moyenne 11 à 49 individus/feuille contre 0,1 à 1,2 pour *F. virgata* et 0,03 à 0,14 pour *I. aegyptiaca*. Les pics d'abondance de *R. invadens* ont été observés en fin-janvier et mi-mars 2015. Ceux de *F. virgata* ont été observés en mi-novembre 2014, mi-janvier, fin février et mi-avril 2015.

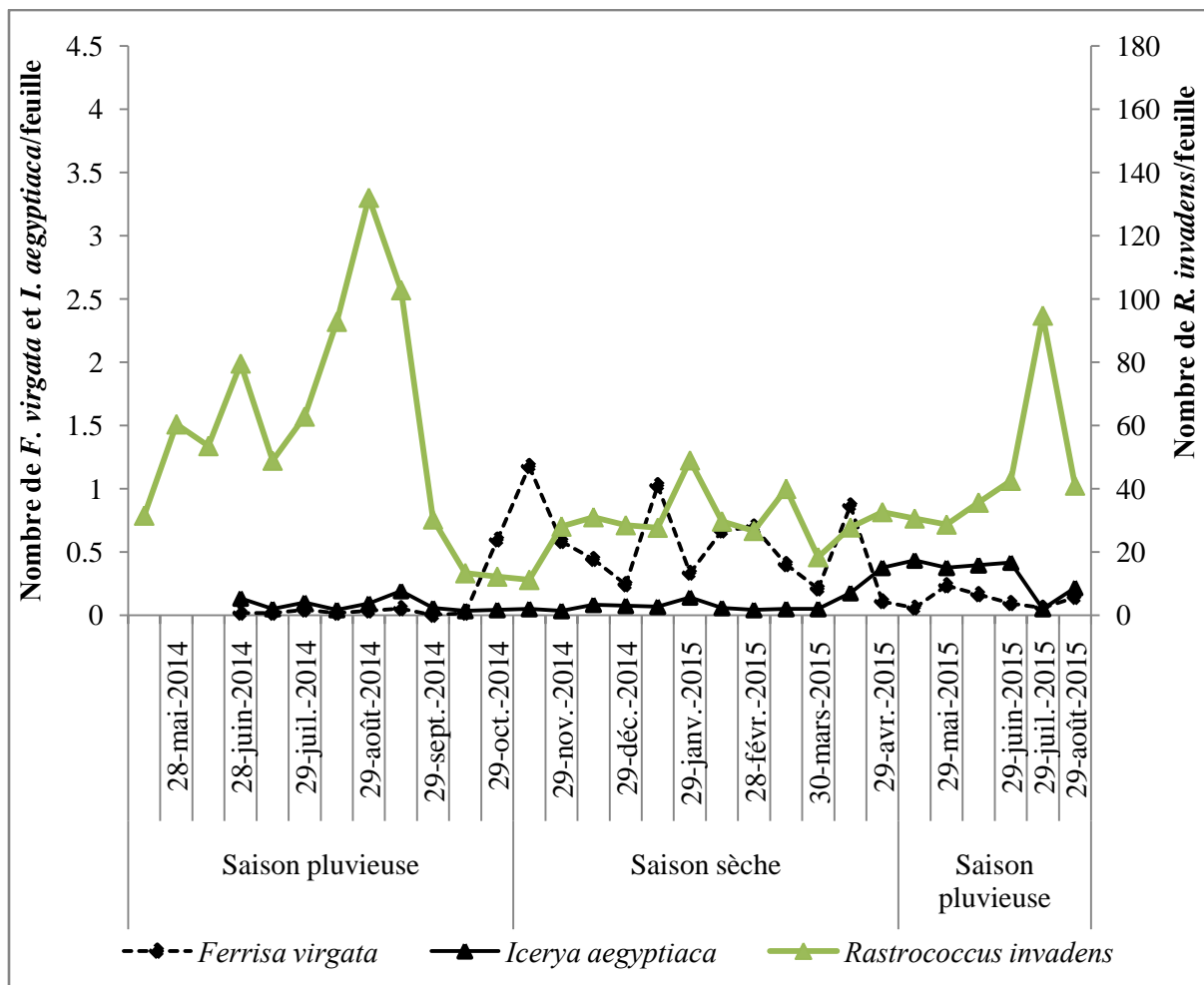


Figure 19 : Évolution des populations des trois espèces de cochenilles farineuses (*Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca* et *Rastrococcus invadens*) sur le site de Toussiana au cours de la période de mai 2014 à août 2015

2.2. Importance du taux de couverture des feuilles du manguier *Mangifera indica* L. par la fumagine sur les sites d'étude

Le taux moyen de couverture foliaire par la fumagine a connu une augmentation progressive sur les sites de Bérégadougou et de Orodara de mai à septembre 2014. Ce phénomène s'est poursuivi jusqu'en octobre 2014 sur le site de Toussiana (Figure 20).

En saison pluvieuse 2014, il a été noté de mai à juillet 2014 un taux moyen de couverture compris entre 2 (25-50%) et 3 (50-75%) sur le site de Toussiana. À partir du mois d'août jusqu'en octobre 2014, le taux moyen mensuel de couverture a varié entre 3 et 4 (75-100%). Ce taux de couverture a connu une baisse en saison sèche. Les notes sont passées de 3 à 2 en novembre 2014 puis de 2 à 1 (1-25%) de décembre 2014 à mai 2015. Après cette période, les notes ont augmenté progressivement de juin à août 2015. Elles ont varié de 2 à 4.

Sur le site de Orodara, le taux moyen mensuel de couverture a évolué de 1 à 2 entre mai et juillet 2014. Des notes de 2 à 3 ont été décelées à partir du mois d'août 2014 jusqu'en octobre

2014. La même tendance a été observée en saison sèche (novembre 2014-avril 2015). En saison pluvieuse 2015 (mai à août 2015), les notes étaient comprises entre 1 et 2.

Sur le site de Bérégadougou, les notes ont varié entre 1 et 2 en mai et juin 2014. Elles ont varié entre 2 et 3 de juillet jusqu'au premier mois de la saison sèche (novembre) 2014. Le taux de couverture des feuilles par la fumagine est resté faible en saison sèche (décembre 2014-avril 2015) en présentant des notes comprises entre 1 et 2. Les mêmes notes ont été observées en saison pluvieuse 2015 (mai à août).

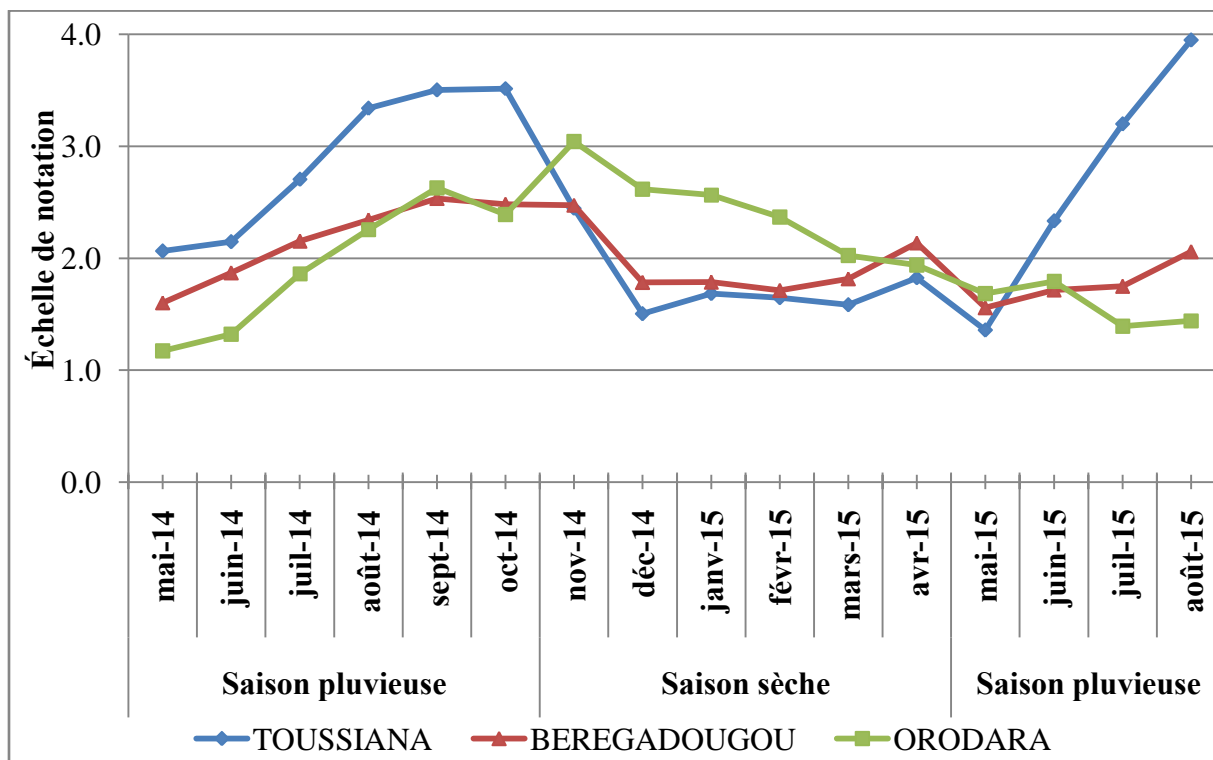


Figure 20 : Variations du taux de couverture des feuilles de manguiers *Mangifera indica* L. par la fumagine sur les sites de Toussiana, Orodara et Bérégadougou au cours de la période de mai 2014 à août 2015

2.3. Effet des facteurs abiotiques sur le taux de couverture des feuilles par la fumagine

Le taux de couverture des feuilles par la fumagine a été significativement ($P < 0,0001$) influencé par la température, l'hygrométrie et la pluviométrie (Tableau IX). Il a été significativement et positivement ($0,196 \leq r \leq 0,389$) corrélé avec les populations de *R. invadens*, la pluviométrie et l'hygrométrie au seuil de probabilité de 1%. Une corrélation significative et négative ($r = -0,319$) a été observée entre le taux de couverture et la température.

Tableau IX : Effet des facteurs abiotiques sur le taux de couverture foliaire par la fumagine

Source	Variable dépendante	ddl	F	Signification
Pluviométrie	Dégâts	1	13,656	<0,0001
Température	Dégâts	1	32,426	<0,0001
Hygrométrie	Dégâts	1	63,224	<0,0001
Localités	Dégâts	2	3,555	0,029

ddl : degré de liberté, F : rapport de la somme des carrés moyens inter et intra-groupes

2.4. Effet des facteurs abiotiques sur les populations de *Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca* et *Rastrococcus invadens* dans les sites d'étude

Sur la base des données climatiques collectées sur les 3 sites d'étude et des analyses statistiques réalisées, il ressort que la température, l'humidité relative, la pluviométrie et les sites d'étude ont eu un effet significatif ($P < 0,0001$) sur les populations de *R. invadens*, *F. virgata* et *I. aegyptiaca*. Les analyses ont révélé que la température a affecté significativement ($P < 0,0001$) les populations de *R. invadens* et celles de *I. aegyptiaca* (Tableau X). L'effet de ce facteur abiotique n'a pas été significatif ($P = 0,605$) sur les populations de *F. virgata*. Selon la loi de Pearson, la température a été positivement et significativement corrélée avec la densité de *F. virgata* et de *I. aegyptiaca* (Tableau XI). Ce facteur abiotique a été négativement corrélé avec *R. invadens* avec un coefficient de corrélation significatif ($r = -0,481$). L'effet de l'humidité relative a été seulement significatif sur les populations de *F. virgata* ($P < 0,0001$) et de *I. aegyptiaca* ($P = 0,037$). Seules les populations de *F. virgata* et de *R. invadens* ont été significativement corrélées avec ce facteur abiotique. Le coefficient de corrélation était négatif ($r = -0,444$) pour *F. virgata* et positif ($r = 0,304$) pour *R. invadens*. Contrairement aux populations de *F. virgata* et de *I. aegyptiaca*, celles de *R. invadens* ont été significativement ($P < 0,0001$) affectées par la pluviométrie. Cette dernière a été significativement corrélée avec *F. virgata* et *R. invadens*. Le coefficient de corrélation a été respectivement négatif ($r = -0,328$) et positif ($r = 0,451$) pour ces deux espèces. Les sites d'étude ont également eu un effet significatif ($0,016 \leq P < 0,0001$) sur les populations des trois espèces. Une corrélation significative et négative a été observée entre *I. aegyptiaca* et *R. invadens*.

Tableau X : Résultats des analyses montrant l'effet des facteurs abiotiques sur les populations des cochenilles du manguier à l'Ouest du Burkina Faso

Source	Variable dépendante	ddl	F	Signification
Température	<i>Rastrococcus invadens</i>	1	74,515	<0,0001
	<i>Ferrisia virgata</i>	1	0,268	0,605
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	1	29,854	<0,0001
Hygrométrie	<i>Rastrococcus invadens</i>	1	0,786	0,376
	<i>Ferrisia virgata</i>	1	50,800	<0,0001
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	1	5,357	0,021
Pluviométrie	<i>Rastrococcus invadens</i>	1	43,197	<0,0001
	<i>Ferrisia virgata</i>	1	0,013	0,908
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	1	0,058	0,809
Localités	<i>Rastrococcus invadens</i>	2	29,582	<0,0001
	<i>Ferrisia virgata</i>	2	4,183	0,016
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	2	23,440	<0,0001

ddl : degré de liberté, F : rapport de la somme des carrés moyens inter et intra-groupes

Tableau XI : Niveau de corrélation entre les populations de *Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca*, *Rastrococcus invadens* et les facteurs abiotiques à l'Ouest du Burkina Faso

Variables	<i>R. invadens</i>	Température	Hygrométrie	Pluviométrie	<i>F. virgata</i>	<i>I. aegyptiaca</i>
<i>R. invadens</i>	1					
Température	-0,481**	1				
Hygrométrie	0,304**	-0,287**	1			
Pluviométrie	0,451**	-0,377**	0,684**	1		
<i>F. virgata</i>	-0,075	0,152**	-0,444**	-0,328**	1	
<i>I. aegyptiaca</i>	-0,180**	0,229**	0,058	0,018	-0,023	1

** . La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

III. DISCUSSION

3.1. Fluctuation des populations de *Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca* et *Rastrococcus invadens*

La période d'abondance des populations de *F. virgata* était alternée avec celle de *R. invadens* et de *I. aegyptiaca* dans tous les sites d'étude. Elle a été observée en saison sèche (novembre-avril) tandis que celles de *R. invadens* et de *I. aegyptiaca* se sont étalées de mai à octobre (saison pluvieuse). *Rastrococcus invadens* demeure plus présente que *F. virgata* et *I. aegyptiaca* durant la saison sèche et la saison pluvieuse. La période d'abondance de *R. invadens* établie par cette étude a été également rapportée par HALA *et al.* (2011) au Nord de la Côte-d'Ivoire où les conditions climatiques sont proches de celles de notre zone d'étude. En revanche, au sud du Bénin où le climat est de type bimodal, les plus fortes densités du ravageur ont été observées durant la saison sèche (BOAVIDA et NEUENSCHWANDER, 1995).

3.2. Évolution du taux de couverture foliaire par la fumagine

Sur les sites d'étude, le taux de couverture foliaire a connu une augmentation en saison pluvieuse (de mai à octobre). La température, l'humidité relative et la pluviométrie ont affecté significativement le taux de couverture foliaire. Ce paramètre a été positivement et significativement corrélé à la densité des cochenilles, à l'humidité relative et à la pluviométrie. En effet, l'humidité relative et la densité des cochenilles sont élevées en saison pluvieuse. L'augmentation des cochenilles à cette période engendrerait une forte accumulation du miellat sur lequel le fort taux d'humidité relative favorise la croissance du champignon à l'origine de la fumagine. Par contre, le taux de couverture a baissé de façon continue en saison sèche (à partir de novembre jusqu'en mai) liée probablement à l'augmentation de la température, au faible taux d'humidité relative et à la faible densité des cochenilles sur les feuilles. À cette période intervient également le renouvellement des feuilles des manguiers. Ce renouvellement engendre une réduction des notes de l'échelle établie pour caractériser le taux de couverture des feuilles par la fumagine. Nos résultats sont similaires à ceux de PITAN *et al.* (2002) qui ont également observé une corrélation positive entre le taux de couverture foliaire par la fumagine et la densité des cochenilles. Ces auteurs ont lié la baisse du taux de couverture à celle de la densité des cochenilles à la suite des lâchers du parasitoïde *G. tebygi*.

3.3. Effet des facteurs abiotiques sur la densité des cochenilles

La température et l'humidité relative ont eu un effet significatif sur les populations de *I. aegyptiaca* et de *F. virgata*. Par contre, c'est la température et la pluviométrie qui ont significativement affecté la dynamique des populations de *R. invadens*. Une corrélation significative et positive a été observée entre la pluviométrie et les populations de *R. invadens*. L'effet inverse a été observé avec la température. Ces résultats corroborent ceux de HALA *et al.* (2011) sur la base d'une étude similaire sur *R. invadens* conduite au Nord de la Côte-d'Ivoire. L'effet de la température sur *R. invadens* a été aussi mis en évidence par KEMABONTA et ODEBIYI (2002) qui ont observé au laboratoire une baisse de la fécondité de la cochenille lorsque la température dépassait 30°C. Par ailleurs, ils ont conclu que les températures comprises entre 20 et 30°C étaient favorables au développement de l'insecte. De plus, en milieu naturel, SAHOO et GHOSH (2000) ont également observé une fécondité élevée de la cochenille en septembre ; période durant laquelle la température a varié entre 26 et 30°C et l'humidité relative de 82 à 90%. Cette tendance a été observée en périodes pluvieuses dans notre zone d'étude. L'humidité relative a été positivement et

significativement corrélée avec *R. invadens* et *I. aegyptiaca*. L'effet positif observé expliquerait donc que l'augmentation de l'humidité relative induit une fécondité élevée chez l'insecte. Chez la cochenille farineuse du manioc, *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero, OBAME (2009) a observé une augmentation du nombre d'œufs pondus à des hygrométries croissantes (60, 65 et 95% respectivement) avec une température fixée à 27°C. Dans une étude antérieure, Le RÜ et FABRES (1987) ont rapporté que les valeurs extrêmes de l'humidité relative causent une forte mortalité des stades larvaires chez *P. manihoti*.

CONCLUSION PARTIELLE

La présente étude conduite à Bérégadougou, Orodara et Toussiana a permis de situer les périodes d'abondance des trois espèces de cochenilles farineuses (*F. virgata*, *I. aegyptiaca* et *R. invadens*) répertoriées au Burkina Faso. En effet, *F. virgata* abonde en saison sèche (novembre-octobre) tandis que *I. aegyptiaca* et *R. invadens* abondent en périodes pluvieuses (mai-octobre) sur tous les sites d'étude. Par ailleurs, les populations de *R. invadens* étaient plus abondantes que celles de *F. viragta* et de *I. aegyptiaca* sur toute la période de l'étude. La fluctuation des populations de ces cochenilles a été significativement affectée par la température, l'humidité relative et la pluviométrie. Le niveau de dégâts représenté par le taux de couverture foliaire par la fumagine a été plus élevé en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Il était significativement influencé par la densité des cochenilles et les facteurs abiotiques du milieu. Le chapitre V étudie la fluctuation des populations des parasitoïdes (facteurs abiotiques) associés à la cochenille farineuse du manguier.

CHAPITRE V : FLUCTUATION DES POPULATIONS DES PARASITOÏDES DE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

INTRODUCTION

Les populations de la cochenille farineuse du manguier ont été mises sous contrôle biologique en Afrique à travers les lâchers des parasitoïdes *Gyranusoidea tebygi* et *Anagyrus mangicola*. Ces lâchers ont été faits sur plusieurs années pour couvrir les zones Ouest et Centre du continent (NEUENSCHWANDER *et al.*, 1994). Les populations de ces parasitoïdes ont été suivies afin de mesurer l'impact des lâchers sur les populations de *R. invadens*. En effet, les travaux de NEUENSCHWANDER *et al.* (1994) ont montré que les lâchers effectués dans plusieurs pays ont été relayés par une très bonne capacité de dispersion de *G. tebygi*. L'auteur rapporte également que *G. tebygi* s'est établi dans toutes les zones infestées par la cochenille. Au Togo et au Bénin, AGRICOLA et FISCHER (1991) et BOAVIDA *et al.* (1995) ont rapporté des extinctions de populations de la cochenille suite aux lâchers de *G. tebygi*. De même, l'introduction de *A. mangicola* au Bénin a permis de renforcer le contrôle exercé par *G. tebygi* sur les populations de *R. invadens* (BOKONON-GANTA et NEUENSCHWANDER, 1995 ; BOKONON-GANTA *et al.*, 2002). Des études menées sur les deux parasitoïdes au Nigéria ont également montré une réduction considérable des populations du ravageur (PITAN *et al.*, 2000). Dans les pays non couverts par les lâchers, les populations du ravageur n'ont cessé de croître d'une année à une autre malgré la présence des deux parasitoïdes (HALA *et al.*, 2004). La dynamique des populations de *G. tebygi* et *A. mangicola* a été étudiée dans certains de ces pays afin d'apprécier leur niveau de parasitisme et de suggérer des possibilités de lutte durable contre *R. invadens* (MATOKOT *et al.*, 1992 ; HALA *et al.*, 2011). La situation au Burkina Faso se résume en l'existence de ces parasitoïdes dans l'aire de distribution du ravageur (DAKOUO *et al.*, 2011). La présente étude a eu pour objectif d'évaluer le niveau de parasitisme exercé par *G. tebygi* et *A. mangicola* et de déterminer leurs périodes d'abondance sur *R. invadens*. Elle prend également en compte les hyperparasitoïdes qui sont associés à ces parasitoïdes.

I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE

La fluctuation des populations des parasitoïdes a été également étudiée dans les localités de Bérégadougou, Orodara et Toussiana. Les observations ont été faites sur les feuilles échantillonnées pour évaluer la dynamique des populations des cochenilles. Au total, 360 feuilles (20 feuilles/arbre) étaient prélevées sur 18 arbres selon une fréquence de 15 ± 1 jours. Le nombre de cochenilles parasitées a été évalué sur l'ensemble des feuilles collectées. À l'issue de ces observations, les cochenilles parasitées ont été mises en incubation dans des flacons en plastique. Les feuilles quant à elles ont été incubées dans des enveloppes en papier "Kraft" de format A4 (une enveloppe par arbre) pour permettre aux cochenilles nouvellement parasitées de boucler leur cycle de développement.

II. RÉSULTATS

2.1. Fluctuation de la densité des cochenilles parasitées et du taux de parasitisme

2.1.1. Sur le site de Bérégadougou

Sur le site de Bérégadougou, le nombre moyen de cochenilles parasitées a varié de 0,4 à 5,5 individus/feuille en saison pluvieuse (mai-Octobre) en 2014. Ces valeurs représentaient un taux de parasitisme de 2,6 à 8,6% présentant un pic d'abondance en fin juin 2014 (Figure 21). En saison pluvieuse 2015 (mai-septembre), il a été noté 0,025 à 3,5 cochenilles parasitées/feuille correspondant à un taux de parasitisme de 0,6 à 10,2%. En saison sèche (novembre 2014-avril 2015), il a été observé 0,2 à 1,4 cochenille parasitée/feuille soit un taux de parasitisme de 2,5 à 6,8%. Des pics d'abondance ont été observés en mi-décembre 2014, mi-janvier et mi-avril 2015.

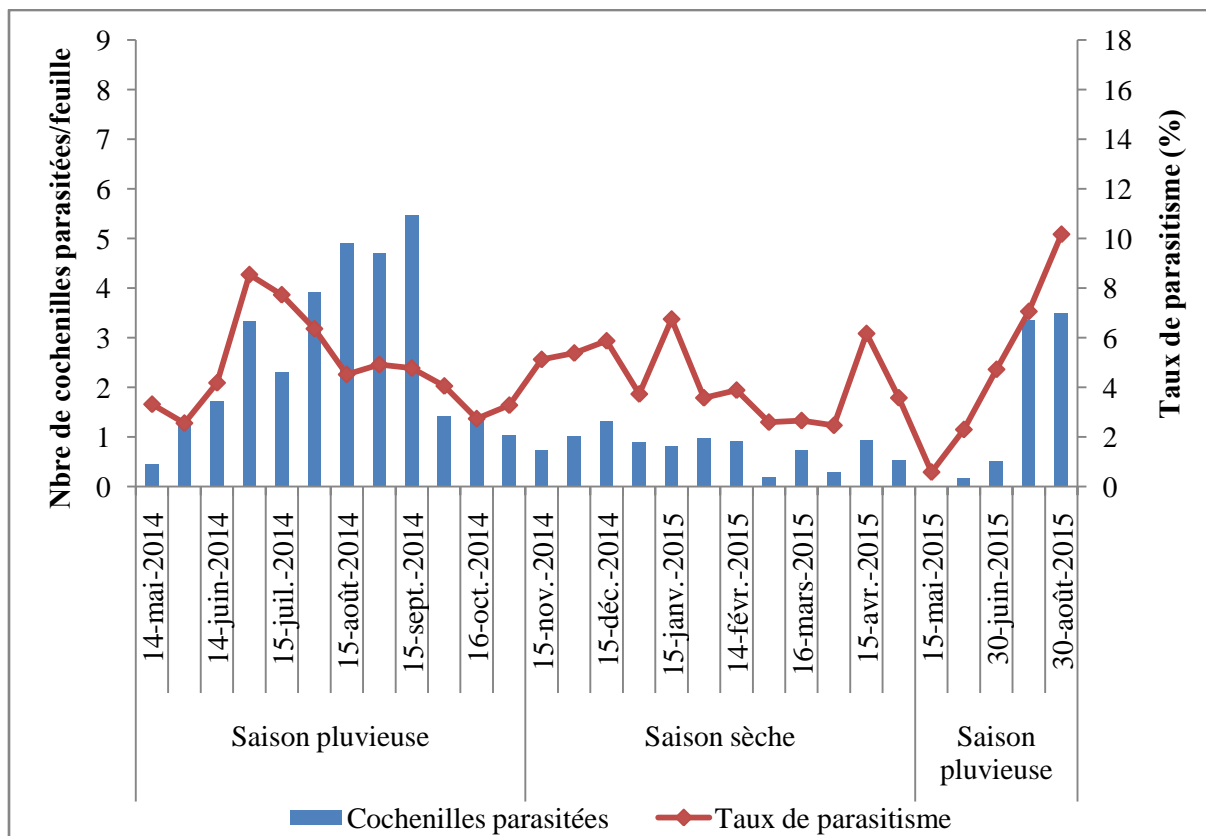


Figure 21 : Évolution de la densité des cochenilles parasitées et du taux de parasitisme sur le site de Bérégadougou au cours de la période de mai 2014 à août 2015

2.1.2. Sur le site de Orodara

Sur le site de Orodara, il a été observé en moyenne 0,75 à 6,5 cochenilles parasitées/feuille en saison pluvieuse 2014 (Figure 22). Le taux de parasitisme a varié entre 1,7 et 7% autour de deux pics d'abondance observés en fin juin et fin juillet 2014. En saison pluvieuse 2015, il a été observé 0,2 à 2,15 cochenilles parasitées/feuille. Ceci correspondait à un taux de parasitisme de 3 à 17,10%. En revanche, il a été noté 0,22 à 2,2 cochenilles parasitées/feuille en saison sèche ; ce qui représentait un taux de parasitisme de 2 à 5,7%. Des pics d'abondance ont été observés en fin novembre 2014, fin-janvier, mi-mars et mi-avril 2015.

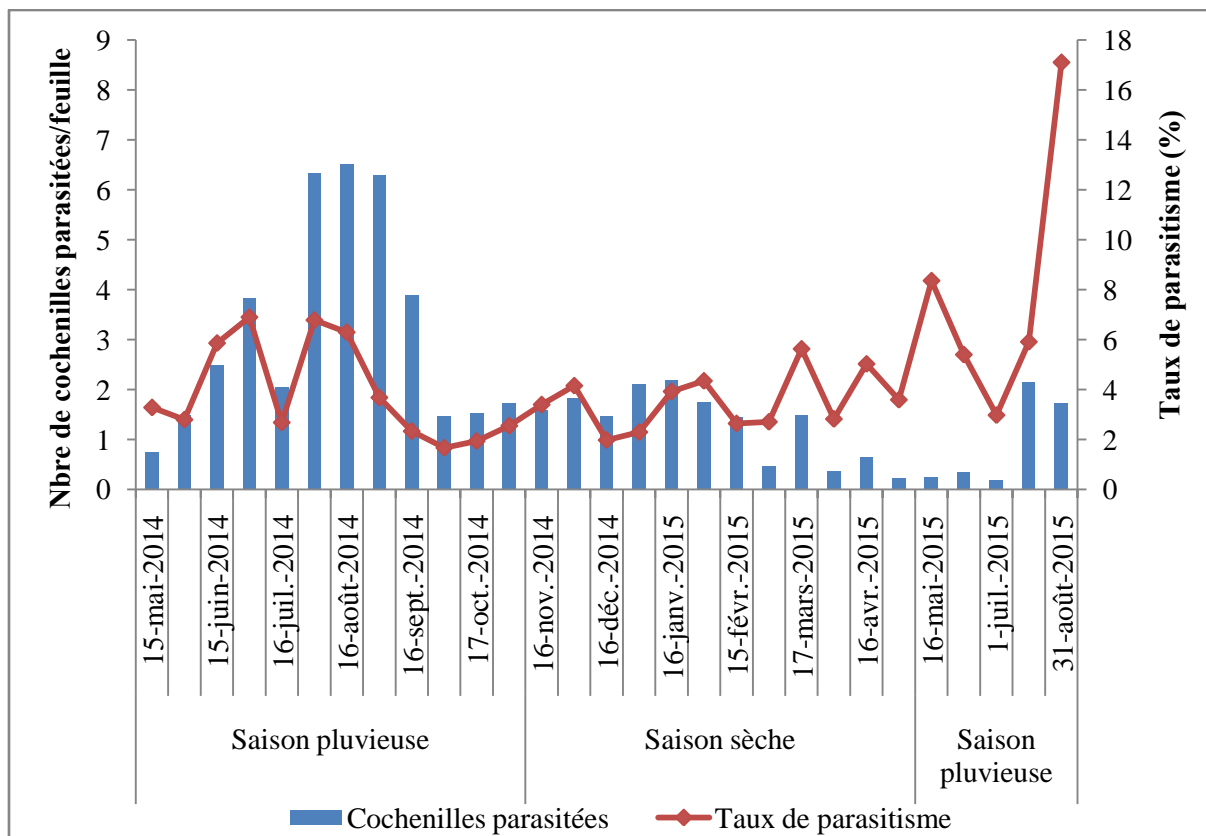


Figure 22 : Évolution de la densité des cochenilles parasitées et du taux de parasitisme sur le site de Orodara au cours de la période de mai 2014 à août 2015

2.1.3. Sur le site de Toussiana

Sur le site de Toussiana, il a été observé 0,85 à 3,7 cochenilles parasitées/feuille en saison pluvieuse de l'année 2014 (Figure 23). Le taux de parasitisme était compris entre 1,41 et 7,1%. Un pic est apparu en mi-juin 2014. En saison pluvieuse 2015, il a été noté 1,6 à 7,9 cochenilles parasitées/feuille correspondant à un taux de parasitisme de 4,3 à 10,6%. En saison sèche, le nombre de cochenilles parasitées a fluctué entre 1,06 et 1,92/feuille ; correspondant à un taux de parasitisme de 2,9 à 8,8%. Des pics ont été décelés en mi-novembre 2014, mi-janvier, fin-février et mi-avril 2015.

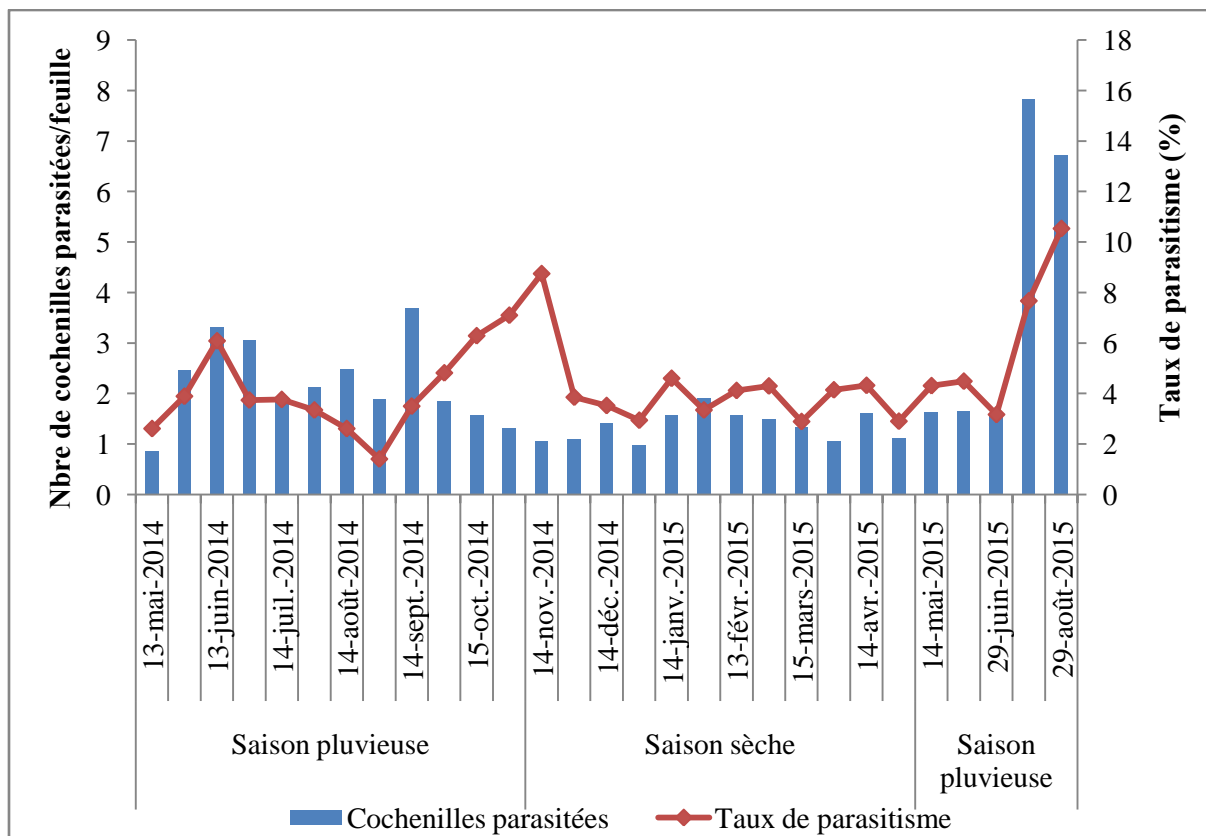


Figure 23 : Évolution de la densité des cochenilles parasitées et du taux de parasitisme sur le site de Toussiana au cours de la période de mai 2014 à août 2015

2.2. Fluctuation des populations des parasitoïdes et des hyper parasitoïdes

2.2.1. Sur le site de Bérégadougou

Durant la saison pluvieuse 2014 (mai-octobre), il a été observé en moyenne 1 à 8 individus de *A. mangicola* contre 1 à 10 individus de *G. tebygi* (Figure 24). Les pics d'abondance de ces 2 parasitoïdes ont été décelés en fin juin, mi-août et mi-septembre. En saison pluvieuse 2015 (mai-octobre), il a été observé 0 à 2 individus pour *A. mangicola* contre 1 à 4 individus pour *G. tebygi*. Ces 2 parasitoïdes ont présenté chacun un pic d'abondance en fin juillet. En saison sèche (novembre 2014-avril 2015), le nombre de parasitoïdes émergés a varié entre 0 et 4 individus pour *A. mangicola* et entre 1 et 6 individus pour *G. tebygi*. Les pics d'abondance ont été observés en mi-décembre 2014, mi-février et fin-mars 2015.

Les populations des parasitoïdes primaires étaient généralement plus abondantes que celles des hyper parasitoïdes aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison sèche. En moyenne, 2 à 15 parasitoïdes primaires contre 1 à 4 parasitoïdes secondaires ont été dénombrés en saison pluvieuse 2014 (Figure 25). Les pics d'abondance ont été observés en fin-juin, mi-août et mi-septembre 2014. En saison pluvieuse 2015 il a été noté en moyenne 1 à 5 parasitoïdes primaires contre 1 à 9 parasitoïdes secondaires. Un seul pic d'abondance a été observé en fin

juillet 2015 pour ces 2 types de parasitoïdes. En saison sèche, les populations des parasitoïdes primaires ont fluctué en moyenne entre 1 à 9 individus. Celles des hyper parasitoïdes ont fluctué entre 1 à 11 individus. Deux pics d'abondance ont été observés en mi-décembre 2014 et mi-avril 2015.

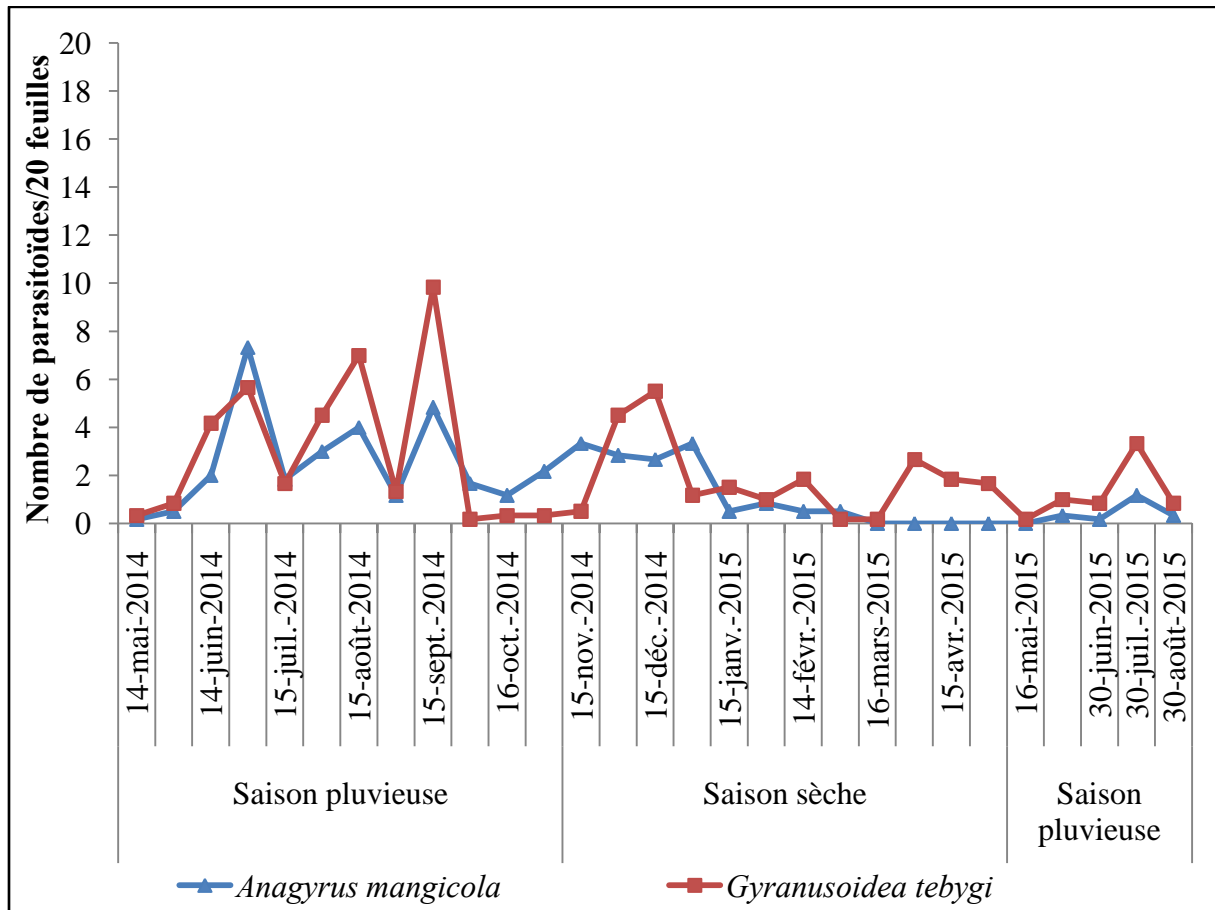


Figure 24 : Évolution des populations des parasitoïdes primaires *Anagyrus mangicola* et *Gyranusoidea tebygi* sur le site de Bérégadougou au cours de la période de mai 2014 à août 2015

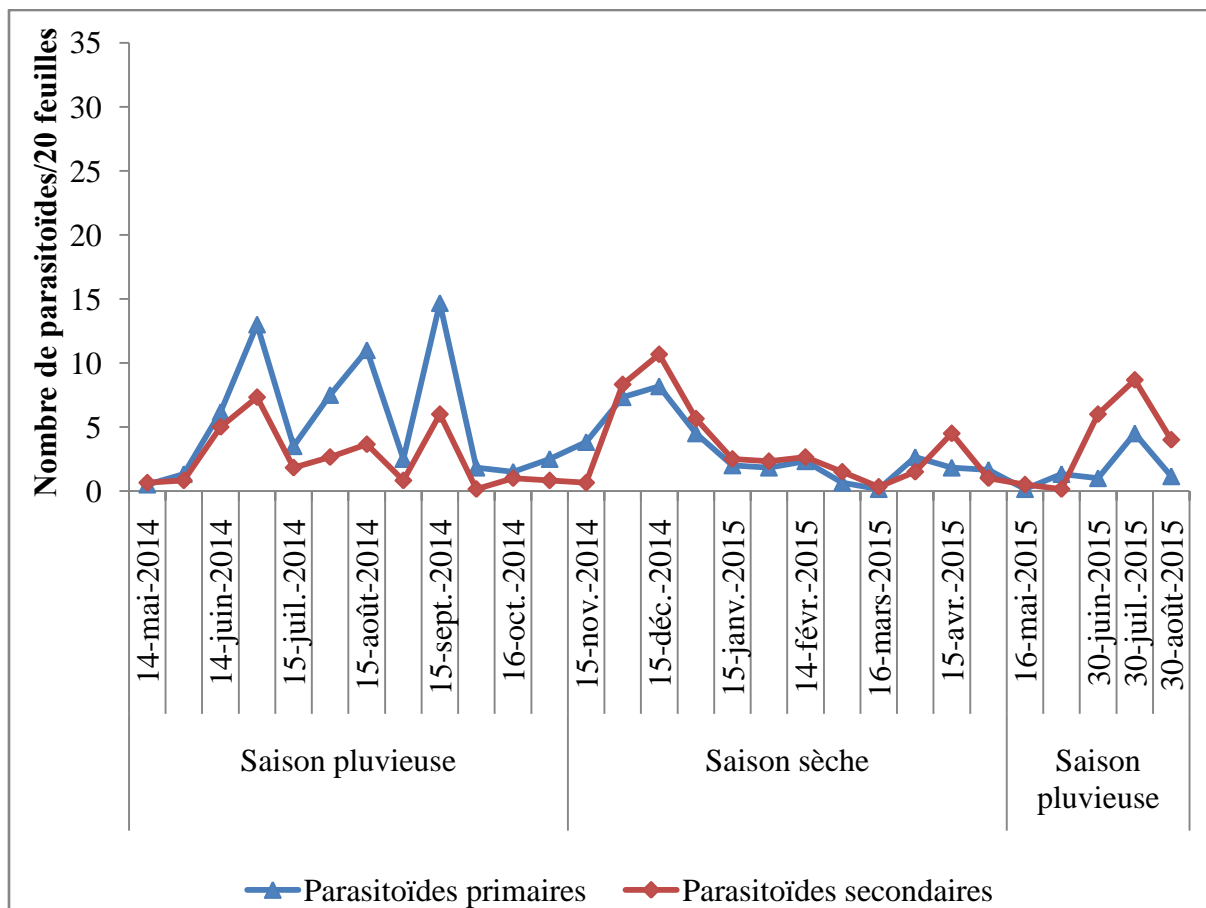


Figure 25 : Évolution des populations des parasitoïdes primaires et secondaires de *Rastrococcus invadens* sur le site de Bérégaougou au cours de la période de mai 2014 à août 2015

2.2.2. Sur le site d'Orodara

Pendant la saison pluvieuse 2014 (mai-octobre), il a été noté en moyenne 2 à 8 individus de *A. mangicola* contre 3 à 20 individus de *G. tebygi* sur le site de Orodara (Figure 26). Les pics d'abondance sont survenus en fin-mai, mi-juin, fin-juillet, fin-septembre et fin-octobre. En saison pluvieuse 2015 (mai-août), le nombre de parasitoïdes a varié de 0 à 2 individus pour *A. mangicola* et 0 à 15 individus pour *G. tebygi*. Un pic d'abondance a été observé en fin juillet pour ces 2 parasitoïdes. En moyenne 0 à 9 individus de *A. mangicola* contre 0 à 5 individus de *G. tebygi* ont été dénombrés en saison sèche (novembre 2014-avril 2015) avec un pic d'abondance observé en fin novembre. Les populations des 2 parasitoïdes étaient à un niveau très faible (0 à 1 individu) entre février et avril 2015.

De façon générale, les populations des parasitoïdes primaires étaient plus abondantes que celles des hyper parasitoïdes sur toute la période de l'étude (Figure 27). En saison pluvieuse 2014, il a été observé en moyenne 6 à 27 parasitoïdes primaires. Sur la même période, les parasitoïdes secondaires étaient présents avec 1 à 30 individus. Des pics d'abondance ont été observés en mi-juin, fin-juillet, fin-septembre et fin-octobre 2014. En saison pluvieuse 2015,

il a été noté en moyenne 1 à 17 parasitoïdes primaires contre 1 à 11 parasitoïdes secondaires. Un seul pic d'abondance a été décelé en fin-juillet 2015 pour ces 2 types de parasitoïdes. En saison sèche, les populations des parasitoïdes primaires ont fluctué en moyenne entre 0 à 13 individus, celles des parasitoïdes secondaires entre 0 à 10 individus. Un pic d'abondance a été observé en fin novembre et mi-décembre 2014 respectivement pour les parasitoïdes primaires et secondaires.

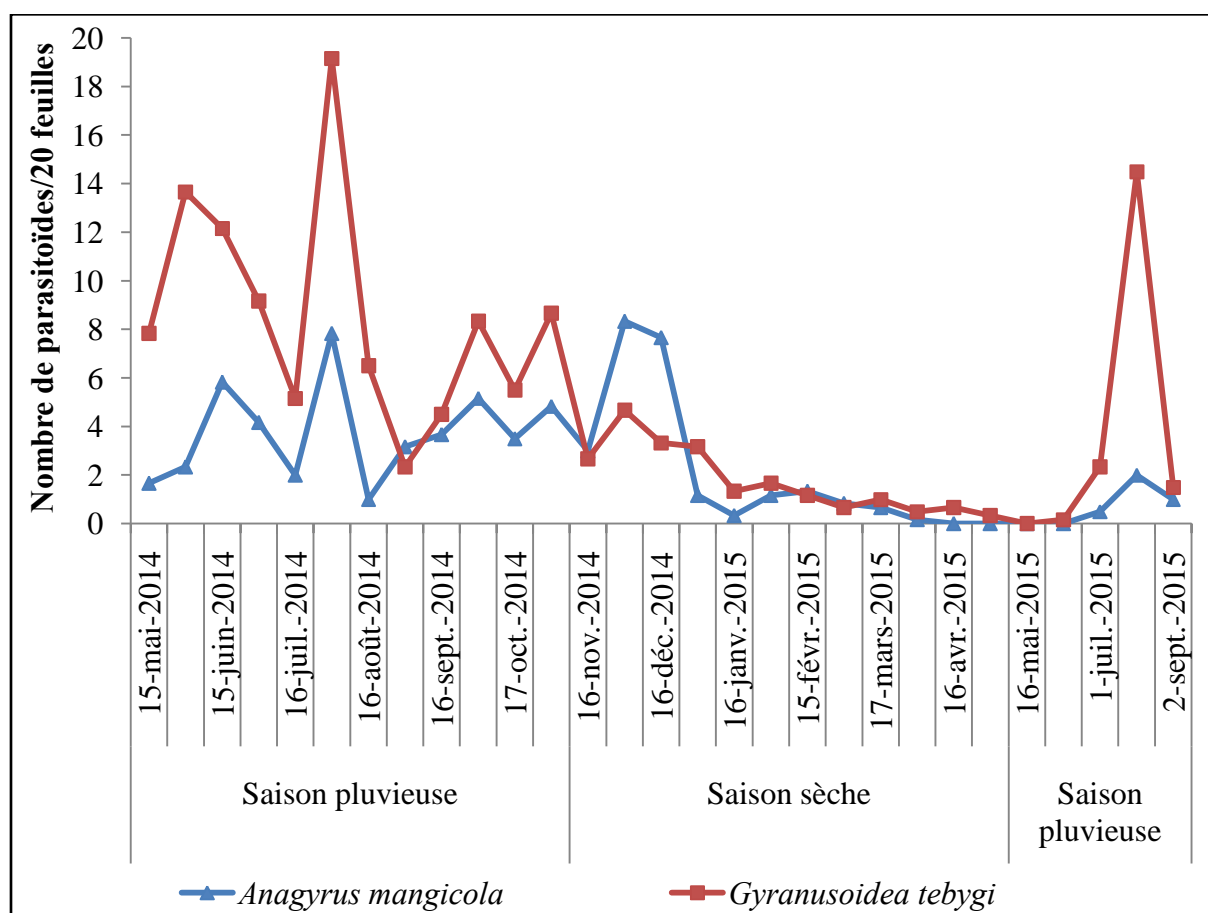


Figure 26 : Évolution des populations des parasitoïdes primaires *Anagyrus mangicola* et *Gyranusoidea tebygi* sur le site de Orodara au cours de la période de mai 2014 à août 2015

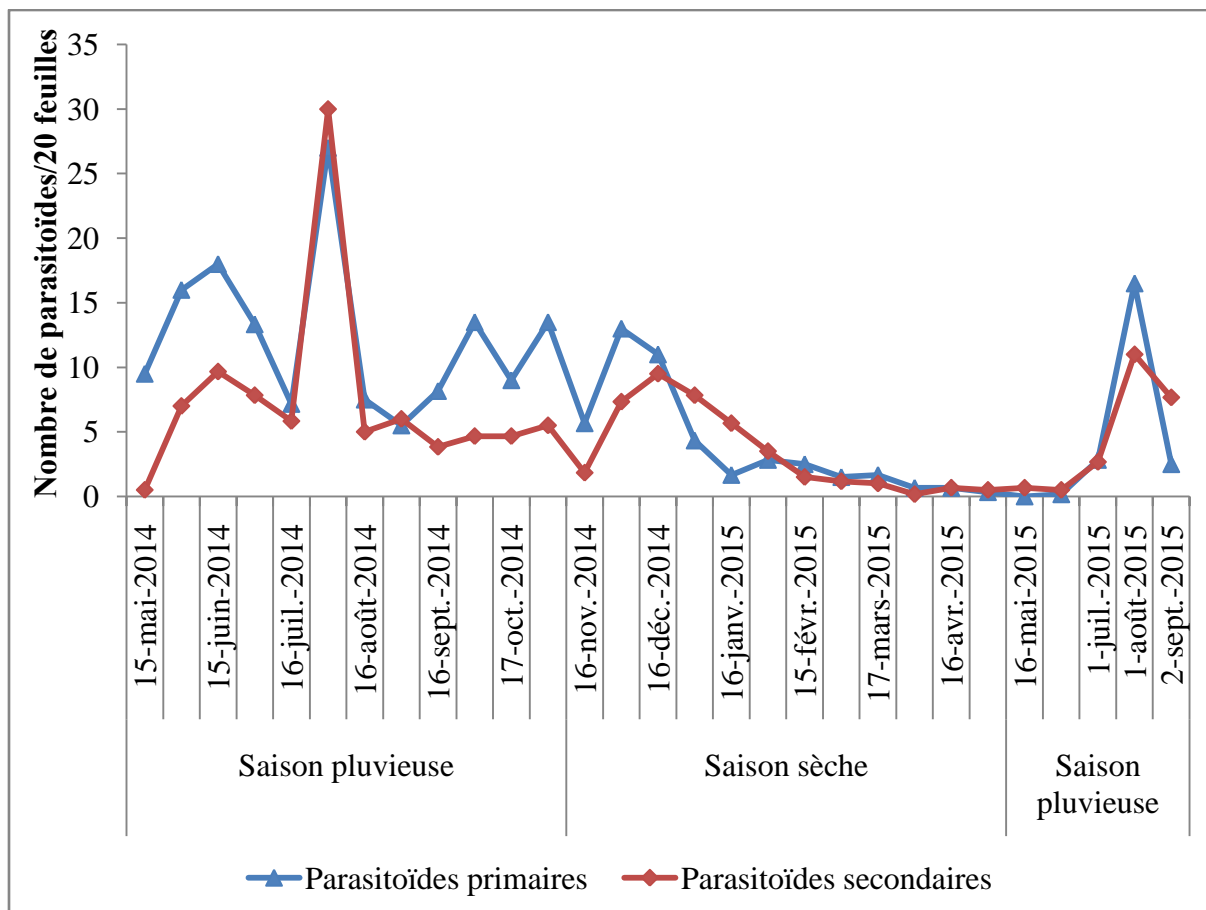


Figure 27 : Évolution des populations des parasitoïdes primaires et secondaires de *Ratrocooccus invadens* sur le site de Orodara au cours de la période de mai 2014 à août 2015

2.2.3. Sur le site de Toussiana

Sur le site de Toussiana, les populations des parasitoïdes ont varié en moyenne de 1 à 7 individus de *A. mangicola* et de 2 à 19 individus de *G. tebygi* en saison pluvieuse (mai-octobre) de l'année 2014. Des pics d'abondance ont été observés en fin-mai, fin-juin et fin-septembre (Figure 28). En saison pluvieuse 2015 (mai-août), les populations des 2 parasitoïdes ont fluctué entre 1 et 6 individus de *A. mangicola* et 1 et 12 individus de *G. tebygi*. Un pic d'abondance a été observé en fin-juillet pour chacun des 2 parasitoïdes. Il a été dénombré entre 1 à 8 individus de *A. mangicola* et 1 à 4 de *G. tebygi* en saison sèche (novembre 2014-avril 2015). Un pic d'abondance a été noté en fin décembre 2014.

Les populations des parasitoïdes primaires ont été généralement plus importantes que celles des hyper-parasitoïdes. Il a été observé en moyenne 1 à 25 individus pour les parasitoïdes primaires contre 0 à 11 individus pour les parasitoïdes secondaires en saison pluvieuse 2014. Les pics d'abondance ont été observés en fin-mai, mi-juin et fin-septembre 2014 (Figure 29). En saison pluvieuse 2015, il a été observé en moyenne 3 à 18 individus pour les parasitoïdes primaires contre 1 à 21 individus pour les parasitoïdes secondaires. En saison sèche, les

populations des parasitoïdes primaires et secondaires ont évolué entre 1 et 10 individus. Les pics d'abondance ont été observés en fin novembre et fin décembre 2014 (Figure 29).

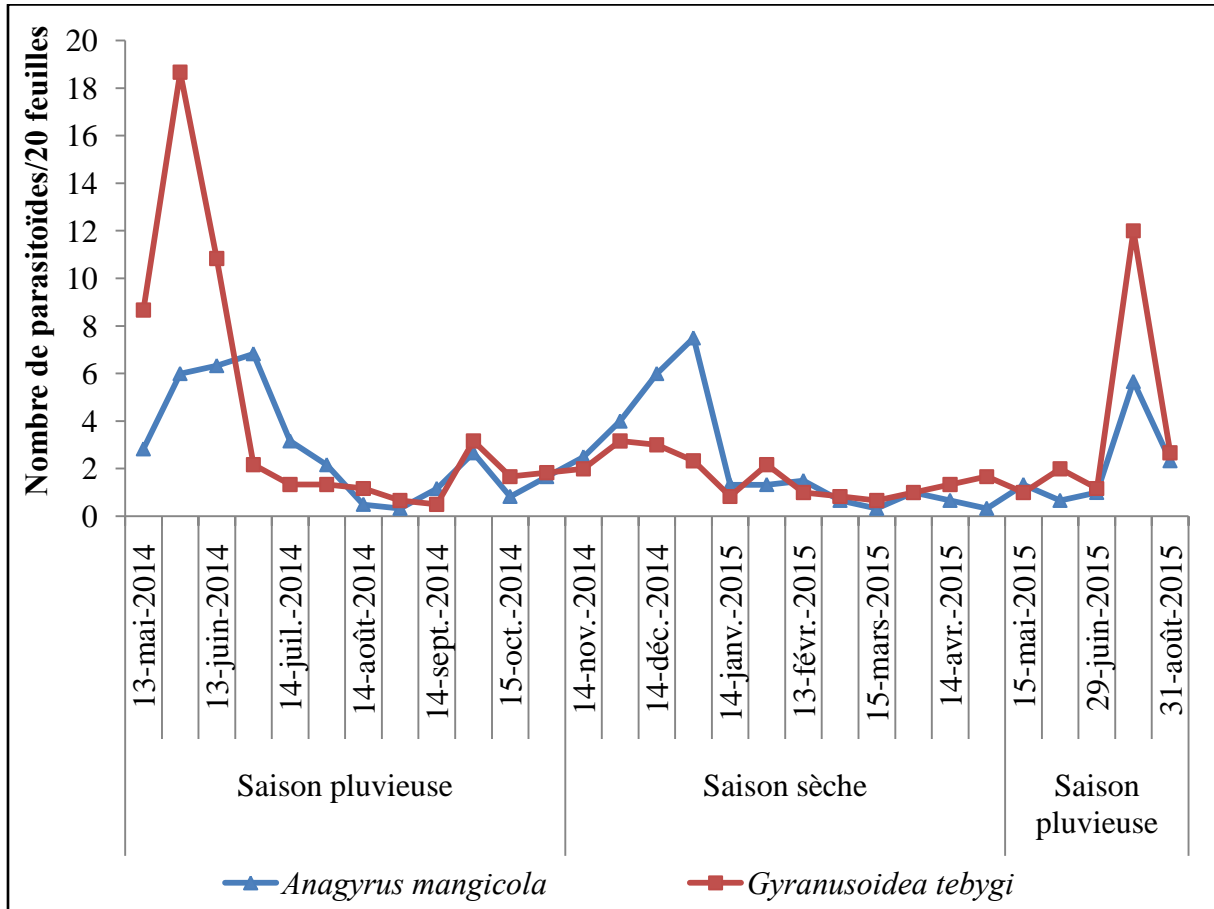


Figure 28 : Évolution des populations des parasitoïdes primaires *Anagyrus mangicola* et *Gyranusoidea tebygi* sur le site de Toussiana au cours de la période de mai 2014 à août 2015

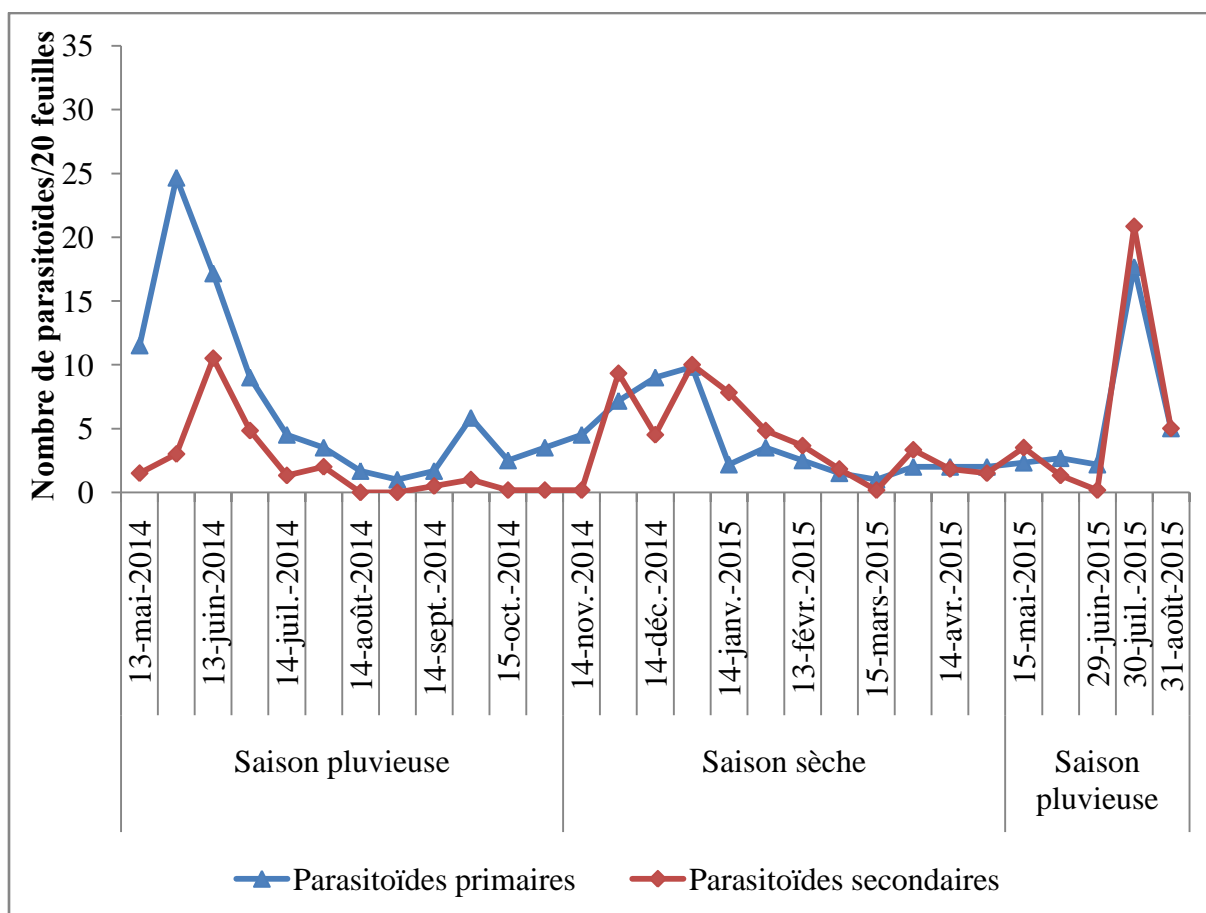


Figure 29 : Évolution des populations des parasitoïdes primaires et secondaires de *Rastrococcus invadens* sur le site de Toussiana au cours de la période de mai 2014 à août 2015

2.3. Niveau de corrélation entre la densité des cochenilles parasitées, les parasitoïdes et les populations de la cochenille farineuse du manguier

Les populations de *A. mangicola* et de *G. tebygi* ont été significativement et positivement ($0,437 \leq r \leq 0,477$) corrélées avec la densité des cochenilles vivantes au seuil de probabilité de 1% selon la loi de Pearson (Tableau XII). Une corrélation significative et positive a été observée entre les populations des deux parasitoïdes. Il a été noté un coefficient de corrélation significatif et positif ($0,246 \leq r \leq 0,670$) entre les populations des hyper parasitoïdes et celles de *A. mangicola* et *G. tebygi*. Le taux de parasitisme a été corrélé de façon significative et négative ($-0,894 \leq r \leq -0,364$) avec la densité des cochenilles et les populations de *A. mangicola* et *G. tebygi* (Tableau XII).

Tableau XII: Niveaux de corrélation entre les populations des parasitoïdes et la densité des populations de la cochenille farineuse du manguier

Variables	Cochenilles vivantes	<i>A. mangicola</i>	<i>G. tebygi</i>	Taux de parasitisme	<i>M. leopardina</i>	<i>Pachyneuron sp.</i>	<i>C. hyalipennis</i>
Cochenilles vivantes	1						
<i>A. mangicola</i>	0,477**	1					
<i>G. tebygi</i>	0,437**	0,676**	1				
Taux de parasitisme	-0,894**	-0,413**	-0,364**	1			
<i>M. leopardina</i>	0,135	0,483**	0,338**	-0,152	1		
<i>Pachyneuron sp.</i>	0,449**	0,670**	0,603**	-0,386**	0,564**	1	
<i>C. hyalipennis</i>	0,131	0,246*	0,561**	-0,091	0,487**	0,411**	1

** . La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

III. DISCUSSION

Sur tous les sites d'étude, la densité des cochenilles parasitées et le taux de parasitisme ont été plus importants en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Cette tendance serait fortement liée à la densité des cochenilles vivantes qui est élevée en saison pluvieuse et faible en saison sèche. Ainsi, le niveau de parasitisme exercé par *A. mangicola* et *G. tebygi* dépend de la disponibilité de l'hôte au cours des périodes de l'année. À cet effet, un lien significatif et positif a été établi par les analyses de corrélation entre les populations de *A. mangicola* et de *G. tebygi* et celles du ravageur. L'évolution des populations de ces 2 parasitoïdes a présenté la même configuration sur tous les sites d'étude. Ils étaient simultanément présents sur les populations du ravageur pendant toute la période de l'étude. Ce résultat traduit l'établissement effectif de *A. mangicola* et de *G. tebygi* au Burkina Faso. En effet, ces deux espèces de parasitoïdes coexistent sur l'hôte avec des préférences pour leur reproduction. *Gyranusoidea tebygi* préfère les larves aux stades I et II (BOAVIDA *et al.*, 1995) pour se reproduire tandis que *A. mangicola* préfère les larves aux stades II et III (BOKONON-GANTA *et al.*, 1995). Ce phénomène est traduit par ces auteurs comme une relation de complémentarité entre *G. tebygi* et *A. mangicola*. Il a été noté dans cette étude un coefficient de corrélation significatif et positif entre ces deux parasitoïdes qui pourrait traduire cette relation. Par ailleurs, les effectifs des parasitoïdes et des hyperparasitoïdes ont présenté la même tendance d'évolution sur tous les sites d'étude. Les populations de ces 2 parasitoïdes ont été positivement corrélées avec celles des hyperparasitoïdes *C. hyalipennis*, *M. leopardina* et *Pachyneuron sp.*. Ce résultat pourrait expliquer un mécanisme de régulation stable qui n'entrave pas l'action des parasitoïdes sur les cochenilles. Cette stabilité a été discutée au Togo et au Bénin à travers des études d'exclusion physique, de dynamique des populations et des prospections et enquêtes au niveau national (AGRICOLA et FISCHER, 1991 ; BOAVIDA *et al.*, 1995 ; BOAVIDA et NEUENSCHWANDER, 1995 ; BOKONON-GANTA et NEUENSCHWANDER, 1995 ; NEUENSCHWANDER, 1996). Il est ressortit que les populations de la cochenille étaient réduites à long terme sur le manguiier ; ceci malgré l'attaque des parasitoïdes *G. tebygi* et *A. mangicola* par plusieurs espèces d'hyperparasitoïdes locaux.

CONCLUSION PARTIELLE

Gyranusoidea tebygi et *A. mangicola* développent un taux de parasitisme élevé en saison pluvieuse et faible en saison sèche. La configuration de l'évolution des populations des parasitoïdes et des hyper-parasitoïdes était la même sur tous les sites d'étude. Les périodes d'abondance des parasitoïdes et des hyperparasitoïdes coïncident avec celles de la cochenille (mai-octobre); ce qui traduit un bon niveau de régulation des populations du ravageur par ceux-ci dans le temps et dans l'espace. L'action de ces parasitoïdes pourrait être renforcée avec d'autres agents de lutte biologique tels que les entomopathogènes. Le chapitre VI présente l'efficacité de l'entomopathogène *Metarhizium anisopliae* souche ICIPE 69 contre la cochenille farineuse du manguier.

CHAPITRE VI : EFFICACITÉ DU *METARHIZIUM ANISOPLIAE* ICIPE 69 CONTRE LA COCHENILLE FARINEUSE DU MANGUIER

INTRODUCTION

La lutte biologique contre la cochenille farineuse du manguier fait appel à l'utilisation d'une grande diversité d'organismes vivants incluant les microorganismes tels que les champignons. Des investigations ont été entreprises en Afrique de l'Ouest en vue d'identifier des agents pathogènes contre le ravageur. La première souche était celle du champignon *Hirsutella sphaerospora* isolé à partir de cochenilles moribondes collectées au Togo (GARCÍA et MOORE, 1988). Un autre champignon du même genre, *H. cryptosclerotium* a été également identifié comme entomopathogène infectant *R. invadens* (FERNÁNDEZ-GARCÍA *et al.*, 1990). Ces auteurs rapportent également que *H. sphaerospora* et *H. cryptosclerotium* sont virulents vis-à-vis de tous les stades de développement du ravageur. Ces entomopathogènes présentent également une synergie d'action avec les parasitoïdes *Anagyrus mangicola* et *Gyranusoidea tebygi* (AKALACH *et al.*, 1992). Toutes ces découvertes sont restées au stade expérimental et n'ont pas abouti à des formulations biologiques pour lutter contre le ravageur en verger. Les insecticides de synthèse sont donc restés les seules formulations utilisées malgré les risques de pollutions de l'environnement et d'apparition de résistance chez le ravageur. Les plus connus au Burkina Faso sont les néonicotinoïdes (Thiametoxam) et les organophosphorés (Chlorpyrifos-éthyl). Ces deux insecticides présentent un bon niveau de contrôle vis-à-vis de *R. invadens* mais ils demeurent incompatibles avec l'action des ennemis naturels notamment les parasitoïdes (NÉBIÉ, 2011). Pour certaines espèces de cochenilles, des formulations biologiques ont été mises au point afin de favoriser l'action des ennemis naturels. C'est le cas du Campaign[®] dont la matière active est *Metarhizium anisopliae* souche ICIPE 69 récemment mis au point pour contrôler la cochenille farineuse du papayer (*Paracoccus marginatus*) de la même famille que *R. invadens*. Cette souche a un large spectre d'action orientée vers les mouches de fruits (SOOKAR, 2013) et les foreurs de gousses du niébé, *Maruca vitrata* (TUMUHAISE *et al.*, 2015). Elle est également recommandée en lutte intégrée pour sa compatibilité avec les parasitoïdes. Des investigations ont été entreprises au laboratoire pour évaluer la virulence de cet entomopathogène vis-à-vis de la cochenille farineuse du manguier. Il s'agissait de tester plusieurs doses du produit sur tous les stades de développement du ravageur. Ces doses ont été comparées à celle du Chlorpyrifos-éthyl.

I. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE

L'efficacité du biopesticide *M. anisopliae* ICIPE 69 a été évaluée en conditions de laboratoire en comparaison avec le Chlorpyrifos-éthyl (P=480g/l). Pour se faire, un dispositif de type bloc complet randomisé a été mis en place avec cinq traitements répétés chacun 3 fois. Il s'agit : du témoin non traité (T), de la dose unique du Chlorpyrifos-éthyl (P=480g/l) et des trois traitements de *M. anisopliae* (M1= 10^8 conidies/ml, M2= 10^9 conidies/ml et M3= 2.10^9 conidies/ml). L'ensemble de ces traitements ont été appliqués sur des plants de figuiers (*F. polyta*) préalablement produits et infestés chacun avec 200 cochenilles de chaque stade de développement. Les plants traités et témoins ont été observés au bout de 24h après l'application des produits. Ces observations ont été suivies de 3 autres réalisées suivant une fréquence de 48 h pour dénombrer les cochenilles vivantes ou mortes.

II. RÉSULTATS

2.1. Effet comparé des doses de *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69 et du Chlorpyrifos-éthyl sur les larves au stade I de *Rastrococcus invadens*

Le taux de mortalité des cochenilles a varié de 28,8% à 100% selon les traitements (Figure 30). Il a atteint 100% sur les traitements T2 (10^9 conidies/ml), T3 (2.10^9 conidies/ml) de *M. anisopliae* et P (480g/l) du Chlorpyrifos-éthyl. L'analyse de variance a révélé une différence très hautement significative ($P<0,001$) entre les traitements. La séparation des moyennes par le test de Student-Newmans-Keuls a montré deux groupes homogènes au seuil de probabilité 5%. Le premier groupe a été représenté par la dose inférieure (T1= 10^8 conidies/ml) du produit à tester. Le deuxième groupe comprend la dose moyenne T2, la dose forte T3 et le produit de référence P.

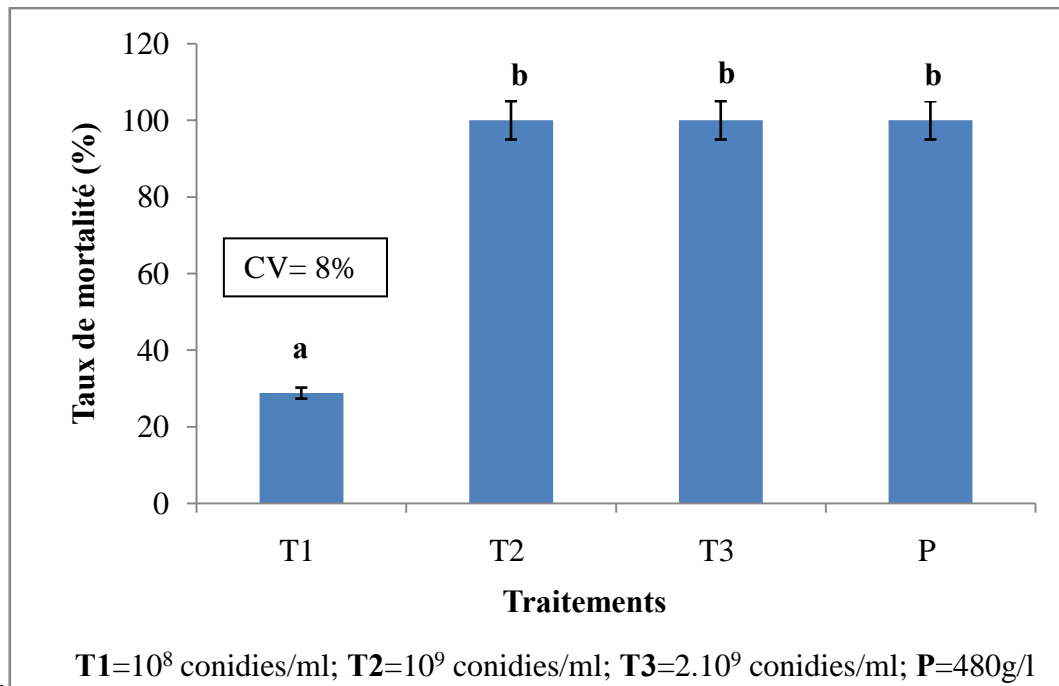


Figure 30 : Taux de mortalité observé chez les larves au stade I de *Rastrococcus invadens* sur les plants traités au *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69 et au Chlorpyriphos-éthyl en conditions de laboratoire

2.2. Effet comparé des doses de *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69 et du Chlorpyriphos-éthyl sur les larves au stade II de *Rastrococcus invadens*

Le taux de mortalité observé chez les larves au stade II a varié de 17,7% à 100% selon les traitements (Figure 31). Le taux de mortalité le plus élevé a été observé sur les objets traités au produit de référence (P), suivi de la dose supérieure (T3) puis de la dose intermédiaire (T2) du produit testé (*M. anisopliae*). Il a été noté une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les traitements. La séparation des moyennes par le test de Student-Newmans-Keuls a montré deux groupes homogènes au seuil de probabilité 5%. Il s'agit du traitement T1 pour le premier groupe et des traitements T2, T3 et P pour le deuxième groupe.

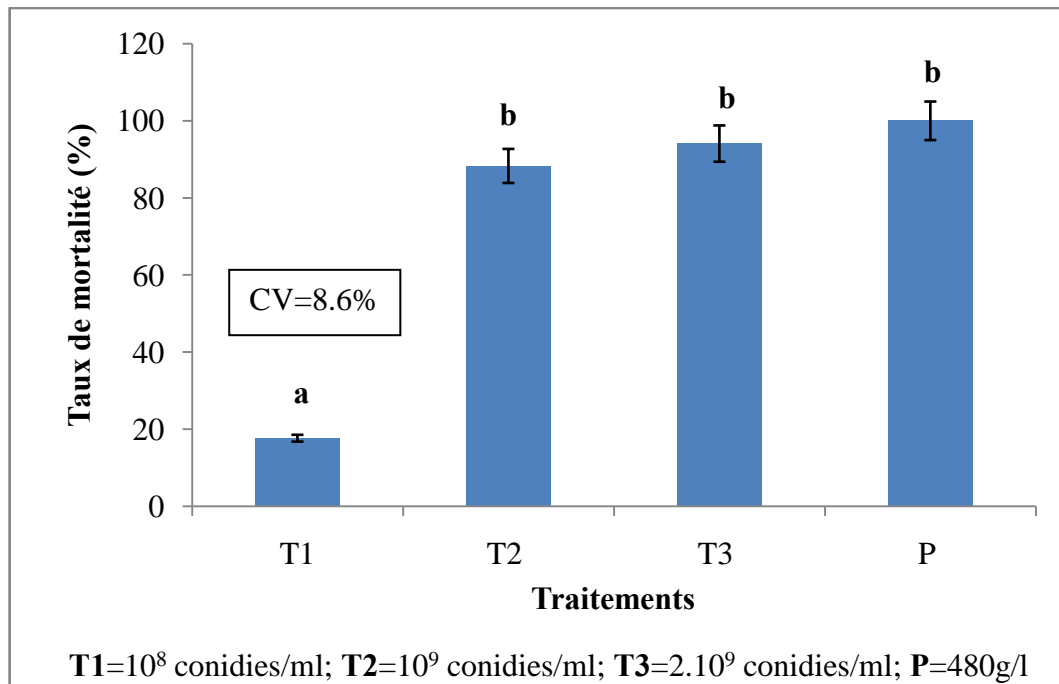


Figure 31 : Taux de mortalité observé chez les larves au stade II de *Rastrococcus invadens* sur les plants traités au *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69 et au Chlorpyrifos-éthyl en conditions de laboratoire

2.3. Effet comparé des doses de *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69 et du Chlorpyrifos-éthyl sur les larves au stade III de *Rastrococcus invadens*

Le taux de mortalité a varié de 15,9% à 98,8% selon les traitements (Figure 32). Le taux de mortalité le plus élevé a été observé sur les plants traités au produit de référence le Chlorpyrifos-éthyl, suivi de la dose supérieure (T3) puis de la dose intermédiaire (T1) du produit à tester (*M. anisopliae*). Une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) a été observée entre les traitements. Le test de Student Newman-Keuls a permis de séparer les traitements en deux groupes homogènes: T1 pour le premier ; T2, T3 et P pour le second (Figure 32).

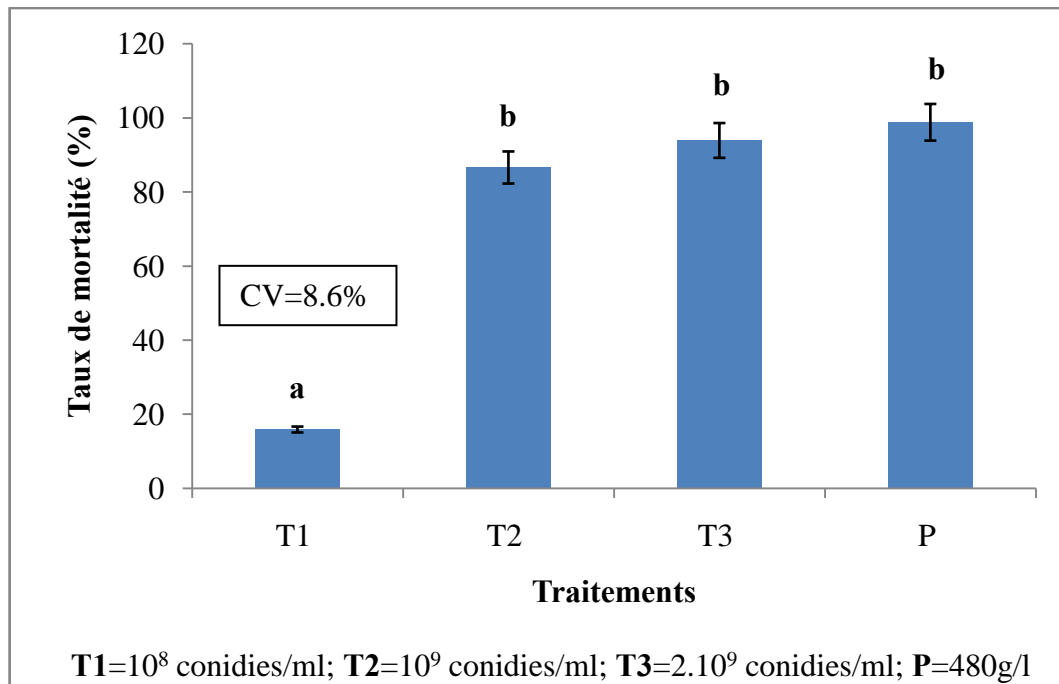


Figure 32 : Taux de mortalité observé chez les larves au stade III de *Rastrococcus invadens* sur les plants traités au *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69 et au Chlorpyriphos-éthyl en conditions de laboratoire

2.4. Effet comparé des doses de *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69 et du Chlorpyriphos-éthyl sur les adultes de *Rastrococcus invadens*

Le taux de mortalité a varié de 28,8% à 100% selon les traitements (Figure 33). Le taux de mortalité le plus élevé a été observé sur les plants traités au produit de référence le Chlorpyriphos-éthyl, suivi de la dose supérieure (T3) puis de la dose intermédiaire (T2) du produit à tester (*M. anisopliae*). Il a été observé une différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les traitements. La séparation des moyennes par le test de Student-Newmans-Keuls a présenté deux groupes homogènes. Le premier est représenté par le traitement T1 et le second comprend les traitements T2, T3 et P.

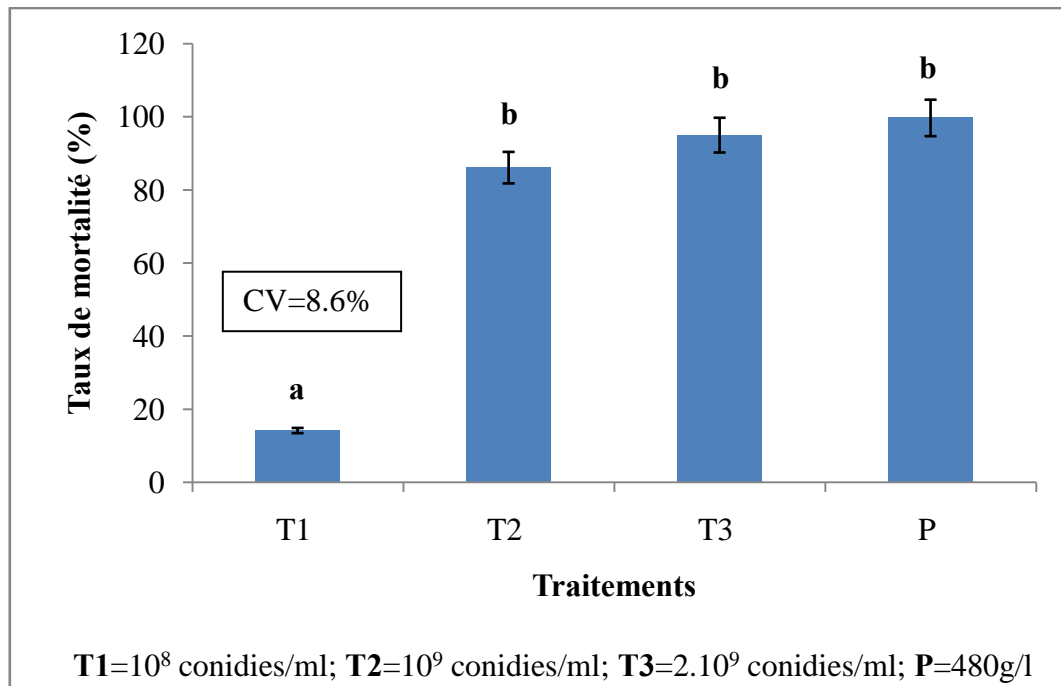


Figure 33 : Taux de mortalité observé chez les adultes de *Rastrococcus invadens* sur les plants traités au *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69 et au Chlorpyrifos-éthyl en conditions de laboratoire

III. DISCUSSION

La souche ICIPE 69 du *Metarhizium anisopliae* s'est révélée virulente sur tous les stades de développement de *R. invadens*. La virulence de cette souche s'expliquerait par sa compatibilité avec certains composés présents chez les insectes. Ces composés sont les acides gras, les acides aminés et les glucosamines qui se trouvent dans l'épicuticule de l'insecte (SHAHID *et al.*, 2012). Ces composés déterminent la pathogénicité des champignons entomopathogènes sur les insectes. Des travaux récents ont mis en évidence la virulence de *M. anisopliae* ICIPE 69 sur les adultes et les larves de *Frankliniella occidentalis* (EKESI *et al.*, 1999; MANIANIA *et al.*, 2001, 2003; NIASSY *et al.*, 2012). La même souche s'est révélée virulente sur *Megalurothrips sjostedti* (Trybom) et les mouches des fruits (EKESI *et al.*, 2000 ; SOOKAR, 2013). La pathogénicité de *M. anisopliae* ICIPE 69 a varié selon les doses du produit et les stades de développement de la cochenille. Selon GOETTEL et INGLIS (1997), la pathogénicité des champignons entomopathogènes dépend de l'hôte, du pathogène et des facteurs environnementaux. Chez l'hôte il y a la taille de la population et les stades de développement. En effet, la cochenille se dote d'une carapace farineuse après le 1^{er} stade larvaire. Cette carapace constitue une barrière physique capable de limiter la pénétration de l'inoculum chez l'insecte. C'est ce qui explique que certains individus peuvent donc survivre après l'application du produit. Chez le pathogène, il s'agit de la dose de l'inoculum, sa virulence et ses besoins nutritionnels. Il y a aussi les facteurs environnementaux incluant la

plante hôte, l'humidité relative, la lumière et la température. À cet effet, EKESI *et al.* (2000) ont étudié l'effet de la température sur la virulence de *M. anisopliae* ICIPE 69 vis-à-vis de *Megalurothrips sjostedti* (Trybom) dans les conditions de laboratoire. Les températures comprises entre 25 et 30°C ont permis une bonne expression de la virulence du champignon. KUBOKA (2013) rapporte que les températures en dessous de 15°C et au-delà de 35°C ne sont pas favorables à l'activité du champignon. TSENG *et al.* (2011) rapportent qu'une faible humidité relative inhibe la capacité de *M. anisopliae* à contrôler la cicadelle verte du riz, *Nephotettix virescens*. Aucune différence significative n'a été observée entre les doses 10^9 et 2.10^9 conidies/ml avec la dose unique du Chlorpyrifos-éthyl. Cependant, l'action de *M. anisopliae* a été lente sur l'insecte par rapport au produit de référence. Les premières mortalités ont été observées au bout de 24 h sur les plants traités au Chlorpyrifos-éthyl et 48 h sur les plants traités au *M. anisopliae* ICIPE 69. Cela pourrait s'expliquer par le mode d'action de la matière active de chacun des deux produits. En effet, le Chlorpyrifos-éthyl est un produit de longue durée de rémanence qui agit par contact, ingestion et inhalation. La cochenille étant un insecte piqueur-suceur, le produit est absorbé immédiatement à travers la ponction de la sève. En revanche, les spores ont besoin de 48h pour germer et causer la maladie chez l'insecte.

CONCLUSION PARTIELLE

La présente étude a permis de mettre en évidence la virulence de *M. anisopliae* ICIPE69 sur les populations de la cochenille farineuse du manguier. Tous les stades de développement de l'insecte ont été sensibles au pathogène. Les taux de mortalité les plus élevés ont été observés sur les plants traités avec les doses 10^9 et 2.10^9 conidies/ml de solution de *M. anisopliae* ICIPE69. Aucune différence significative n'a été observée entre ces doses et celle du Chlorpyrifos-éthyl. La dose 10^9 conidies/ml pourrait être recommandée comme une alternative à l'utilisation des produits de synthèse contre la cochenille farineuse du manguier.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif général de ce travail était d'étudier la bio écologie de la cochenille farineuse du manguier et de rechercher des moyens de lutte biologique contre cet insecte ravageur à l'ouest du Burkina Faso. Des travaux de recherche ont été conduits pour atteindre cet objectif. Ils ont porté sur les hypothèses suivantes :

- La cochenille farineuse du manguier est l'espèce de cochenille prédominante vis-à-vis des autres cochenilles locales sur le manguier ;
- La cochenille farineuse du manguier s'est adaptée à une diversité de plantes et d'ennemis naturels après son établissement au Burkina Faso ;
- L'importance des dégâts et les périodes d'abondance des populations de la cochenille varient respectivement selon les périodes de l'année et les localités ;
- L'entomopathogène *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69 commercialisé sur le marché contre la cochenille du papayer est aussi efficace contre la cochenille farineuse du manguier.

Après deux années d'investigations, nous avons pu inventorier pour la première fois au Burkina Faso 2 espèces de cochenilles indigènes inféodées au manguier. Il s'agit de *Ferrisia virgata* et de *Icerya aegyptiaca*. Les populations de ces cochenilles sont relativement très faibles (1 à 2%) par rapport à celles de *Rastrococcus invadens* (98 à 99%) accidentellement introduite à l'ouest du pays dans les années 2000. Les populations de *R. invadens* et de *I. aegyptiaca* sont abondantes durant la saison pluvieuse tandis que celles de *F. virgata* sont plus présentes durant la saison sèche. Elles ont été significativement affectées par les facteurs abiotiques tels que la température, l'humidité relative et la pluviométrie. La connaissance des périodes d'abondance des cochenilles peut orienter sur la gestion efficace de ces ravageurs dans les vergers.

Le cortège parasitaire de *R. invadens* est composé de deux parasitoïdes primaires *Anagyrus mangicola* et *Gyranusoidea tebygi*. Ces parasitoïdes sont affectés à leur tour par des hyperparasitoïdes tels que *Chartocerus hyalipennis*, *Marietta leopardina* et *Pachyneuron sp.* Les populations de *A. mangicola* et *G. tebygi* ont été plus abondantes que celles des hyperparasitoïdes. Le taux de parasitisme de ces 2 hyménoptères était élevé durant la saison pluvieuse mais faible durant la saison sèche. *Anagyrus mangicola* et *G. tebygi* se sont bien établis et régulent efficacement les populations de la cochenille farineuse du manguier. Des cas de prédation ont été également observés. Les prédateurs identifiés appartiennent aux ordres des Coléoptères, Diptères et Nevroptères. L'inventaire de *Dicrodiplosis manihoti* (Cecidomyiidae) comme prédateur de la cochenille farineuse du manguier est une première fois dans le monde.

Outre le manguier, 40 espèces végétales appartenant à 24 familles ont été inventoriées comme plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier. Ces plantes hôtes sont constituées de cultures fruitières, de céréales, de légumes, d'adventices, de plantes ornementales, sauvages et d'essences destinées au bois d'œuvre. Les plantes hôtes alternatives les plus courantes sont des cultures fruitières des genres *Citrus* et *Musa* présentes dans les vergers de manguiers infestés. Le niveau d'infestation de ces plantes par la cochenille farineuse du manguier a varié selon le stade de croissance des plantes et les localités prospectées. Parmi les plantes inventoriées, 25 espèces apparaissent nouvellement dans le répertoire des plantes hôtes de la cochenille farineuse du manguier à travers le monde. Les résultats ont mis en évidence la diversité importante des plantes hôtes de ce ravageur et recommande la prise en compte de cet aspect dans les stratégies de lutte.

La recherche des moyens de lutte biologique contre la cochenille farineuse du manguier a porté sur l'évaluation de l'efficacité du champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69. Cette souche s'est révélée virulente vis-à-vis de tous les stades de développement de cet insecte. Cette étude est une première dans le monde. Trois doses de ce champignon ont été comparées à la dose unique du Chlorpyrifos-éthyl. Les doses 10^9 et 2.10^9 conidies/ml sont capables de causer 98 à 100% de mortalité selon les stades de développement du ravageur. Aucune différence significative n'a été observée entre ces doses et celle du Chlorpyrifos-éthyl. Cependant, la dose 10^9 conidies/ml pourrait être recommandée comme une alternative aux insecticides de synthèse pour le contrôle de la cochenille farineuse du manguier.

PERSPECTIVES

En guise de perspectives, il nous paraît important de réaliser des études complémentaires afin d'approfondir nos connaissances sur l'écologie de la cochenille farineuse du manguier et les possibilités de lutte biologique contre cet insecte ravageur à l'Ouest Burkina Faso. Ces investigations peuvent être résumées en six points :

- Inventorier les plantes hôtes et les ennemis naturels de *F. virgata* et *I. aegyptiaca* et situer leur incidence économique ;
- Étudier la biologie des parasitoïdes *A. mangicola* et *G. tebygi* sur leur hôte *R. invadens* dans l'objectif d'un élevage de masse et de lâchers augmentatifs pour améliorer leur action dans les vergers ;
- Évaluer l'impact de l'entomopathogène *M. anisopliae* ICIPE 69 sur les ennemis naturels en général et les parasitoïdes en particulier ; ceci pour permettre une utilisation rationnelle de ce produit sur la cochenille farineuse du manguier ;
- Tester d'autres souches de *M. anisopliae* ou types d'entomopathogènes afin d'élargir la gamme de biopesticides utilisables contre la cochenille farineuse du manguier,
- Étendre les investigations sur l'efficacité d'extraits de plantes locales sur les populations des cochenilles et leur impact sur les ennemis naturels.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBAS M.S.T.**, 1999. Studies on *Dicrodiplosis manihoti* Harris (Diptera, Cecidomyiidae), a common predator of mealy bugs. *Journal of pest science*, 72 (5): 133-134.
- ABBAS G., ARIF M.J., ASHFAQ M., ASLAM M. et SAEED S.**, 2010. Host plants, distribution and overwintering of cotton mealybug (*Phenacoccus Solenopsis*; Hemiptera: Pseudococcidae). *International Journal of Agriculture & Biology*, 12: 421-425.
- ABBOTT W.S.**, 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18: 265-267.
- AGOUNKÉ D., AGRICOLA U. et 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: 695-702.
- AGRICOLA U. et FISCHER H.U.**, 1991. Hyperparasitism in 2 newly introduced parasitoids, *Epidinocarsis lopezi* and *Gyranusoidea tebygi* (Hymenoptera, Encyrtidae) after their establishment in Togo. *Bulletin of Entomological Research*, 81(2): 127-132.
- AKALACH M., FERNANDEZ-GARCIA E. et MOORE D.**, 1992. Interaction between *Rastrococcus invadens* [Hom. : Pseudococcidae] and two natural enemies. *Entomophaga* 37 (1) : 99-106.
- AKINTOLA A.J. et ANDE A.T.**, 2009. Pest status and ecology of five mealy bugs (Family: Pseudococcidae) in the Southern Guinea Savanna of Nigeria. *Journal of Entomological Research*, 33 (1): 9-13.
- AMUTHA M. et GULSAR BANU J.**, 2015. Pathogenesis of entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin., on mealybug, *Paracoccus marginatus* (Williams and Granara De Willink) (Homoptera : Pseudococcidae). *Journal of Biological Control*, 29 (3): 134-138.
- ANDE A.T. et OLOWOJOLU B.I.**, 1999. Biocidal efficacy of the extracts from various neem parts against the mango mealybug, *Rastrococcus invadens*. *Bioscience Research communications*, 11(1): 47-51.
- ANNECKE D.P. et INSLEY H.P.**, 1972. The species of *Marietta* and a new *Centrodora* from South Africa (Hymenoptera: Aphelinidae). *Journal of the Entomological Society of Southern Africa*, 35(1): 1-15.
- ANONYME**, 2015 a. Atelier bilan national de la campagne mangue 2015 de l'APROMA-B : Bilan des exportations en 2015. APEMAB, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 8p.

ANONYME, 2015 b. Atelier bilan national de la campagne mangue 2015 de l'APROMA-B : Les données statistiques sur la transformation. PTRAMAB, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 7p.

ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire), 2015. Analyse de risque phytosanitaire express *Rastrococcus invadens*, la cochenille asiatique identifiée récemment en Guyane française. Agence Nationale SES, Cayenne, Guyane, 122 p.

APPERT J. et DEUSE J., 1982. *Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques*. Ed. G.-P. Maisonneuve et Larose. Col. *Techniques Agricoles et Productions Tropicales*, Paris, France, 420 p.

ARBONNIER M., 2000. Arbres, Arbustes et lianes des zones sèches de l'Afrique de l'Ouest. Éd. CIRAD-MNHU-UICN, Paris, France, 541 p.

BALLY I.S.E., 2006. *Mangifera indica* (mango), ver. 3.I. In: Elevitch, C.R. (ed.). Species Profiles for Pacific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources (PAR) Holualoa, Hawaiï, 24p.

BÄRTELS A., 1994. *Guide des plantes tropicales : plantes ornementales, plantes utiles, fruits exotiques*. EUGEN ULMER (Ed.), Paris, France, 384 p.

BEN-DOV Y (Editor), 1994. A systematic catalogue of the mealybugs of the world (Insecta: Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae and Putoidea) with data on geographical distribution, host plants, biology and economic importance. Andover, UK; Intercept Limited, 686 p.

BENNETT M.D. et LEITCH I.J., 2003. Angiosperm DNA C-values Database (Release 4.0, Jan. 2003), <http://www.rbgekew.org.uk/cval/homepage.html> (accessed July 2004).

BENSERRADJ O., 2014. *Évaluation de Metarhizium anisopliae à titre d'agent de lutte biologique contre les larves de moustiques*. Thèse Doct., Spécialité Biotechnologies, Biologie et Environnement, Univ. Constantine 1, Algérie, 179 p.

BIASSANGAMA A., FABRES G. et MOUSSA J.B., 1991. Présence au Congo de *Gyranusoidea tebygi* (Hymenoptera : Encyrtidae), parasitoïde de *Rastrococcus invadens* (Hom. : Pseudococcidae). *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 96 (2): 209-211.

BISTLINE-EAST A., et HODDLE M.S., 2014. *Chartocerus* sp. (Hymenoptera: Signiphoridae) and *Pachyneuron crassiculme* (Hymenoptera: Pteromalidae) are obligate hyperparasitoids of *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae) and possibly *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae). *Florida Entomologist*, 97 (2): 562-566.

BOARI A.J., OLLVEIRA A.C.S., PRADO E., PANTOJA K.F.C. et SOUZA C.M., 2010. *Ferrisia virgata* (Cockerell): vetora do *Piper yellow mottle virus* da pimenteira do reino. *Horticultura Brasileira*, 28(2): 957-962.

BOAVIDA C., AHOUNOU M., VOS M., NEUENSCHWANDER P. et VAN ALPHEN J.J.M., 1995. Host stage selection and sex allocation by *Gyranusoidea tebygi* (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the mango mealybug, *Rastrococcus invadens* (Homoptera: Pseudococcidae). *Biological Control*, 5: 487-496.

BOAVIDA C. et NEUENSCHWANDER P., 1995. Population dynamics and life tables of the mango mealybug, *Rastrococcus invadens* Williams, and its introduced natural enemy, *Gyranusoidea tebygi* Noyes in Benin. *Biocontrol Science and Technology*, 5: 489–508.

BOAVIDA C., NEUENSCHWANDER P. et HERREN H.R., 1995. Experimental assessment of the impact of the introduced parasitoid *Gyranusoidea tebygi* Noyes on the mango mealybug *Rastrococcus invadens* Williams, by physical exclusion. *Biological Control*, 5: 99-103.

BOKONON-GANTA A.H., DE GROOTE H. et NEUENSCHWANDER P., 2002. Socio economic impact of biological control of mango mealybug in Benin. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93: 367-378.

BOKONON-GANTA A.H. et NEUENSCHWANDER P., 1995. Impact of the biological control agent *Gyranusoidea tebygi* Noyes (Hymenoptera: Encyrtidae) on the mango mealybug, *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera: Pseudococcidae), in Benin. *Biocontrol Science and Technology* 5: 95-107.

BOKONON-GANTA A.H., NEUENSCHWANDER P., VAN ALPHEN J.J.M. et VOS M., 1995. Host stage selection and sex allocation by *Anagyrus mangicola* (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the mango mealybug, *Rastrococcus invadens* (Homoptera: Pseudococcidae). *Biological Control*, 5: 479-486.

BOUCIAS D.G., PENDLAND J.C et LATGE J.P., 1988. Nonspecific factors involved in attachment of entomopathogenic Deuteromycetes to host insect cuticle. *Applied and Environmental Microbiology*, 54:1795-1805.

BOUSSIENGUET J. et MOULOUNGOU J., 1993. Pression démographique et choix alimentaire chez *Rastrococcus invadens* (Homoptera, Pseudococcidae) un ravageur du

manguier récemment introduit en Afrique. *Bulletin de la Société entomologique de France*, 98 (2) : 139-148.

BUTT T.M et BECKET A., 1994. Pathogenicity of entomogenous fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* against crucifer pests and the honey bee. *Biocontrol Science and Technology*, 4: 207-214.

BUTT T.M., IBRAHIM L., BALL B.V et CLARK S.J., 1994. Pathogenicity of the entomogenous fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* against crucifer pests and the honey bee. *Biocontrol Science and Technology*, 4: 207-214.

CABI (Centre for Agriculture and Biosciences International), 1966. *Ferrisia virgata* (Distribution map). Distribution Maps of Plant Pests, June. Wallingford, UK: CAB International, Map 219.

CABI (Centre for Agriculture and Biosciences International) et EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), 2003. *Icerya aegyptiaca*. [Distribution map]. Distribution Maps of Plant Pests (1st revision), December. Wallingford, UK: CAB International, Map 221.

CAMPBELL R.J., 1992. A guide to mangos in Florida. Fairchild Tropical Gardens, Miami, Florida, USA, 37p.

CHAM D., DAVIS H., OBENG-OFORI D. et OWUSU E., 2011. Host range of the newly invasive mealybug species *Paracoccus marginatus* Williams and Granara De Willink (Hemiptera: Pseudococcidae) in two ecological zones of Ghana. *Research in Zoology*, 1(1): 1-7.

COLEACP (Comité de Liaison Europe-Afrique-Caraïbes-Pacifique)/PIP (Programme Initiative Pesticides), 2013. Nouveaux ravageurs et maladies invasives : Bactériose du manguier 1. Bruxelles, Belgique, 13 p.

CSP (Comité Sahélien des Pesticides), 2013. Liste des insecticides autorisés par le CSP version de novembre 2013. Secrétariat permanent du CSP INSAH (eds), Bamako, Mali, 11p.

DABIRÉ R.A., SOMDA I., TRAORÉ N.S. et OUÉDRAOGO S.N., 2002. Étude diagnostique sur les principales attaques parasitaires du manguier, *Mangifera indica* L., au Burkina Faso. In : Sixième Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture Tome 1. 4-6 décembre 2002, AGRO, Montpellier, France. pp. 287-293.

DAKOUO D., OTOIDOBIGA L.C., OUÉDRAOGO N.S., GUIRA M., DABIRÉ R. et KAMBOU G., 2011. *Rapport de synthèse des activités conduites pour la lutte biologique contre les insectes ravageurs du manguier*. Projet PADL/CLK, INERA, Programme CMFPT, 01 BP 910 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 33p.

de VILLIERS E.A., DANEEL M.S. et GROVÉ T., 2008. Pests of minor importance, In: de Villiers E.A. and Joubert P.H (eds), *The cultivation of mango*. ARC-Institute for Tropical and Subtropical Crops, Nelspruit, South Africa. pp. 246-267.

EKESI S., MANIANIA N.K. et AMPONG-NYARKO K., 1999. Effect of temperature on germination, radial growth and virulence of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* on *Megalurothrips sjostedti*. *Biocontrol Science and Technology*, 9: 177-185.

EKESI S., MANIANIA N.K. et ONU I., 2000. Effect of temperature and photoperiod on development and oviposition of legume flower thrips; *Megalurothrips sjostedti*. *Journal of Applied Entomology*, 92: 149-155.

FERNÁNDEZ-GARCÍA E., EVANS H.C. et SAMSON R.A., 1990. *Hirsutella cryptosclerotium* sp. nov., an entomopathogen of the mealybug pest, *Rastrococcus invadens*, in West Africa. *Mycological Research*, 94 (8): 1111-1117.

FERRON P., FARGUES J. et RIBA G., 1993. Les champignons agents de lutte microbiologique contre les ravageurs. *Handbook of applied mycology* 2: 65-92.

GARCÍA E.F. et MOORE D., 1988. *Hirsutella sphaerospora* as a potential biocontrol agent of *Rastrococcus invadens* Williams. In: Brighton Crop Protection Conference. Pests and Diseases. Vol. 3. British Crop Protection Council, Thornton Heath. pp. 1125-1130.

GERMAIN J-F., LAPLACE D., DEVARIEUX A. et BOAVIDA C., 2015. First records of the mealybug *Rastrococcus invadens* Williams (Hemiptera: Pseudococcidae) in French Guiana and the Americas. *Zootaxa*, 3905 (3): 447-450

GERMAIN J-F., VAYSSIERES J-F. et MATILE-FERRERO D., 2010. Preliminary inventory of scale insects on mango trees in Benin. *Entomologia Hellenica*, 19: 124-131.

GOERGEN G. et NEUENSCHWANDER P., 1992. A cage experiment with four trophic levels: cassava plant growth as influenced by cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti*, its parasitoid *Epidinocarsis lopezi*, and the hyperparasitoids *Prochiloneurus insolitus* and *Chartocerus hyalipennis*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 99 (2): 182-190.

- GOERGEN G. et NEUENSCHWANDER P.**, 1994. *Chartocerus hyalipennis* (Hayat) (Hym.: Signiphoridae), a gregarious hyperparasitoid on mealybugs (Hom.: Pseudococcidae): biology and host range in West Africa. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 67: 297-308.
- GOETTEL M.S. et INGLIS D.G.**, 1997. Fungi Hypomycetes. *In*: Lacey L. (eds). Manual of techniques in insect pathology, Academic Press, New York. pp. 213-250.
- GOETTEL M.S., St LEGER R.J., RIZZO N.W., STAPLES R.C et ROBERTS D.W.**, 1989. Ultrastructural localization of a cuticle-degrading protease produced by the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* during penetration of host (*Manduca sexta*) cuticle. *Journal of General Microbiology*, 135: 2233-2239.
- GUIRA M. et ZONGO J.D.**, 2006. Étude de la distribution des variétés cultivées dans les vergers de manguiers de l'Ouest du Burkina Faso. *Sciences et Techniques, série Sciences Naturelles et Agronomie*, vol. 28, n°1 et 2 : 63-72.
- GULSAR BANU J., SURULIVELU T., AMUTHA M. et GOPALAKRISHNAN N.**, 2010. Laboratory evaluation of insecticides and biopesticides against *Phenacoccus solenopsis* and *Paracoccus marginatus* infesting cotton. *Journal of Biopesticides*, 3(1): 343-346.
- GUPTA M.L., KUMAR S. et SINHA P.K.**, 1991. Another report on the scale insects and mealybugs (Homoptera, Coccidea), their host plants and natural enemies from Bhagalpur. *Biological Bulletin of India*, 13 (1-3): 13-20.
- HAGGAG W.M.**, 2010. Mango diseases in Egypt. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(3): 285-289.
- HAJEK A.E et St LEGER R.J.**, 1994. Interaction between fungal pathogens and insect host. *Annual Review of Entomology*, 39: 293-322.
- HALA N., DEMBÉLÉ B., N'DA A.A., COULIBALY F., KEHE M., N'GORAN Y.A. et DOUMBIA M.**, 2011. Population dynamics of the mango mealybug, *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera: Pseudococcidae) in northern Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 12: 1481-1492.
- HALA N., KEHE M. et ALLOU K.**, 2004. Incidence de la cochenille farineuse du manguiers *Rastrococcus invadens* Williams, 1986 (Homoptera : Pseudococcidae) en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 16 (3): 29-36.

HAN S.H., NDIAYE A.B., et HEMPTINNE J.L., 2007. Plantes-hôtes et prédateurs de la Cochenille farineuse du Manguier *Rastrococcus invadens* Williams, 1986, nouvellement introduite á Dakar, Sénégal (Hemiptera, Pseudococcidae). *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 112 (1): 121-125.

HAOUGUI A., 2005. Dépérissement du manguier au Niger. INRAN/CERRA Kollo, Niger, 1p.

HODDLE C.D., HODDLE M.S. et TRIAPITSYN S.V., 2013. *Marietta leopardina* (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Aprostocetus* (*Aprostocetus*) sp. (Hymenoptera: Eulophidae) are obligate hyperparasitoids of *Tamarixia radiata* (Eulophidae) and *Diaphorencyrtus Aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Florida Entomologist*, 96 (2): 643-646.

INGLIS G.D., GOETTEL M.S., BUTT T.M. et STRASSER H., 2001. Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. In: Butt TM, Jackson CW, Magan N (eds) Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 23–55.

IVBIJARO M.F., UDENSIS N., UKWELA U.M. et ANNO-NYAKO F.V., 1992. Geographical distribution and host range in Nigeria of the mango mealybug, *Rastrococcus invadens* Williams, a serious exotic pest of horticulture and other crops. *Insect Science and its Application*, 13: 411-416.

KARAR H., ARIF M.J., SAYYED H.A., SAEED S., ABBAS G. et ARSHAD M., 2009. Integrated pest management of mango mealy bug (*Drosicha mangiferae*) in mango orchards. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11: 81-84.

KELLER S., 1997. The genus *Neozygites* (Zygomycetes, Entomophthorales) with special reference to species found in tropical regions. *Sydowia*, 49: 118-146.

KEMABONTA K.A. et ODEBIYI J.A., 2001. Development, survival and fecundity of *Rastrococcus invadens* (Williams) (Hemiptera; Pseudococcidae) on four host plants. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 9 (1-4): 51-61.

KEMABONTA K.A. et ODEBIYI J.A., 2002. Comparative studies on the effect of temperature on life tables of *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera : Pseudococcidae) and *Gyranusoidea tebygi* Noyes (Hymenoptera : Encyrtidae). *Ghana Journal of Agricultural Science*, 35: 23-31.

- KHANZADA M.A., LODHI A.M. et SHAHZAD S.,** 2005. Chemical control of *Lasiodiplodia theobromae*, the causal agent of mango decline in Sindh. *Pakistan Journal of Botany*, 37 (4): 1023-1030.
- KOSTERMANS A.J.G.H. et BOMPARD J.M.,** 1993. The Mangoes: Their Botany, Nomenclature, Horticulture and Utilization. Academic Press, London, UK., 290 p.
- KOTOKLO A.E., KASSENEY B.D., NYAMADOR W., KETOH G.K. et GLITHO A.I.,** 2010. Attaques des arbres par les termites sur le campus de l'Université de Lomé (Togo). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(1): 61-68.
- KOUAKOU K., KÉBÉ B.I., KOUASSI N., ANNO A.P., AKÉ S. et MULLER E.,** 2011. Impact de la maladie virale du swollen shoot du cacaoyer sur la production de cacao en milieu paysan à Bazré (Côte-d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 43: 2947-2957.
- KUBOKA M.N.,** 2013. *Effect of temperature on the efficacy of Metarhizium anisopliae (metchnikoff) sorokin in the control of western flower thrips in french beans.* Master of Science in Crop Protection, University of Nairobi, Nairobi, 92 p.
- KUMAR R., NITHARWAL M., CHAUHAN R., PAL V. et KRANTHI K.R.,** 2012. Evaluation of ecofriendly control methods for management of mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley in cotton. *Journal of Entomology*, 9 (1): 32-40.
- LANGEWALD J., MITCHELL J., MANIANIA N.K. et KOOYMAN C.,** 2003. Microbial control of termites in Africa, In: Neuenschwander P., Borgemeister C. and Langewald J. (eds.), Biological Control in IPM Systems in Africa. CABI Publishing, Wallingford, UK. pp. 227-242.
- LEREBOURS P.A. et MÉNAGER M-T.,** 2005. Atlas de l'Afrique : Burkina Faso : Groupe Jeune Afrique : les éditions du Jaguar, Paris, France. 62p.
- Le RÜ B. et FABRES G.,** 1987. Influence de la température et de l'hygrométrie relative sur le taux d'accroissement des populations de la cochenille du manioc (*Phenacoccus manihoti*, Hom. Pseudococcidae) au Congo. *Æcologia Applicata* 8: 165-174.
- LOHR B.,** 1984. Bericht über einen Kurzaufenthalt in Togo zur Untersuchung einer Schmierlausgradation im Obstbau. Rapport interne de la "Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)", Eschborn, RFA, 23p.
- MAH (Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique),** 2011. *Rapport d'analyse du module arboriculture phase 2: RGA 2008.* Bureau Central du Recensement Général de

l'Agriculture (ed.). Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, BP705 Ouagadougou, Burkina Faso, 252 p + annexes.

MANI M. et KRISHNAMOORTHY A., 2001. Evaluation of *Cryptolaemus montrouzieri* Muls. (Coleoptera: Coccinellidae) in the suppression of *Rastrococcus invadens* Williams on mango. *Journal of Insect Science*, 14 (1/2): 63-64.

MANI M. et KRISHNAMOORTHY A., 2004. Role of predators in the control of horticultural crop pests of India. In: Sahayaraj, K. (Ed.), Indian Insect Predators in Biological Control. Daya Publishing House, Delhi, India. pp. 297-327.

MANIANIA N.K., EKESI S., LÖHR B. et MWANGI F., 2001. Prospects for biological control of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, with the entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* on chrysanthemum. *Mycopathologia*, 155: 229-235.

MANIANIA N.K., SITHAMANTHAM S., EKESI S., AMPONGAND-NYARKO S., BAUMGARTNER B., LOHR B. et MATOKA C.M., 2003. A field trial of the entomogenous fungus *Metarhizium anisopliae* for control of onion thrips, *Thrips tabaci*. *Crop Protection*, 22: 553-559.

MATOKOT L., REYD G., MALONGA P. et Le RÜ B., 1992. Dynamique des populations de *Rastrococcus invadens* (Hom. Pseudococcidae) au Congo; influence de l'introduction accidentelle du parasitoïde asiatique *Gyranusoïdea tebygi* (Hym. Encyrtidae). *Entomophaga*, 37: 123-140.

MILLER D.R., 2005. Selected scale insect groups (Hemiptera: Coccoidea) in the Southern Region of the United States. *Florida Entomologist*, 88(4): 482-501.

MOGHADDAM M., ESFANDIARI M. et KHOSRAVI M., 2015. First record of *Icerya aegyptiaca* (Hemiptera: Coccoidea: Monophlebidae) from Iran. *1st Iranian International Congress of Entomology*, Tehran, 25-31 August 2015, p. 42.

MOHAMED G.S., 2016. Virulence of entomopathogenic fungi against the Vine Mealy bug, *Planococcus ficus* (Signoret) (Hemiptera: Pseudococcidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 26(1): 47-51.

MOORE D., 1992. Lutte biologique contre la cochenille farineuse du manguier, in : Markham R. H., Wodageneh A. et Agboola S. (eds.), Manuel de lutte biologique, tome 2 : Etudes de cas de lutte biologique en Afrique. IITA/CLBAB, Cotonou, Bénin, pp. 95-125.

MUKHERJEE S.K. et LITZ R.E., 2009. Introduction: botany and importance. *In*: Litz R.E. (ed.), *The Mango: Botany, Production and Uses*. 2nd edition, CAB International, Wallingford, UK., pp. 1-18.

MUNIAPPAN R., SHEPARD B.M., WATSON G.W., CARNER G.R., SARTIAMI D., RAUF A. et HAMMIG M.D., 2008. First report of the papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae), in Indonesia and India. *Journal of Agricultural Urban Entomology*, 25(1): 37–40.

MUNIAPPAN R., WATSON G.W., VAUGHAN L., GILBERTSON R. et NOUSSOUROU M., 2012. New Records of Mealybugs, Scale Insects, and Whiteflies (Hemiptera: Sternorrhyncha) from Mali and Senegal. *Journal of Agricultural Urban Entomology*, 28: 1–7.

NAKASONE H.Y. et PAULL R.E., 1998. *Tropical Fruits*. CAB International, Wallingford, UK., 445p.

NDIAYE A.B., 1998. *Contribution à l'étude des termites ravageurs d'arbres fruitiers au Sénégal: inventaire systématique, études écologiques et dégâts*. Thèse Doct. Spécialité Entomologie, Univ. Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal, 101p.

N'DIAYE M., ARNOLDUS M. et KÉITA S., 2011. Manuel sur le dessèchement des manguiers dans la région de Koulikoro. Programme DERK, CRRRA/Sotuba, Mali, 46p.

NÉBIÉ K., 2011. *Impact des traitements insecticides sur la cochenille farineuse du mangouier [Rastrococcus invadens williams (Homoptera : Pseudococcidae)] et son cortège parasitaire au Burkina Faso*. Mémoire de Master Protection et Amélioration des Plantes, Univ. Ouagadougou 03BP7021, Burkina Faso, 64 p+ annexes.

NELSON S.C., 2008. Mango anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa, *Plant Disease* 48, 9 p.

NEUENSCHWANDER P., 1996. Evaluating the efficacy of biological control of three exotic homopteran pests in tropical Africa. *Entomophaga* 41(3/4): 405-424.

NEUENSCHWANDER P., 2003. Biological control of cassava and mango mealybugs. *In* Neuenschwander P., Borgemeister C. and Langewald J. (eds.), *Biological Control in IPM Systems in Africa*. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 45-59.

- NEUENSCHWANDER P., BOAVIDA C., BOKONON-GANTA A., GADO A. et HERREN H.R.,** 1994. Establishment and spread of *Gyranusoidea tebygi* Noyes and *Anagyrus mangicola* Noyes (Hymenoptera: Encyrtidae), two biological control agents released against the mango mealybug *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera: Pseudococcidae) in Africa. *Biocontrol Science and Technology*, 4: 61-69.
- NEUENSCHWANDER P., HENNESSEY R.D. et HERREN H.R.,** 1987. Food web of insects associated with the cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Hemiptera: Pseudococcidae), and its introduced parasitoid, *Epiinocarsis lopezi* (De Santis) (Hymenoptera: Encyrtidae), in Africa. *Bulletin of Entomological Research*, 77: 177-189.
- NIASSY S., MANIANIA N.K., SUBRAMANIAN S., GITONGA L.M., MBURU D.M., MASIGA D. et EKESI S.,** 2012. Selection of promising fungal biological control agent of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Letters in Applied Microbiology*, 54(6): 487-493.
- NOYES J.S. et HAYAT M.,** 1994. Oriental mealybug parasitoids of the Anagyrini (Hymenoptera: Encyrtidae). CAB International, Wallingford, UK. viii + 554 pp.
- OBAME M.D.,** 2009. Influence des facteurs écologiques (température et hygrométrie) sur le développement de la cochenille farineuse du manioc (*Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero, Homoptera: Pseudococcidae). *Tropicultura*, 27: 21-25.
- OBODJI A., N'GUESSAN W.P., N'GUESSAN K.F., SERI-KOUASSI B.P., ABOUA L.R.N., KÉBÉ I. et AKA R.,** 2015. Inventory of the mealybug species associated to the cocoa tree (*Theobroma cacao* L.) in four producing areas infected with the swollen shoot disease in Côte d'Ivoire. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3(4): 312-316.
- OLIVEIRA M.D., SILVA-TORRES C.S.A., TORRES J.B. et MORAIS OLIVEIRA J.E.,** 2014. Population growth and within-plant distribution of the striped mealybug *Ferrisia virgata* (Cockerell) (Hemiptera, Pseudococcidae) on cotton. *Revista Brasileira de Entomologia*, 58(1): 71-76.
- OUÉDRAOGO S.N.,** 2002. *Étude diagnostique des problèmes phytosanitaires du manguier (Mangifera indica L.), de l'oranger (Citrus sinensis (L.) Osbeck) et du mandarinier (Citrus reticulata Blanco) dans la province du Kéné Dougou.* Mémoire d'Ingénieur de Développement Rural, Opt. Agronomie, Univ. Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 95 p.

- OUÉDRAOGO S.N.**, 2011. *Dynamique spatio-temporelle des mouches des fruits (Diptera, Tephritidae) en fonction des facteurs biotiques et abiotiques dans les vergers de manguiers de l'ouest du Burkina Faso*. Thèse Doct. Spécialité Entomologie, Univ. Paris Est, France, 158 p.
- OUÉDRAOGO S.N., VAYSSIÈRES J-F., DABIRÉ A. R. et ROULAND-LEFÈVRE C.**, 2011. Biodiversité des mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) en vergers de manguiers de l'ouest du Burkina Faso : structure et comparaison des communautés de différents sites. *Fruits*, 66: 393–404.
- PAFASP (Programme d'Appui aux Filières Agro-Sylvo Pastorales)**, 2010. Le guide d'exportation de la mangue fraîche du Burkina Faso. Edits : APROMAB/PAFASP/MAHRH, 58 p.
- PAFASP (Programme d'Appui aux Filières Agro-Sylvo Pastorales)**, 2009. Le guide du sécheur de la mangue Burkina Faso. Édits : APROMAB/PAFASP/MAHRH, 54 p.
- PITAN O.O.R., AKINLOSOTU T.A. et ODEBIYI J.A.**, 2000. Impact of *Gyranusoidea tebygi* Noyes (Hymenoptera : Encyrtidae) on the mango mealybug *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera: Pseudococcidae) in Nigeria. *Biocontrol Science and Technology*, 10(3): 245-254.
- PITAN O.O.R., MWANSAT G., AKINYEMI S.O.S., ADEBAYO O.S. et AKINIOSOTU T.A.**, 2002. Effect of mango mealybug and sooty mould attack on mango and the impact of the released *Gyranusoidea tebygi* Noyes on yield. *Fruits*, 57(2): 105-113.
- PRUVOST O., BOYER C., GRYGIEL P., BOYER K., VERNIERE C., GAGNEVIN L., SORO S., N'GUESSAN C. et KONE D.**, 2014. First report of *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* causing mango bacterial canker on *Mangifera indica* in Ivory Coast. *Plant Disease*, 98(12): 1740
- PRUVOST O., BOYER C., VITAL K., VERNIERE C., GAGNEVIN L., de BRUNO AUSTIN L. et REY J.Y.**, 2011a. First Report in Ghana of *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* causing Mango bacterial canker on *Mangifera indica*. *Plant Disease*, 95(6): 774-774
- PRUVOST O., BOYER C., VITAL K., VERNIERE C., GAGNEVIN L. et SOMDA I.**, 2011b. First report in Burkina Faso of *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* causing bacterial canker on *Mangifera indica* L.. *Plant Disease*, 95(10): 1312-1313.

- PRUVOST O., BOYER C., VITAL K., VERNIÈRE C., GAGNEVIN L. et TRAORÉ Y.N.**, 2012. First report in Mali of *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* causing mango bacterial canker on *Mangifera indica* L. *Plant Disease*, 96(4): 581-581.
- RAMANUJAM B., RANGESHWARAN R., SIVAKMAR G., MOHAN M. et YANDIGERI M.S.**, 2014. Management of insect pests by microorganisms. *Proceedings of the Indian National Science Academy* 80(2): 455-471.
- RAVISHANKAR K.V., ANAND L. et DINESH M.R.**, 2000. Assessment of genetic relatedness among mango cultivars of India using RAPD markers. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75: 198–201.
- REY J.Y., DIALLO T.M., VANNIÈRE H., DIDIER C., KÉITA S. et SANGARÉ M.**, 2004. La mangue en Afrique de l’Ouest francophone : variétés et composition variétale des vergers. *Fruits*, 59(3): 191-208.
- SAENGYOT S. et BURIKAM I.**, 2011. Host plants and natural enemies of papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* (Hemiptera : Pseudococcidae) in Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science*, 44(3): 197-205.
- SAHOO A.K. et GHOSH A.B.**, 2000. Biology of the mealybug *Rastrococcus invadens* Williams. *Environment and Ecology*, 18(3): 752-756.
- SAWADOGO A., GUIRA M. et KONE M.**, 2001. Recherche Développement en arboriculture Fruitière au Burkina Faso. Foire fête de la mangue juin 2001, INERA/CRREA Ouest, Burkina Faso, 22p.
- SCHUTZE M.K., AKETARAWONG N., AMORNSAK W., ARMSTRONG K.F., AUGUSTINO A.A., BARR N., BO W., BOURTZIS K., BOYKIN L.M., CÁCERES C., CAMERON S.L., CHAPMAN T.A., CHINVINIKUL S., CHOMIČ A., DE MEYER M., DROSOPOULOU E., ENGLEZOU A., EKESI S., GARIOU- PAPALEXIOU A., GEIB S.M., HAILSTONES D., HASANUZZAMAN M., HAYMER D., HEE A.K.W., HENDRICHS J., JESSUP A., JI Q., KHAMI F.M., KROSCH M.N., LEBLANC L., MAHMOOD K., MALACRIDA A.R., MAVRAGANI-TSIPIDOU P., MWATAWALA M., NISHIDA R., ONO H., REYES J., RUBINOFF D., SANJOSE M., SHELLY T.E., SRIKACHAR S., TAN K.H., THANAPHUM S., HAQ I., VIJAYSEGARAN S., WEE S.L., YESMIN F., ZACHAROPOULOU A. et CLARKE A.R.**, 2014. Synonymization of key pest species within the *Bactrocera dorsalis* species complex (Diptera:Tephritidae):

taxonomic changes based on a review of 20 years of integrative morphological, molecular, cytogenetic, behavioural and chemoecological data. *Systematic Entomology*, 40(2): 456-471.

SENTHILKUMAR N. et BARTHAKUR N.D., 2005. A record of Egyptian fluted scale, *Icerya aegyptiaca* (Douglas) on teak in Assam. *Insect Environment*, 11(1): 31-32.

SHAHID A., RAO A.Q., BAKHSH A. et HUSNAIN T., 2012. Entomopathogenic fungi as biological controllers: New insights into their virulence and pathogenicity. *Archives of Biological Sciences, Belgrade*, 64: 21-42.

SOOKAR P., 2013. *Study of two potential entomopathogenic fungi, Metarhizium anisopliae and Beauveria bassiana for the biocontrol of fruit flies (Diptera: Tephritidae) of economic importance in Mauritius*. Doctor of Philosophy, Faculty of Science, Department of Health Sciences, University of Mauritius, Mauritius, 224p.

St LEGER R.J., ALLEE L.L., MAY B., STAPLES R.C. et ROBERTS D.W., 1992. World-wide distribution of genetic variation among isolates of *Beauveria* spp. *Mycological Research*, 96: 1007-1015.

TANGA C.M., EKESI S., GOVENDER P. et 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.

TOBIH F.O., OMOLOYE A.A., IVBIJARO M.F. et ENOBAKHARE D.A., 2002. Effects of field infestation by *Rastrococcus invadens* Williams (Hemiptera: Pseudococcidae) on the morphology and nutritional status of mango fruits, *Mangifera indica* L. *Nigeria Crop Protection*, 21(9): 757-761.

TSENG M.N., CHUNG P.C. et TZRAN S.S., 2011. Enhancing the stress tolerance and virulence of an entomopathogen by metabolic engineering of dihydroxynaphthalene melanin biosynthesis genes. *Journal of Applied Environmental Microbiology*, 77: 4508-4519.

TUMUHAISE V., EKESI S., MOHAMED S.A., NDEGWA P.N., IRUNGU L.W., SRINIVASAN R. et MANIANIA N.K., 2015. Pathogenicity and performance of two candidate isolates of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae) in four liquid culture media for the management of the legume pod borer *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 35(1): 34-47.

- UESATO T., KONDO T., UNRUH C. et WILLIAMS D.J.**, 2011. Establishment and host records of *Icerya aegyptiaca* (Douglas) (Hemiptera: Coccoidea: Monophlebidae) in the Sakishima Islands of the Ryukyu Archipelago, Japan, with notes on its worldwide distribution. *Entomological Science*, 14: 49-55.
- UJJAN A.A., KHANZADA M.A. et SHAHZAD S.**, 2015. Efficiency of *Metarhizium spp.* (Sorokīn) strains and insecticides against cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley). *Pakistan Journal of Zoology*, 47(1): 1-10.
- UJJAN A.A. et SHAHZAD S.**, 2007. Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae var. acridum* strains on pink hibiscus mealy bug (*Maconellicoccus hirsutus*) affecting cotton crop. *Pakistan Journal of Botany*, 39(3): 967-973.
- VIRGILIO M., JORDAENS K., VERWIMP C., WHITE I. M. et De Meyer M.**, 2015. Higher phylogeny of frugivorous flies (Diptera, Tephritidae, Dacini): Localised partition conflicts and a novel generic classification. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 85: 171-179.
- VÖGELE J.M., AGOUNKE D. et MOORE D.**, 1991. Biological control of the fruit tree mealybug *Rastrococcus invadens* Williams in Togo: A preliminary sociological and economic evaluation. *Tropical Pest Management*, 37(4): 379-382.
- WILLIAMS D.J.**, 1986. *Rastrococcus invadens* sp.n. (Homoptera, Pseudococcidae) introduced from the oriental regions to West Africa and causing damage to mango, citrus and other trees. *Bulletin of Entomological Research*, 76: 695-699.
- WILLIAMS D.J.**, 1989. The mealybug genus *Rastrococcus* Ferris (Hemiptera: Pseudococcidae). *Systematic Entomology*, 14: 433-486.
- WILLIAMS D.J. et GRANARA DE WILLINK M.C.**, 1992. Mealybugs of Central and South America. CAB International, London, England. 635 pp.
- WILLINK E. et MOORE D.**, 1988. Aspects of the biology of *Rastrococcus invadens* Williams (Hemiptera: Pseudococcidae) a pest of fruit crops in West Africa and one of its primary parasitoids *Gyranusoidea tebygi* Noyes (Hymenoptera: Encyrtidae). *Bulletin of Entomological Research*, 78: 709-716.
- WRAIGHT S.P., INGLIS D.G. et GOETTEL M.S.**, 2007. 'Fungi', in LACEY LA. and KAYA, H. (ed.) Field manual of techniques in invertebrate pathology. Application and

Evaluation of Pathogens for Control of Insects and other Invertebrate Pests. Dordrecht, The Netherlands, pp. 223–248.

ZOMBRÉ C., 2016. *Diversité génétique et pathologique de Xanthomonas citri pv. Mangiferaeindicae, bactérie responsable de la maladie des taches noires du manguier au Burkina Faso et en Afrique de l'Ouest*. Thèse Doct. Spécialité Phytopathologie, Univ. Ouaga I Prof. Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso, 185 p.

ZOMBRÉ C., SANKARA P., OUÉDRAOGO L., WONNI I., BOYER K., BOYER C., TERVILLE M., JAVEGNY S., ALLIBERT A., VERNIÈRE C. et PRUVOST O., 2016. Natural infection of cashew (*Anacardium occidentale*) by *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* in Burkina Faso. *Plant Disease*, 100(4): 718-723.

ZOMBRÉ C., SANKARA P., OUÉDRAOGO S.L., WONNI I., PRUVOST O., BOYER C., VERNIÈRE C., ADANDONON A., VAYSSIÈRES J-F. et AHOHUENDO B.C., 2015. First report of *Xanthomonas citri* pv. *mangiferaeindicae* causing mango bacterial canker on *Mangifera indica* L. in Benin. *Plant Disease*, 99(12): 1854-1854.

SITES CONSULTÉS

<http://idtools.org/id/scales/factsheet.php?name=6952> consulté le 01 mars 2016 à 17h 02mn.

<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/bpdb/Reports/1980.htm> consulté le 11 mars 2016 à 21h 16mn.

PUBLICATIONS



Population Dynamics of the Mango Mealybug *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera: Pseudococcidea) in Western Burkina Faso

**Karim Nébié¹, Souleymane Nacro^{2*}, Lenli Claude Otoïdobiga¹, Dona Dakouo¹
and Irénée Somda³**

¹Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Direction Régionale de Recherches Environnementale et Agricole de l'Ouest (DRREAO), Station de Farako-Bâ, Bobo-Dioulasso, 01 BP 910, Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso.

²Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Centre Régional de Formation et de Recherches Environnementales et Agricoles de Kamboinsé, 01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso.

³Université Polytechnique de Bobo (UPB), 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso.

Authors' contributions

This work was carried out in collaboration between all authors. Authors KN, DD, SN and LCO designed the study, wrote the protocol and wrote the first draft of the manuscript. Authors KN and SN reviewed the experimental design and all drafts of the manuscript. Author KN managed the analyses of the study. Author KN performed the statistical analysis. All authors read and approved the final manuscript.

Article Information

DOI: 10.9734/AJEA/2016/24819

Editor(s):

(1) Hugo Daniel Solana, Department of Biological Science, National University of Central Buenos Aires, Argentina.

Reviewers:

(1) A. Jeyasankar, Government Arts College (Autonomous), Coimbatore, India.

(2) Felipe Tafuya, Autonomous University of Aguascalientes, Mexico.

(3) K. K. Srikumar, UPASI Tea Research Institute, Tamil Nadu, India.

Complete Peer review History: <http://sciencedomain.org/review-history/13884>

Original Research Article

Received 1st February 2016
Accepted 18th March 2016
Published 26th March 2016

ABSTRACT

Aims: The study aimed at determining the periods of high pest population of the mango tree mealybug *Rastrococcus invadens* Williams with respect to biotic and abiotic factors.

Study Design: Semiweekly observations were performed on the mango trees with a view of assessing the density of alive, dead or parasitized *R. invadens*.

*Corresponding author: E-mail: snacro2006@gmail.com;

Place and Duration of the Study: This study was conducted in Western Burkina Faso from May 2014 to April 2015.

Methodology: A set of mango trees was selected in each of the following locations: Toussiana, Bérégadougou and Orodara. The assessment was conducted on 20 leaves (five leaves per cardinal point) that were picked up from each mango tree at each observation date. The parasitized mealybugs were kept inside pill boxes for two weeks and the emerging parasitoids were collected and kept in alcohol 70°. Data were registered and processed with the Microsoft Excel 2010 and SPSS software.

Results: Results showed that *R. invadens*' populations were more abundant during the wet season (May-September 2014) than the dry season (November 2014-April 2015) in all study locations. In general, parasitism was low. Some peaks of abundance were recorded in both wet and dry seasons. The evolution of the mortality of the insect pest was the same in all locations and peaks were observed from December 2014 to April 2015. The density of living *R. invadens* was significantly correlated with temperature and relative humidity. Impact of the parasitism due to *Anagyrus mangicola* Noyes and *Gyranusoidea tebygi* Noyes were also assessed and discussed.

Conclusion: Periods of *R. invadens* populations' abundance are well known in Western Burkina Faso. The parasitoids *A. mangicola* and *G. tebygi* are well established. The level of parasitism could be improved by releasing of *A. mangicola* and *G. tebygi* to control *R. invadens* efficiently.

Keywords: Burkina Faso; mango; mealybug; population dynamics; parasitoids; biological control.

1. INTRODUCTION

The mango mealybug *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera: Pseudococcidae) was incidentally introduced in West Africa in the 1980s [1]. It was observed for the first time in Lomé (Togo) and in Cotonou (Benin) before spreading along the Western coast of Africa in Ghana, Côte-d'Ivoire and Eastern Nigeria. In the mid-1990s, it had almost invaded the whole Western and Central Africa, from Senegal to the Democratic Republic of Congo [2]. This insect pest was identified in French Guyana (South America) in September 2014, and was thus reported for the first time on the American continent [3]. As soon as it was incidentally introduced in Ghana, 80% of crop losses were reported in the infested mango orchards [4]. Losses inflicted by *R. invadens* were also reported on some other fruit crops such as citrus and guava trees [5]. Control methods (mechanical and chemical) that were implemented by farmers since the first years of infestation failed to contain the pest. To that effect, two species of parasitoids (*Anagyrus mangicola* Noyes and *Gyranusoidea tebygi* Noyes) were imported from India and were released in several West African countries from 1987 to 1990 [6]. Satisfactory results were reported on crop losses reduction and on the improvement of farmers' socio economic status [7-10]. According to [2], once the populations of the insect pest drastically dropped under the action of parasitoids, the mealybug restricted itself to mango trees as its major host plant.

Nonetheless and despite the settlement of the parasitoids in countries that were not covered by the releases, the insect pest is still a major threat because of its devastating effect. Thus, 53% yield losses were reported on research stations in Korhogo-Lataha (Côte-d'Ivoire) by [11]. These losses at times rise to 100% in farmers' orchards. These same authors reported some constraints in mango production in Burkina Faso because of the mealybug.

Initially observed in the Far West of Burkina Faso, the mango mealybug then spread in all the Western region of the country. This region is the major mango production zone of the country. The insect pest was reported in 2009 in 29 locations distributed in the provinces of Comoé, Houet, Léraba and Kéné Dougou [12]. In the course of 2009, a short term monitoring (April to June) addressed the population dynamics of that insect pest within its distribution area (L.C. Otoïdobiga, personal presentation). This testifies that the mango mealybug is still a major concern. More comprehensive knowledge is necessary to develop an efficient and sustainable control strategy of this insect pest. This study aimed at improving knowledge on the population dynamics of the insect pest within its distribution area. Its objective is to determine the abundance variation of the insect pest populations over time and space in relation with abiotic and biotic factors.

2. MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in Western Burkina Faso, in the distribution area of the insect pest

[12]. The provinces of Comoé, Houet, and Kéné Dougou (Fig. 1) that are the most representative ones in mango production in that region were selected to host this study. Thus, a prospection was conducted from 14th -16th 2014 to set up a location for this study in each province. The selected locations were Bérégadougou (Comoé), Toussiana (Houet) and Orodara (Kéné Dougou). These three locations are circumscribed within a radius of 50 km and are part of the same agro-ecological zone. The

climate of the region is tropical and Sudanian type with an alternation of two distinct seasons: a wet season that extends on five to six months (from May to October) with a yearly rain accumulation beyond 900 mm and a dry season [13]. The monthly mean temperatures are occasionally above 35°C. The vegetation is a savanna woodland with open woodland forest and islets of dry tropical rainforests and gallery forests. Fig. 1 indicates the geographical position of the three study locations.

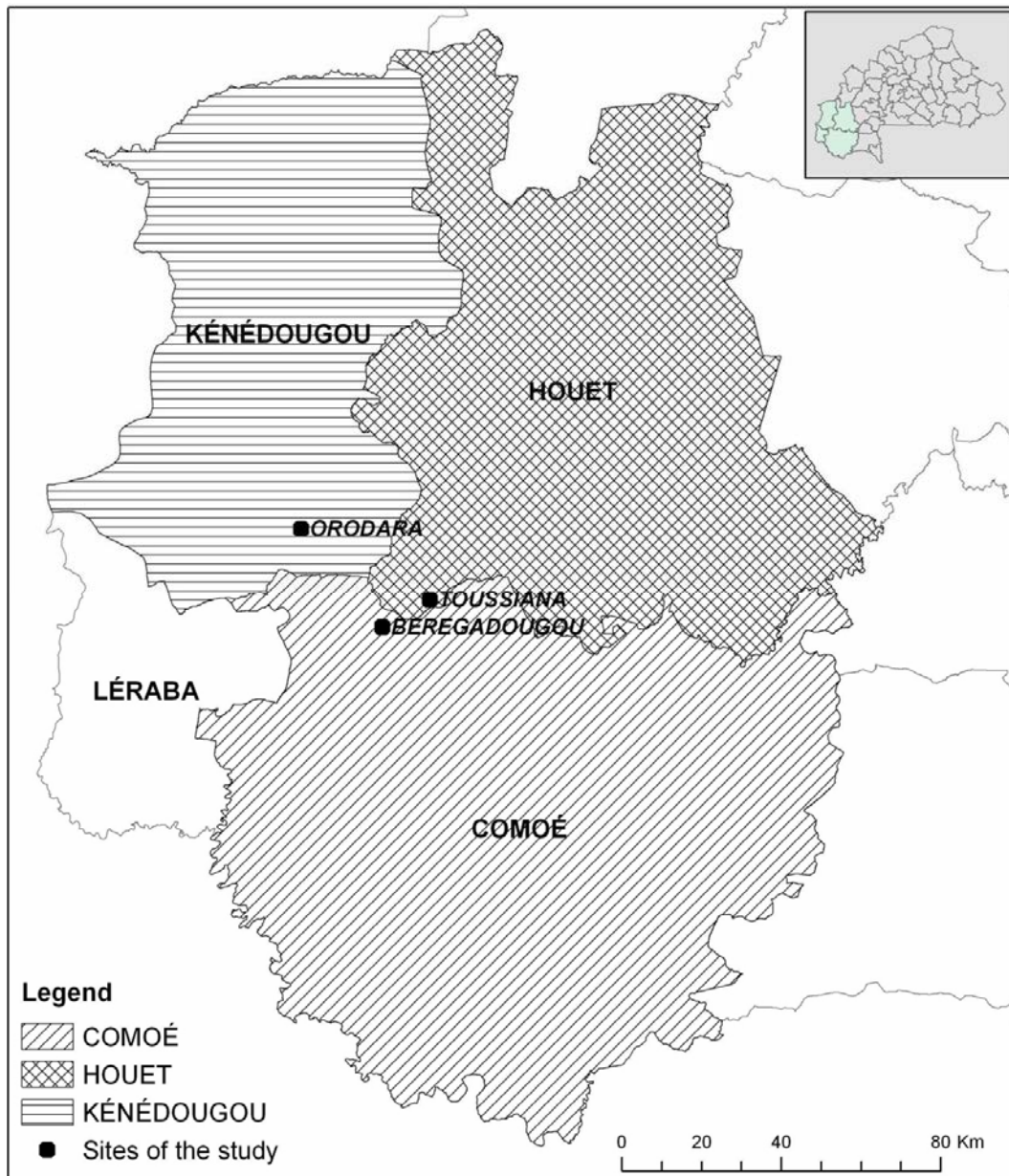


Fig. 1. Geographical situation of the study locations of *R. invandens* in Western Burkina Faso

2.1 Selection of Orchards for the Study

The selected orchards for the study equate to a stand of six mango trees infested by *R. invadens* in each location. *R. invadens*' infestations were confined to agglomerations and to the surroundings of highways and streets' facilities [12]. Mango trees that were selected in our study were in the agglomerations and were therefore not submitted to the rule of spacing that was applied in the orchards. On the Toussiana and Bérégadougou locations, the stand was composed of three varieties (that is 2 trees/variety) of mango trees. The varieties that were found in these locations included Amélie/Kent (Toussiana/Bérégadougou), Lippens and green Mangot. On the Orodara site, the stand was solely composed of the green Mangot variety. All these mango trees were distributed within an area of two hectares. No chemical pesticides were applied throughout the duration of this study.

2.2 Data Collection and Climate Characteristics of the Study Locations

Weather data included temperature, relative humidity and rainfall recorded in the course of our study. In each location, rainfall data were recorded daily between 8 A.M. and 6 P.M. using a direct reading rain gauger (Brand S.P.I.E.A-Patented S.G.D.G N°1 269 277). Similar profiles of rain periods were recorded in all locations. The wet season was effective from May to October with a cumulated rainfall of 968.8 mm recorded in Bérégadougou; 1037.78 mm in Orodara and 1215.5 mm in Toussiana. Temperature was recorded using the thermographer PRECIS-MECANIQUE, 95870 BEZONS-FRANCE and relative humidity was recorded using the hygrometer make. These two tools recorded on daily basis the hourly changes of temperature and hygrometrics, under shelter, on charts that were specifically conceived for that purpose. Daily means were computed according to the following formula:

$$\frac{\text{mini} + \text{maxi}}{2}$$

Mini being the minimal temperature or minimal relative humidity and maxi being the maximal temperature or maximal relative humidity recorded on that day. From the computed values, monthly means were determined. Relative humidity was high (81-87%) from June to October and low (39 to 41%) from December to

March. As for temperature, it was low from December to January (25 to 26°C) and high from February to April (29 to 32°C).

2.3 Monitoring *R. invadens*' populations

Rastrococcus invadens' population's densities, living insects, dead ones and parasitized ones were assessed during the in situ study. These data were collected every 15±1 days in all three locations. During these observations, leafed small branches were collected outside the frondescence of each tree respective the four cardinal points (East, West, North, South). Then five leaves were randomly sampled (three old leaves + two young leaves and vice versa) on each young branch according to the method used by [14] and [15]. All leaves were removed and carefully examined under magnification in order to register the values in line with the above mentioned parameters. After these observations, the parasitized insects were collected and put inside pillboxes. The sampled leaves were incubated inside A4 format enveloppes: approximately 8½ by 11 inches (one enveloppe per tree) to allow the insects to complete their developmental cycle. Four weeks afterwards the emerged insects were collected and were identified using a make.

2.4 Entry and Statistical Analysis of Data

Data were entered on the Excel software and were organized per tree for each variable. The values that were entered were divided by 120 (20 leaves per tree for six trees) in order to get the overall means expressed in number of insects per leaf, whether they were alive, parasitized or dead. Parasitism and mortality were expressed in percentage according to the formula used by [8] and [14]. *Rastrococcus invadens* populations' fluctuations and parasitism and mortality evolution were translated by curves using the corresponding total means. All data collected from the three study sites were grouped and submitted to multivariate analysis with SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 19.0.1 software.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Fluctuation of *R. invadens*' Populations and of Parasitism Level in Toussiana

The evolution of the population density of and parasitized *R. invadens* in Toussiana is

illustrated in the Fig. 2. The alive insect pest's populations increased from mid-May to mid-September 2014 with a mean of 31 to 132 individuals per leaf of mango tree. After two first peaks that were observed at the end of May (60 living insect pest per leaf) and at the end of June 2014 (80 living insect pest per leaf), the insect pest's populations' density gradually reached a maximum of 132 individuals per leaf at the end of August 2014. The populations decreased as from mid-September until mid-November 2014 with a density varying from 102 to 12 individuals per leaf. A slight increase in populations density (18 to 49 individuals per leaf) was then observed between the end of November 2014 and the end of April 2015.

The peaks of abundance of parasitized *R. invadens* were generally similar to those of living mealybugs. Thus, a first peak (6% of parasitized *R. invadens* per leaf) was observed in mid-June 2014. After this first peak, parasitism ratio moved from 3.61 to 1.39% between June and August 2014. A gradual increase in parasitism (3.38 to 8.04%) was recorded between mid-September and mid-November 2014. Then parasitism ratios decreased (3.70 to 2.90%) until end of December 2014 before fluctuating between 2.81 to

4.40% between mid-January and the end of April 2015.

3.2 Fluctuation of *R. invadens* Populations and Parasitism Level in Bérégadougou

The evolution of the population density of and parasitized *R. invadens* in Bérégadougou is illustrated in the Fig. 3. A first peak was observed amidst *R. invadens*' populations at the end of May 2014 with a mean of 50 living insects per leaf. Other populations peaks appeared in August and September 2014. During these periods, a mean of 57 to 102 living *R. invadens* were recorded per leaf. The density of the insect pest's populations dropped after mid-September (5 to 40 living individuals per leaf) between the end of September 2014 and the end of April 2015.

A mean parasitism of 2.5 to 8.6% was registered between May 2014 and April 2015. The first peak of abundance was observed at the end of June with 8.54% of parasitized scale insects per leaf. Three other peaks were observed in mid-December 2014 (5.9%), mid-January (6.8%) and mid-April 2015 (6.2%).

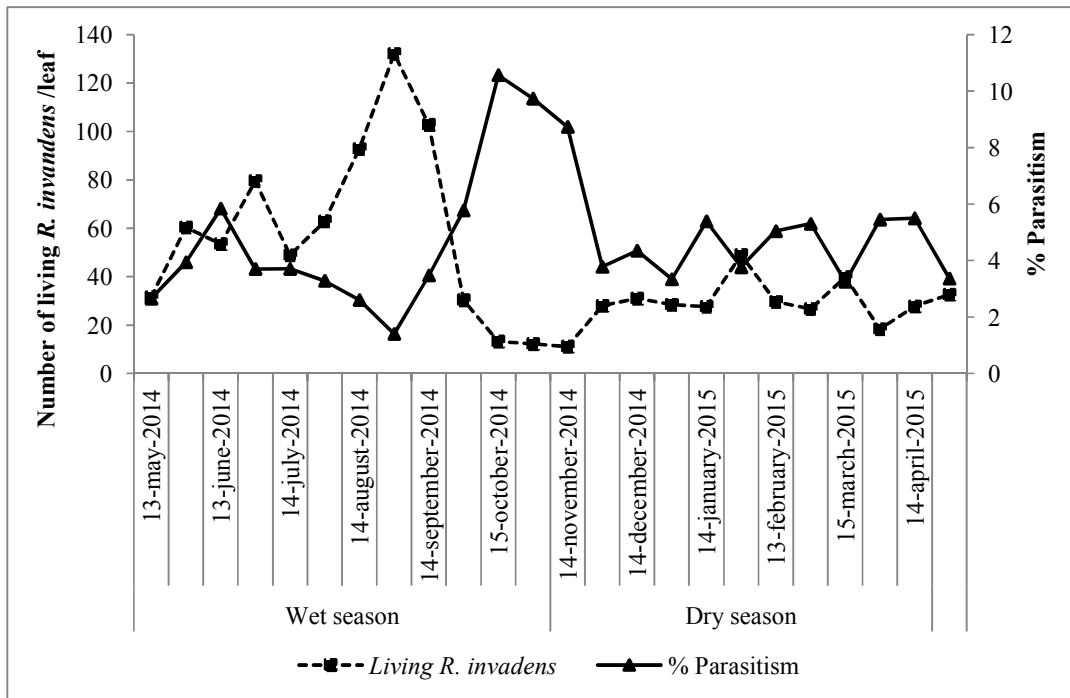


Fig. 2. Fluctuation of living *R. invadens*' populations and parasitism level in Toussiana, Western Burkina Faso

3.3 Fluctuation of *R. invadens*' Populations and of Parasitism Level in Orodara

A first peak of abundance of the insect pest' populations was observed at the end of May 2014 with a mean of 51 individuals per leaf (Fig. 4). As from the ending of June 2014 (51 living insects per leaf), the insect pest's populations increased gradually and reached maxima numbers of 164 and 159 individuals per leaf at the end of August and at mid-September 2014. Afterwards, a continuous decrease of the populations (82 to 40 living individuals per leaf) was observed between September and November 2014. Three peaks of abundance (85, 48 and 21 living individuals per leaf respectively) were recorded at the end of December 2014, mid-February and mid-March 2015. The parasitism level varied from 1.7 to 6.9% from May 2014 to April 2015. Two first peaks were observed during the wet season, at the end of June (6.9%) and at the end of July (6.8%) 2014. These were followed by a decrease of 6.3 to 1.7% parasitism between mid-August 2014 and the end of September 2014. Four other peaks were observed at the end of November 2014

(4.15%), end of January (4.33%), mid-March (5.62%) and mid-April (5.02%) 2015.

The populations of *R. invadens* evolved in a saw tooth pattern as from May 2014 moving towards peaks of abundance which highest were observed during the wet season in all study locations. The lowest population densities of the insect pest were observed during the dry season. These results are similar to [15]'s findings in Northern Côte d'Ivoire where climate conditions are close to those of our study zone. A contrario, in Southern Benin where the climate is of the bimodal type, the highest densities of the insect pest were observed during the dry season [8]. The parasitism was low ($\leq 11\%$) meaning the failure of parasitoids *G. tebygi* and *A. mangicola* to control *R. invadens*. Author [14] observed a mean parasitism ratio of 11.9% on sites that were highly polluted by smoke. The insect pest being mostly confined into agglomerations, parasitoids are less efficient because of air pollution due to human activities. In addition to the negative impact of pollution, hyper parasitoids like *Chartocerus hyalipennis* Hayat and *Marietta leopardina* Motschulsky were suspected of being limiting factors for *A. mangicola* and *G. tebygi* in some studies [15].

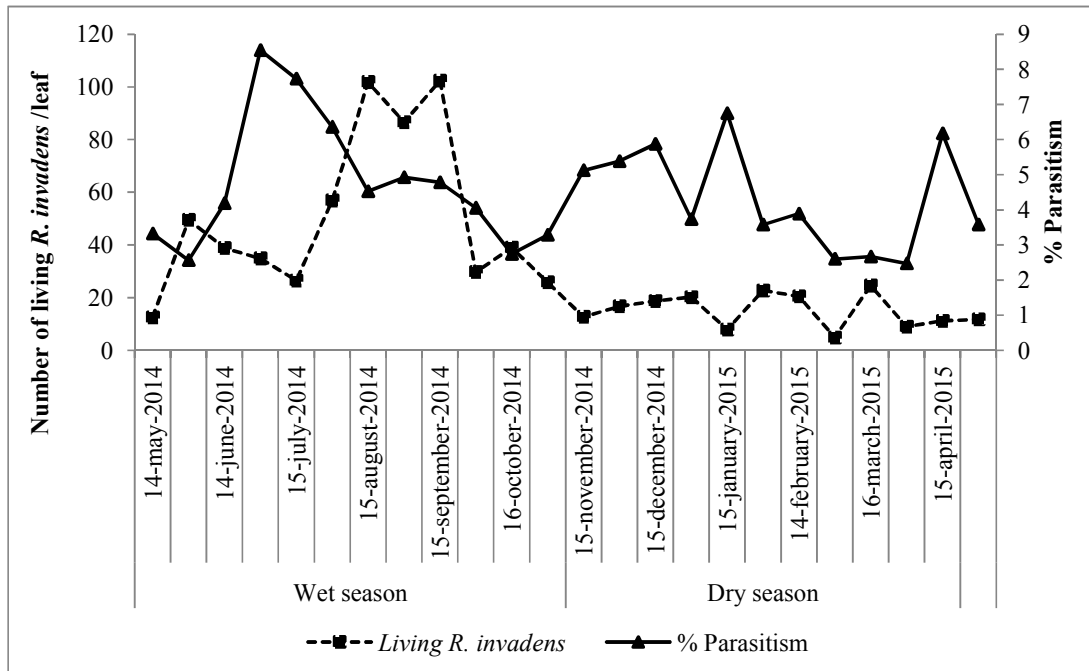


Fig. 3. Fluctuation of living *R. invadens*' populations and parasitism level in Bérégradougou, Western Burkina Faso

3.4 Fluctuation of *R. invadens*' Populations' Mortalities in the Study Locations

Rastrococcus invadens' populations mortalities were found low in all three locations from mid-May to mid September 2014 (Fig. 5). During that period, these mortalities varied from 0.7 to 5.6%. A peak of mortality was observed in each location in mid October in Toussiana (44%) and Bérégadougou (18%) and at the end of October in Orodara (18%). After that period, a decrease (31.92 to 1.82%) in the populations' mortalities of the insect pest was observed between September and November 2014. In Toussiana, the mortality ratio varied from 13.33 to 27.01%. These ratios were observed around four peaks of abundance that appeared between mid-December 2014 and end of April 2015. The same period of decrease was observed in Bérégadougou where the mortality ratio dropped from 15.43 to 6.65%. Mortality ratio then increased from 7.79 to 33.6% including three peaks between mid-December 2014 and the end of April 2015. In Orodara, a 15-day period of decrease (2.4%) was observed. After that period, the mortality ratio fluctuated around 5 to 30.52%

with 2 peaks observed between the end of November and the end of April 2015. The increase of temperature from the last months of wet season and during the dry season could be the cause of the high mortalities observed from October 2014 to April 2015.

3.5 Impact of Abiotic Factors and Parasitism on *R. invadens*' Populations in Study Locations

Multivariate analysis by Wilks Lambda model showed that environmental factors (location, temperature, rainfall) and parasitism had a highly significant effect ($P < .001$) on the density of living and dead *R. invadens*. The Inter-subjects effects Tests have revealed that the relative humidity affected significantly the density of living mealybugs (Table 1). The effect of this abiotic factor was not significant on the density of dead mealybugs. A significant and positive correlation was observed between density of living *R. invadens* and relative humidity (Table 2). This positive effect that was observed could therefore explain that an increase of relative humidity induces a high fecundity of the insect pest. With the cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti*

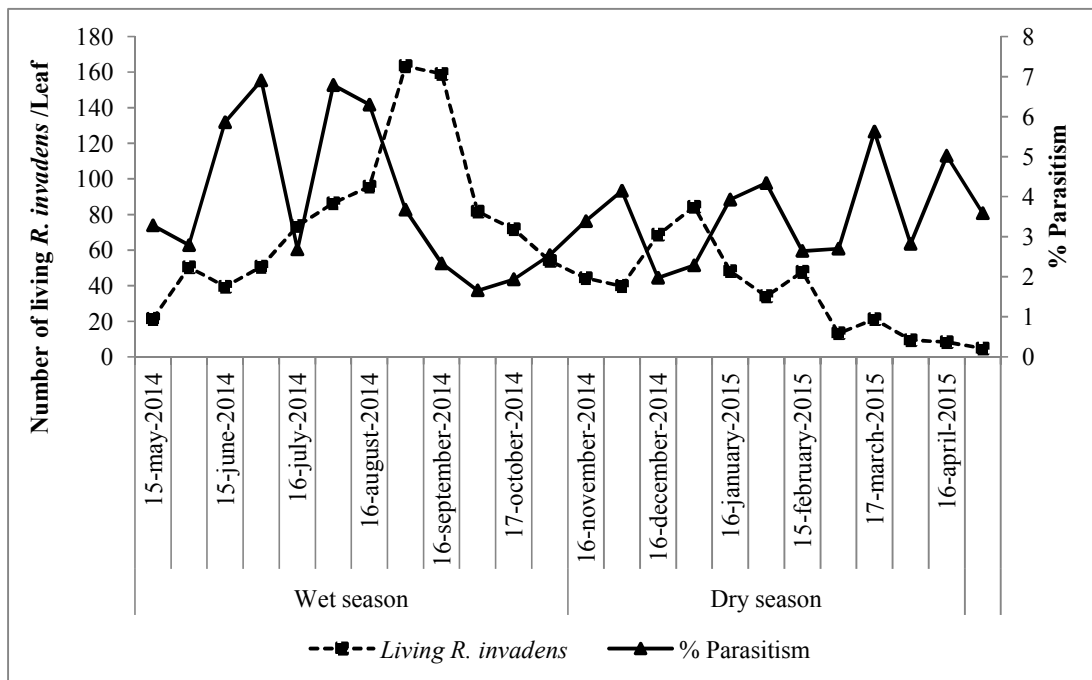


Fig. 4. Fluctuation of living *R. invadens*' populations and parasitism level in Orodara, Western Burkina Faso

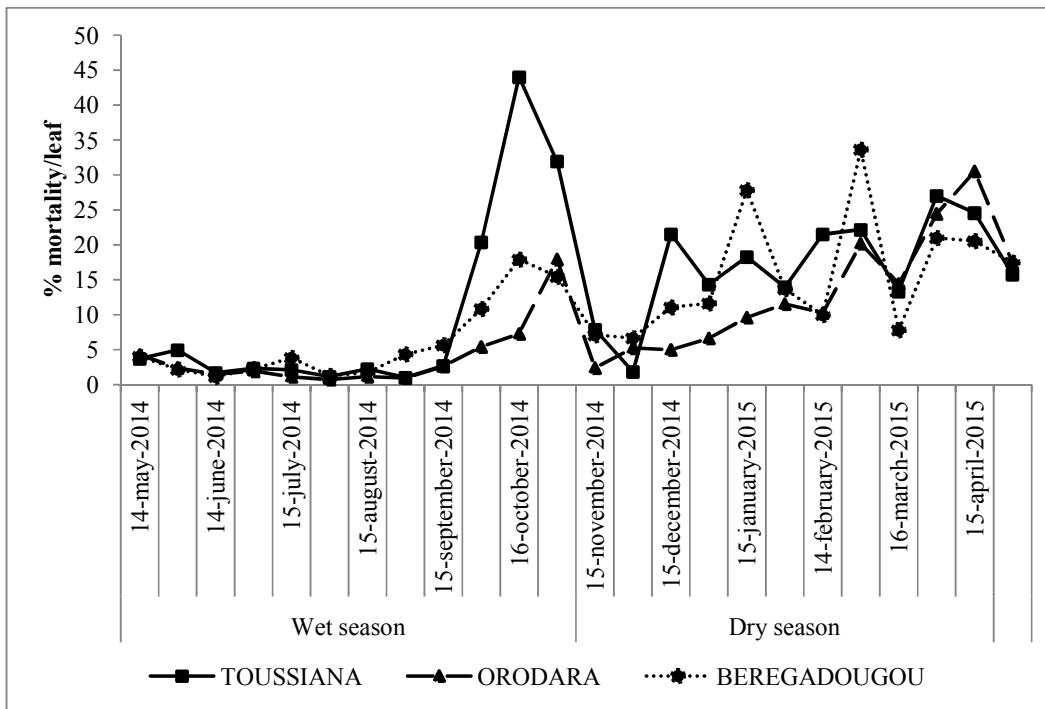


Fig. 5. Fluctuation of *R. invadens*' mortalities in all three study locations, Western Burkina Faso

Matile-Ferrero, [16] observed an increase in the number of laid eggs at different increasing relative humidity (respectively 60, 65 and 95%) with a constant temperature of 27°C. In a previous study, [17] reported that extreme values of relative humidity inflict high mortality to larval stages of *P. manihoti*. The correlation was significant but negative between living *R. invadens* and temperature. A contrario with [15]'s findings, the impact of temperature was not significant on *R. invadens*' populations. The negative coefficient of correlation for this abiotic factor could mean a decrease in the population density of living *R. invadens* as from a specific temperature level and vice-versa. This phenomenon was evidenced by [18]'s work which observed in the laboratory a drop of fecundity of *R. invadens* when temperature rises above 30°C. Besides, they concluded that temperatures between 20 and 30°C are supportive of the insect's development. In the field, [19] also observed a high fecundity of *R. invadens* in September; a period when temperatures varied between 26 and 30°C and relative humidity from 82 to 90%. That trend was observed during the wet season in our study. No significant relationship was evidenced between the density of living *R. invadens* and rainfall. But

relative humidity was significant and positively correlated with rainfall. According to [15], rainfalls can negatively or positively impact the populations of the insect pest. The positive effect results in the origination of new leaves which present interesting physicochemical traits for the insects. But rainfalls can have a negative effect through a mechanical action which displaces the insect's young larvae on the leaves. In this study, the negative effect of rainfall on *R. invadens* was significant because there was an increase in their populations during periods of heavy rains. The level of dead mealy bugs was significant and negatively correlated with density of living *R. invadens*. Temperature and relative humidity were significant and respectively positively and negatively correlated with density of dead *R. invadens*. The highest mortalities are therefore observed in dry season which presents high temperature and low relative humidity. The parasitism developed by *G. tebygi* and *A. mangicola* was significant and negatively correlated with living *R. invadens*. The decrease of living *R. invadens* was observed after the increase of parasitism and vice-versa during the study period. That could explain a well establishment of these parasitoids with their host *R. invadens*.

Table 1. Results of inter-subjects effects tests

Source	Dependent variate	Σ of square type III	ddl	Mean square	F	Signification	Partial Eta-square
Corrected Model	Living <i>R. invadens</i>	384388.870 ^a	6	64064.812	58.849	.000	.454
	Dead <i>R. invadens</i>	25399.642 ^b	6	4233.274	23.677	.000	.251
Constant	Living <i>R. invadens</i>	61852.479	1	61852.479	56.817	.000	.118
	Dead <i>R. invadens</i>	27.009	1	27.009	.151	.698	.000
Localities	Living <i>R. invadens</i>	20315.606	2	10157.803	9.331	.000	.042
	Dead <i>R. invadens</i>	1464.552	2	732.276	4.096	.017	.019
Temperature	Living <i>R. invadens</i>	49070.724	1	49070.724	45.075	.000	.096
	Dead <i>R. invadens</i>	966.464	1	966.464	5.405	.021	.013
Relative Humidity	Living <i>R. invadens</i>	5047.232	1	5047.232	4.636	.032	.011
	Dead <i>R. invadens</i>	380.709	1	380.709	2.129	.145	.005
Rainfall	Living <i>R. invadens</i>	53714.487	1	53714.487	49.341	.000	.104
	Dead <i>R. invadens</i>	5909.729	1	5909.729	33.053	.000	.072
Parasitism	Living <i>R. invadens</i>	81903.911	1	81903.911	75.235	.000	.150
	Dead <i>R. invadens</i>	3105.772	1	3105.772	17.371	.000	.039
Error	Living <i>R. invadens</i>	462669.888	425	1088.635			
	Dead <i>R. invadens</i>	75987.559	425	178.794			
Total	Living <i>R. invadens</i>	1714749.760	432				
	Dead <i>R. invadens</i>	181857,619	432				
Corrected Total	Living <i>R. invadens</i>	847058.758	431				
	Dead <i>R. invadens</i>	101387.201	431				

a. *R*-two = .454 (*R*-two adjusted = .446); b. *R*-two = .251 (*R*-two adjusted = .240)

Table 2. Correlation matrix between the density of *R. invadens* (living and dead) and abiotic and biotic factors

Variates	Living mealybugs	Dead mealybugs	Parasitism	Relative humidity	Rainfall	Temperature
Living mealybugs	1					
Dead mealybugs	-0.684	1				
Parasitism	-0.632	0.333	1			
Relative Humidity	0.632	-0.654	-0.248	1		
Rainfall	0.295	-0.461	0.081	0.845	1	
Temperature	-0.610	0.645	0.222	-0.999	-0.870	1

Bold values are different from 0 to a level of significance $\alpha = 0.05$

4. CONCLUSION

This study determined the variations in the abundance of *R. invadens*' populations in time and space in Western Burkina Faso. The populations of the insect pest were more during the wet season than the dry one and were significantly influenced by the effect of temperature, relative humidity and rainfalls on all study locations. Parasitoids *A. mangicola* and *G. tebygi* are well established but their action remained low on all study locations. The knowledge of the ecology of *R. invadens* supports the formulation of a sustainable control strategy with a view of improving mango

production in Burkina Faso. In that perspective, the two associated parasitoids, *A. mangicola* and *G. tebygi* could be mass reared and released for the biological control of *R. invadens*.

COMPETING INTERESTS

Authors have declared that no competing interests exist.

REFERENCES

1. Agouké D. Agricola U, Bokonon-Ganta HA. *Rastrococcus invadens* Williams

- (Hemiptera: Pseudococcidae), a serious exotic pest of fruit trees and other plants in West Africa. Bulletin of Entomological Research. 1988;78:695-702.
2. Neuenschwander P. Biological control in IPM systems in Africa. CABI, First Edition, 2003;448.
 3. ANSES. Analyse de risque phytosanitaire express *Rastrococcus invadens*, la cochenille asiatique identifiée récemment en Guyane française. ANSES, Cayenne, Guyane; 2015.
 4. Moore D. Lutte biologique contre la cochenille farineuse du manguier, In: Markham RH, Wodageneh A. et Agboola S. (eds.), Manuel de lutte biologique, tome 2: Etudes de cas de lutte biologique en Afrique., IITA/CLBA, Cotonou, Bénin. 1992;95-125.
 5. Agouké D, Agricola U, et A. Bokonon-Ganta. *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera, Pseudococcidae), un ravageur exotique des arbres fruitiers en Afrique de l'Ouest. Bulletin du Service de la Protection des Végétaux. 1989;11:17-29.
 6. Neuenschwander P, Boavida C, Bokonon-Ganta A, Gado A, Herren HR. Establishment and spread of *Gyranusoidea tebygi* Noyes and *Anagyrus mangicola* Noyes (Hymenoptera: Encyrtidae), two biological control agents released against the mango mealybug *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera: Pseudococcidae) in Africa. Biocontrol Science and Technology. 1994;4:61-69.
 7. Vogele JM, Agouké D, Moore D. Biological control of the fruit tree mealybug *Rastrococcus invadens* Williams in Togo: A preliminary sociological and economic evaluation. Tropical Pest Management. 1991;37(4):379-382.
 8. Boavida C, Neuenschwander P. Population dynamics and life tables of the mango mealybug, *Rastrococcus invadens* Williams, and its introduced natural enemy, *Gyranusoidea tebygi* Noyes in Benin. Biocontrol Science and Technology. 1995;5:489-508.
 9. Pitan OOR, Akinlosotu TA, Odebiyi JA. Impact of *Gyranusoidea tebygi* Noyes (Hymenoptera: Encyrtidae) on the mango mealybug *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera: Pseudococcidae) in Nigeria. Biocontrol Science and Technology. 2000;10(3):245-254.
 10. Bokonon-Ganta AH, De Groote H, Neuenschwander P. Socio economic impact of biological control of mango mealybug in Benin. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2002;93: 367-378.
 11. Hala N, Kehe M, Allou K. Incidence de la cochenille farineuse du manguier *Rastrococcus invadens* Williams, 1986 (Homoptera ; Pseudococcidae) en Côte d'Ivoire. Agronomie Africaine. 2004;16(3): 29-36.
 12. Dakouo D, Otoïdobia LC, Ouedraogo NS, Guira M, Dabire R, Kambou G. Rapport de synthèse des activités conduites pour la lutte biologique contre les insectes ravageurs du manguier. Projet PADL/CLK, INERA, Programme CMFPT, 01 BP 910 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 2011;33.
 13. Lerebours PA, Menager M-T, et al. Atlas de l'Afrique : Burkina Faso: Groupe Jeune Afrique: les éditions du Jaguar, Paris, France. 2005;62.
 14. Pitan OOR. Variations in the population of the mango mealybug *Rastrococcus invadens* (Homoptera: Pseudococcidae), and its parasitism, in relation to smoke pollution. International Journal of Tropical Insect Science. 2008;28(3):119-125.
 15. Hala N, Dembele B, N'Da AA, Coulibaly F, Kehe M, N'Goran YA, Doumbia M. Population dynamics of the mango mealybug, *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera:Pseudococcidae) in northern Côte d'Ivoire. Journal of Animal & Plant Sciences. 2011;12(1):1481-1492.
 16. Obame Minko D. Influence des facteurs écologiques (température et hygrométrie) sur le développement de la cochenille farineuse du manioc (*Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero, Homoptera: Pseudococcidae). Tropicultura. 2009;27: 21-25.
 17. Le Rü B, Papierok B. Taux intrinsèque d'accroissement naturel de la cochenille du manioc, *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Homoptera, Pseudococcidae). Intérêt d'une méthode simplifiée d'estimation. Acta Oecologica, Oecol. Appl. 1987;8:3-14.
 18. Kemabonta KA, Odebiyi JA. Comparative studies on the effect of temperature on life tables of *Rastrococcus invadens* Williams

- (Homoptera: Pseudococcidae) and 19. Sahoo AK, Ghosh AB. Biology of the
Gyranusoidea tebygi Noyes mealybug *Rastrococcus invadens*
(Hymenoptera: Encyrtidae). Ghana Jnl Williams. Environment & Ecology. 2000;
Agric. Sci. 2002;35:23-31. 18(3):752-756.

© 2016 Nébié et al.; This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Peer-review history:
The peer review history for this paper can be accessed here:
<http://sciencedomain.org/review-history/13884>

Inventory and Distribution of Mango Mealybugs Species in Western Burkina Faso: Relative Abundance and Population Fluctuation

Karim Nébié¹, Souleymane Nacro², Issoufou Ouédraogo¹, Dona Dakouo¹,
Lenli Claude Otoïdobiga¹

¹Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Direction Régionale de Recherches Environnementales et Agricoles de l'Ouest (DRREAO), Station de Farako-Bâ, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

²Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Centre Régional de Formation et de Recherches Environnementales et Agricoles de Kamboinsé, Ouagadougou, Burkina Faso
Email: snacro2006@yahoo.fr

Received 18 June 2016; accepted 23 July 2016; published 26 July 2016

Copyright © 2016 by authors and Scientific Research Publishing Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Rastrococcus invadens was the only reported mealybug species on the mango tree in Western Burkina Faso. This study aimed at carrying out the inventory and showing the importance and distribution of other mealybug species associated with the mango tree. It was also important to determine the periods of abundance of these species vis-a-vis *R. invadens*. For this purpose, the density of mealybugs was assessed in three study sites (Toussiana, Bérégadougou and Orodara) in Western Burkina Faso. The observations were made from June 2014 to June 2015 at a frequency of 15 ± 1 days. They focused on 20 leaves (5 leaves/cardinal point) levied on each mango tree. The species identified as *Ferrisia virgata* Cockerell and *Icerya aegyptiaca* Douglas were collected from mangos infested by *R. invadens* representing 98% - 99% of the density of the observed mealybug species. The periods of abundance of *F. virgata* and *I. aegyptiaca* were respectively the dry season and the rainy season. The effect of temperature, relative humidity and rainfall on the populations of *F. virgata* and *I. aegyptiaca* was also discussed. These results highlight the distribution range of *F. virgata* and *I. aegyptiaca* worldwide including Burkina Faso. *R. invadens* was the main mealybug species on mango in Burkina Faso in general and in the Western region of the country in particular.

Keywords

Mango Mealybugs, *Rastrococcus invadens*, *Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca*

1. Introduction

In Burkina Faso, the fruit sector is an important source of incomes for smallholders. More than half (58%) of fruit growers are mango producers. Mango is the major fruit product (62.50% of national production) in Burkina Faso [1]. Nearly 75% of the 400,000 tons of mangoes produced annually are provided by the Western region of the country. In this area, yield losses are partly associated with insect pests. Thus, many insect pests have been reported on the mango tree by [2]. But the main insect pests are fruit flies, mealybugs and termites [3]. *Rastrococcus invadens* Williams was the only mealybug species reported as a threat to the mango industry in Burkina Faso [3] [4]. This invasive species was accidentally introduced in West Africa in the 1980s [5]. In Burkina Faso, it was reported for the first time in Niangoloko at the border with Côte d'Ivoire before invading the entire Western region of the country [3]. With the emergence and spread of *R. invadens*, some investigations are undertaken in order to develop a sustainable control strategy. Thus, the populations of the insect pest were monitored from 2014 to 2015 in mango orchards [5]. At the same period, mealybug species complex was evaluated on mango trees. This study aimed at showing mealybugs species diversity but also at determining their period of abundance and their importance in relation to *R. invadens*.

2. Methods

2.1. Study Sites

This work was conducted in three mango producing provinces of Western Burkina Faso. These included Houet, Comoé and Kéné Dougou (Figure 1). This region is the *R. invadens* distribution area. Several locations were surveyed to identify and locate the importance and the distribution of any mealybug species present in the distribution area of *R. invadens* (Figure 1). The Western region of Burkina Faso enjoys a Sudan type tropical climate [6]. The rainy season lasts for 5 to 6 months from May to October with an annual total of more than 900 mm. The annual average temperature rarely exceeds 35°C.

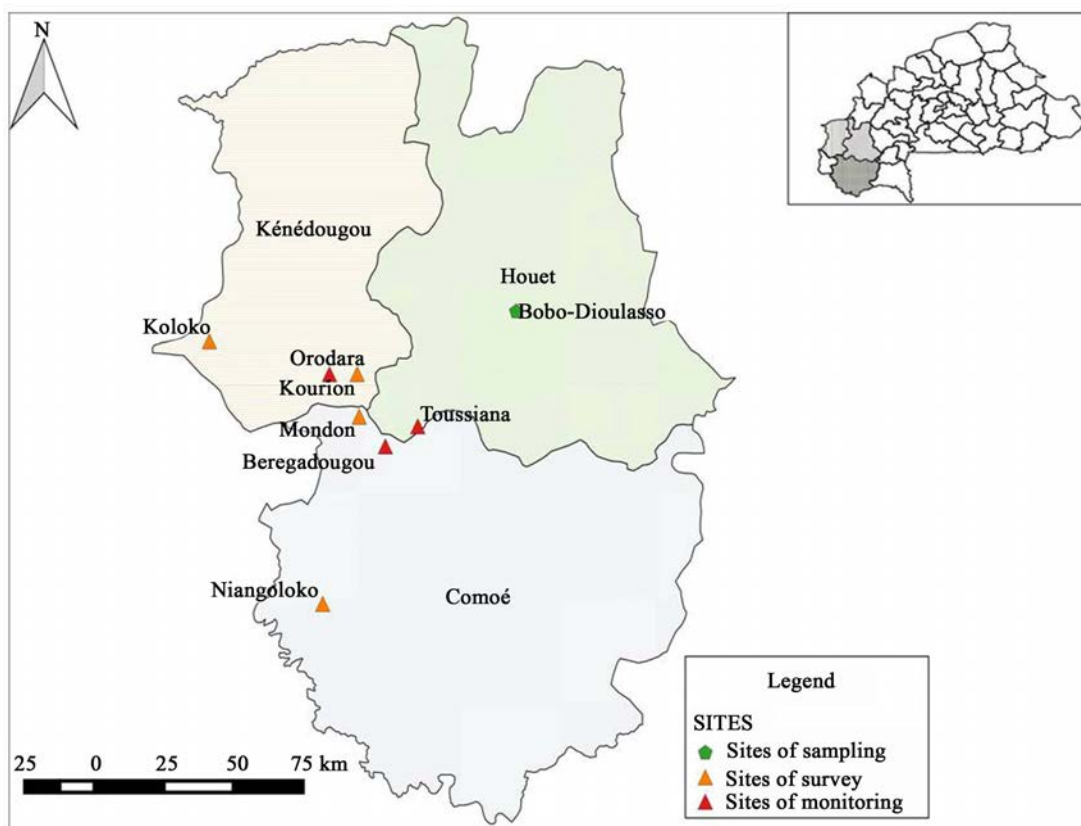


Figure 1. Inventory sites, distribution and monitoring of mango mealybugs in Western Burkina Faso.

2.2. Collection and Identification of Mealybugs in the Mango Tree

Other mealybug species were collected during an inventory of *R. invadens* sources of infestation in Bobo-Dioulasso city. The leaves, inflorescences and mango fruits infested with mealybugs have first been photographed. Mealybugs were then collected and kept in vials containing alcohol 70°. A preliminary screening made in the laboratory brought together the insects according to their shape, size and color of the different body parts. All specimens were sent to the International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Cotonou (Bénin) for identification.

2.3. Census of Mealybugs on Mango Infested by *Rastrococcus invadens*

Following the identification results, seven mango orchards infested by *R. invadens* were prospected. Visual observations were made on the leaves, inflorescences and fruits of mango trees. The damage due to mealybugs was described. Specimens were collected and compared to a reference collection to confirm the identity of mealybugs and establish their distribution area.

2.4. Evaluation of the Density of Identified Mealybug Populations

The density of identified mealybugs was assessed on six mango trees selected in each of the following three locations: Bérégadougou, Orodara and Toussiana. Four mango varieties have been involved in this study. These are: Amélie, Kent, Lippens and green Mangot. These mangoes were kept insecticide free during the study. The observations were done from late June 2014 to mid-June 2015 at a frequency of 15 ± 1 days. They were carried out in situ on 20 leaves that is 5 leaves/cardinal point taken from the canopy of each mango tree. Live mealybugs (all stages included) of each species were counted by hand magnifiers.

2.5. Statistical Analysis

Data on the density of mealybugs were registered and organized by site, tree, and with Microsoft Excel software 2010. At each site, six trees were sampled for the evaluation of the mealybug densities. Observations were made on 120 leaves (20 leaves/tree) at each observation frequency. Thus, the average number of individuals of each species of mealybug was calculated by dividing the total number of mealybugs observed by the number of leaves (120). These values were expressed in number of mealybugs (all stages included)/leaf. They have been used to reflect the changing populations of mealybugs as observation frequencies. Throughout the study period, the total average was calculated to determine the proportion of each mealybug species. For statistical analysis purposes, the data were log transformed $(x + 1)$ where x is the number of mealybugs. The transformed data were then pooled and subjected to multivariate analysis to assess the effect of abiotic factors on insect populations. Bilateral correlation analysis (thresholds of 5% and 1%) was also made by the Pearson law to establish the level of relationship between the density of the mealybugs and the abiotic factors. These analyzes were performed with SPSS software (Statistical Package for the Social Sciences) statistics 22.

3. Results

3.1. Mealybug Species Identified and Their Damage

Two mealybug species have been identified on the mango trees infested by *R. invadens*. These are: *Icerya aegyptiaca* Douglas, 1890 (Hemiptera: Monophlebidae) and *Ferrisia virgata* Cockerell, 1893 (Hemiptera: Pseudococcidae). *Icerya aegyptiaca* infestations were mainly observed on leaves and twigs and very rarely on blossoms and fruit. On leaves, the bug colonized the midrib of the lower and upper parts (**Photo 1**).

Those of *F. virgata* were observed on the leaves, inflorescences and fruits. On leaves, the pest colonized both leaf surfaces through the main and secondary veins. On fruits, infestations begin with the stem and gradually invade the entire skin of the fruit (**Photo 2**).

3.2. Distribution and Relative Abundance of *Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca* and *Rastrococcus invadens*

The survey carried out in seven locations confirmed the presence of *I. aegyptiaca* and *F. virgata* on mango trees infested by *R. invadens*. These three mealybug species were seen together on the leaves, inflorescences and fruits



Photo 1. Colony of *Icerya aegyptiaca* on the main nervure of the lower surface of a mango leaf.



Photo 2. A mango infested by a colony of *Ferrisia virgata*.

of mango trees. After 24 observation sessions twice weekly, the sum of the average densities expressed in number of mealybugs/leaf has reached 1290 in Orodara. Those of Toussiana and Bérégadougou reached respectively 1031 and 714. The species *R. invadens* was more abundant than *F. virgata* and *I. aegyptiaca* in all study sites (**Table 1**). *Rastrococcus invadens* represented alone 98 to 99% of the sum of the average densities of mealybugs counted on the leaves of mango trees. *Ferrisia virgata* and *I. aegyptiaca* represented about 1% - 2% of the population. *Icerya aegyptiaca* was more abundant than *F. virgata* in Bérégadougou and Orodara.

3.3. Fluctuation of the Populations of *Ferrisia virgata* and *Icerya aegyptiaca* According to the Season

On the three study sites, the density of populations of *F. virgata* and *I. aegyptiaca* remained very low (0 - 4 mealybugs/leaf) during the study period (**Figures 2-4**).

In Bérégadougou, *I. aegyptiaca* was dominant over *F. virgata* during the rainy season (May to October 2014 and May-June 2015). It was observed on average from 0.06 to 1.2 individuals /leaf for *I. aegyptiaca* against 0 to 0.25 for *F. virgata* (**Figure 2**). *Icerya aegyptiaca* populations reached abundance picks in mid-July, late August 2014

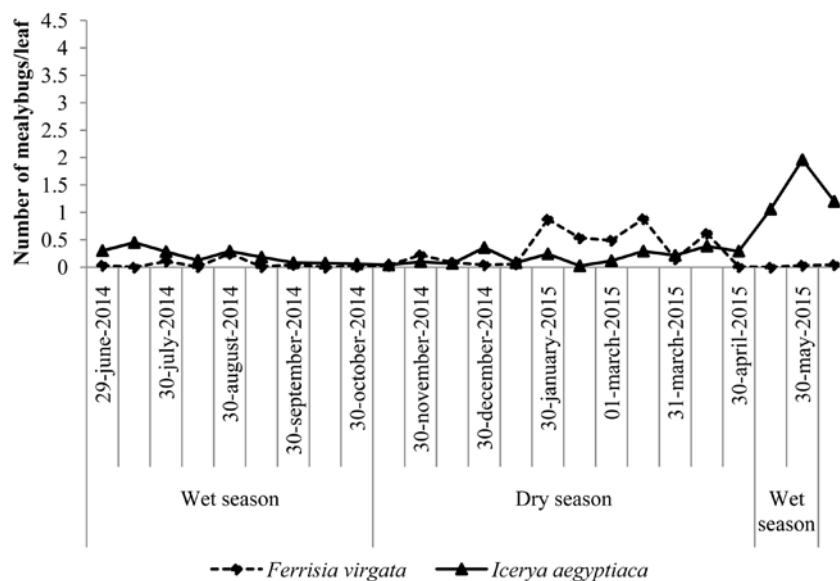


Figure 2. Evolution of the populations of *Ferrisia virgata* and *Icerya aegyptiaca* in Bérégadougou between June 2014 and June 2015.

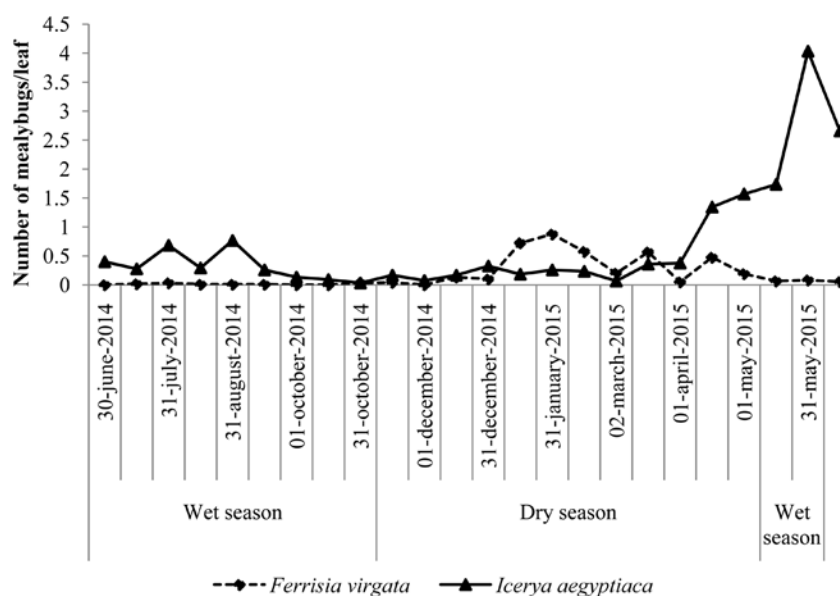


Figure 3. Evolution of the populations of *Ferrisia virgata* and *Icerya aegyptiaca* in Orodara between June 2014 and June 2015.

Table 1. Relative abundance (%) of *Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca* and *Rastrococcus invadens* from June 2014 to June 2015 in three locations of Burkina Faso.

N°	Family	Species	Location		
			Relative abundance (%)		
			Bérégadougou	Orodara	Toussiana
1	Pseudococcidae	<i>Ferrisia virgata</i>	0.64	0.33	0.78
2		<i>Rastrococcus invadens</i>	98.20	98.39	98.92
3	Monophlebidae	<i>Icerya aegyptiaca</i>	1.16	1.28	0.31

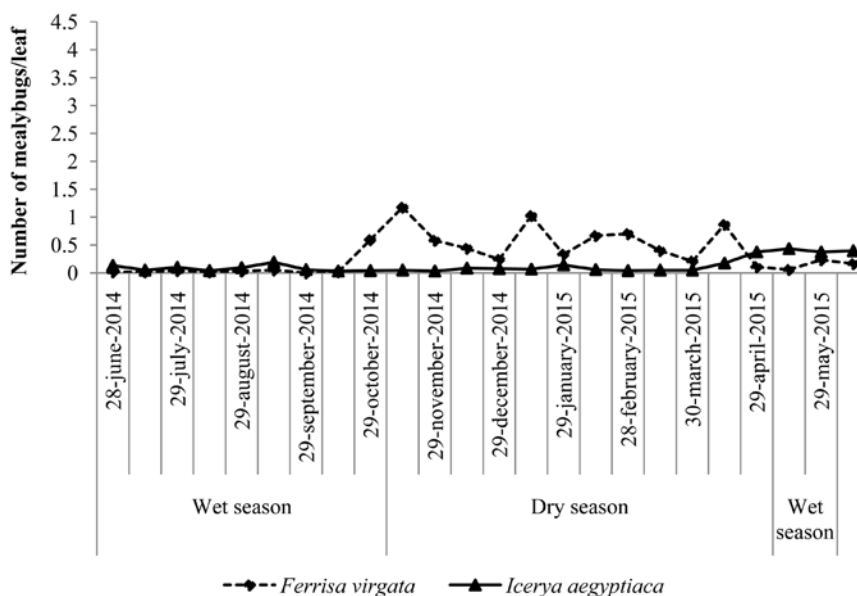


Figure 4. Evolution of the populations of *Ferrisia virgata* and *Icerya aegyptiaca* in Toussiana between June 2014 and June 2015.

and at the end in May 2015. Those of *F. virgata* were observed in late July and end-August 2014. During the dry season (December 2014–April 2015), *F. virgata* was more frequent than *I. aegyptiaca* with an average of 0.033 to 0.9 individuals/leaf against 0.04 to 0.38 individuals/leaf. Furthermore, *F. virgata* reached abundance picks in late November 2014, late January, mid-March and mid-April 2015. The abundance picks of *I. aegyptiaca* were observed in late December 2014 and late January 2015.

In the second study site (Orodara), *I. aegyptiaca* also prevailed over *F. virgata* during the rainy season (Figure 3). It was recorded on average from 0.03 to 4.03 individuals/leaf of *I. aegyptiaca* against 0 to 0.06 for *F. virgata*. The abundance picks of *I. aegyptiaca* were observed in late July, late August 2014 and at the end of May 2015. During the dry season, *F. virgata* was more frequent with an average density of .04 to 0.9 individuals/leaf against 0.06 to 0.4 individuals/leaf for *I. aegyptiaca*. The abundance picks of *F. virgata* were observed in late January and mid-April 2015.

On the third study site (Toussiana), *I. aegyptiaca* was more frequent during the rainy season with on average starting from 0.04 to 0.5 individuals/leaf against 0 to 0.23 individuals/leaf for *F. virgata* (Figure 4). The abundance picks of *I. aegyptiaca* were observed in late July, mid-September 2014 and mid-May 2015. *Ferrisia virgata* was more frequent during the dry season, with an average of 0.1 to 1.2 individuals/leaf against 0.03 to 0.14 individuals/leaf for *I. aegyptiaca*. The picks abundance of *F. virgata* were observed in mid-November 2014, mid-January, late February and mid-April 2015.

3.4. Effect of Abiotic Factors on the Populations of *Ferrisia virgata* and *Icerya aegyptiaca*

Based on the analysis of the climate data collected from the three study sites, it appeared that the temperature, the relative humidity and the location have had a significant effect ($P < 0.0001$) on the populations of *F. virgata* and *I. aegyptiaca*.

The temperature and relative humidity significantly affected ($0.037 \leq P < 0.0001$) the populations of *I. aegyptiaca* (Table 2). A positive and significant correlation was observed between *I. aegyptiaca* and the temperature (Table 3).

Only the relative humidity significantly affected ($P < 0.0001$) the populations of *F. virgata*. This species density was significantly correlated with temperature, relative humidity, and rainfall. The correlation coefficient was positive for temperature and negative for relative humidity and rainfall.

4. Discussion

The surveys carried out in *R. invadens* habitats allowed the discovery of two mango native mealybugs species.

Table 2. Results of multivariate analysis performed to show the effect of each abiotic factor on *Ferrisia virgata* and *Icerya aegyptiaca* in three locations of Western Burkina Faso.

Source	Dependant variable	Sum of squares of type III	df	Mean square	F	Signification	Partial eta-square
Corrected model	<i>Ferrisia virgata</i>	1.355 ^a	5	0.271	22.330	<0.0001	0.215
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	1.477 ^b	5	0.295	16.301	<0.0001	0.167
Constant	<i>Ferrisia virgata</i>	0.068	1	0.068	5.601	0.018	0.014
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	0.431	1	0.431	23.775	<0.0001	0.055
Temperature	<i>Ferrisia virgata</i>	0.003	1	0.003	0.268	0.605	0.001
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	0.541	1	0.541	29.854	<0.0001	0.068
Relative humidity	<i>Ferrisia virgata</i>	0.616	1	0.616	50.800	<0.0001	0.111
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	0.097	1	0.097	5.357	0.021	0.013
Rainfall	<i>Ferrisia virgata</i>	0.000	1	0.000	0.013	0.908	0.000
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	0.001	1	0.001	0.058	0.809	0.000
Locations	<i>Ferrisia virgata</i>	0.101	2	0.051	4.183	0.016	0.020
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	0.850	2	0.425	23.440	<0.0001	0.103
Error	<i>Ferrisia virgata</i>	4.950	408	0.012			
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	7.395	408	0.018			
Total	<i>Ferrisia virgata</i>	8.342	414				
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	12.328	414				
Corrected total	<i>Ferrisia virgata</i>	6.305	413				
	<i>Icerya aegyptiaca</i>	8.872	413				

^aR-two = 0.215 (R-two adjusted = 0.205); ^bR-two = 0.167 (R-two adjusted = 0.156); ^cComputed with alpha = 0.05.

Table 3. Level of correlation between the populations of *Ferrisia virgata* and *Icerya aegyptiaca* and the abiotic factors.

	<i>Rastrococcus invadens</i>	Temperature	Relative humidity	Rainfall	<i>Ferrisia virgata</i>	<i>Icerya aegyptiaca</i>
<i>Rastrococcus invadens</i>	1					
Temperature	-0.481**	1				
Relative humidity	0.304**	-0.287**	1			
Rainfall	0.451**	-0.377**	0.684**	1		
<i>Ferrisia virgata</i>	-0.075	0.152**	-0.444**	-0.328**	1	
<i>Icerya aegyptiaca</i>	-0.180**	0.229**	0.058	0.018	-0.023	1

**The correlation was positive at 0.01 level (bilateral).

These include *F. virgata* and *I. aegyptiaca*. So, this study reports for the first time on the existence of *F. virgata* and *I. aegyptiaca* in Burkina Faso. *Ferrisia virgata*, *I. aegyptiaca* and *R. invadens* were found on the leaves, the inflorescences and the fruits of infested mango. In addition, each species had a specific position on the leaves. *Rastrococcus invadens* and *F. virgata* colonize the lower and upper faces of the leaf through the main and secondary veins. Conversely, *I. aegyptiaca* colonizes the lower and upper faces of the leaf through the main veins. *Ferrisia virgata* was already reported in several countries in West Africa and throughout the world [7]-[10]. As for *I. aegyptiaca*, it was also observed in West Africa, Asia and Oceania [11]. Species diversity of mango mealybugs revealed in this study is relatively limited as compared to the 10 species of the same families reported on

the mango tree in the North and Central regions of Benin [9]. *Ferrisia virgata* and *I. aegyptiaca* populations' densities were very low during the study period. However, [5] reported on the same trees and study sites an average density of 4 - 164 individuals/leaf for *R. invadens* over the same study period. These comparative results thus show that *R. invadens* is the main mango mealybug species in Western Burkina Faso. This result suggests that *R. invadens* being an invasive species accidentally introduced into West Africa in the 1980s [12] is more aggressive than the native species and thus was able to occupy their habitats. On the other hand, the mango tree could be a secondary host plant for *F. virgata* and *I. aegyptiaca*; which explains their low density as compared to *R. invadens*. However, there is no evidence yet to support such hypothesis. *Ferrisia virgata* and *I. aegyptiaca* are important pests of specific crops or mango in some countries. Thus, *F. virgata* is Cocoa Swollen Shoot vector Virus (CSSV) rife in West Africa on the cocoa tree *Theobroma cacao* L. [13] [14]. This pest is also the vector of the Pepper Yellow Mottle Virus (PYMoV) in black pepper [15]. This insect pest is also one of the three main mealybugs of cotton in India, Pakistan and Brazil [16]. In the case of Burkina Faso, it is not excluded that this insect pest may become a major pest on cotton. But a study has not been conducted in this direction. *Icerya aegyptiaca* is known as a pest on various plants. It causes serious damage to mango in Iran where it was accidentally introduced in 2013 [17]. In India, [18] reported a significant reduction in the growth of seedlings of teak, *Tectona grandis* Lf. Considered as a quarantine pest in the United States, *I. aegyptiaca* was intercepted between 1995 and 2012. Eight interceptions have been made on a variety of hosts from many countries. Abundant populations of *F. virgata* and *I. aegyptiaca* were alternately depending on the season in all study sites. *Icerya aegyptiaca* and *F. virgata* probably share the same food resource at different times of the year. This reduces a possible interspecific competition. Thus, the abundance of *F. virgata* periods were observed in the dry season (November to April) while those of *I. aegyptiaca* had lasted from May to October (rainy season). The rainy period is the period of abundance of *R. invadens* established by [5] on the same study sites. The relative humidity and temperature are the main abiotic factors that affected the populations of *F. virgata* and *I. aegyptiaca*. There is a significant and negative correlation between the populations of *F. virgata* with relative humidity and rainfall. However, populations of *I. aegyptiaca* were significantly and positively correlated with temperature.

5. Conclusion

During this study, two mealybugs native species were inventoried on the mango tree in Western Burkina Faso. These include *F. virgata* and *I. aegyptiaca*. These species coexist with *R. invadens* on the mango tree. The results of this study inform the scientific community on the distribution range of *F. virgata* and *I. aegyptiaca* worldwide including Burkina Faso. These two native mealybugs species were less abundant than *R. invadens* which remained the main mealybug species. *Rastrococcus invadens* exerts a trophic pressure on native mealybug species causing significant damage to the mango tree. This shows the need to explore opportunities for sustainable control of this insect pest. But it is important to consider the indigenous species of mealybugs in the control strategy. The management of these mealybugs species needs additional research on their host plants and their natural enemies.

Acknowledgements

We thank the West Africa Agricultural Productivity Programme (WAAPP) for funding this study. We extend our gratitude to Dr. Georg Georgen from IITA for its technical support in identifying the insect specimens. Our thanks also go to the technicians Adama Sow, Sanon Zézouma and Boukary Ouédraogo for their support in the field.

References

- [1] MAH (2011) Rapport d'analyse du module arboriculture phase 2: RGA 2008. Bureau Central du Recensement Général de l'Agriculture (Ed.), Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, Ouagadougou, Burkina Faso, 252 p + annexes.
- [2] Ouédraogo, S.N. (2002) Etude diagnostique des problèmes phytosanitaires du manguier (*Mangifera indica* L.), de l'oranger (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) et du mandarinier (*Citrus reticulata* Blanco) dans la province du Kénédougou. Mémoire d'Ingénieur de Développement Rural, Opt. Agronomie, Univ. Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 95 p.
- [3] Dakouo, D., Otoïdobia, L.C., Ouédraogo, N.S., Guira, M., Dabiré, R. and Kambou, G. (2011) Rapport de synthèse des activités conduites pour la lutte biologique contre les insectes ravageurs du manguier. Project PADL/CLK, INERA, Programme CMFPT, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 33 p.
- [4] Hala, N., Kehe, M. and 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.
- [5] Nébié, K., Nacro, S., Otoïdobia, L.C., Dakouo, D. and Somda, I. (2016) Population Dynamics of the Mango Mealybug *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera: Pseudococcidae) in Western Burkina Faso. *American Journal of Experimental Agriculture*, **11**, 1-11. <http://dx.doi.org/10.9734/AJEA/2016/24819>
- [6] Lerebours, P.A., Menager, M.-T., *et al.* (2005) Atlas de l'Afrique: Burkina Faso. Les éditions du Jaguar, Groupe Jeune Afrique, Paris, France, 62 p.
- [7] CAB International (1966) *Ferrisia virgata* [Distribution Map]. Distribution Maps of Plant Pests, June. CAB International, Wallingford, UK, Map 219.
- [8] Ben-Dov, Y. (1994) A Systematic Catalogue of the Mealybugs of the World (Insecta: Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae and Putoidae) with Data on Geographical Distribution, Host Plants, Biology and Economic Importance. Intercept Limited, Andover, UK, 686 p.
- [9] Germain, J.-F., Vayssieres, J.-F. and Matile-Ferrero, D. (2010) Preliminary Inventory of Scale Insects on Mango Trees in Benin. *Entomologia Hellenica*, **19**, 124-131.
- [10] Muniappan, R., Watson, G.W., Vaughan, L., Gilbertson, R. and Noussourou, M. (2012) New Records of Mealybugs, Scale Insects, and Whiteflies (Hemiptera: Sternorrhyncha) from Mali and Senegal. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, **28**, 1-7. <http://dx.doi.org/10.3954/1523-5475-28.1.1>
- [11] CABI and EPPO, 2003. *Icerya aegyptiaca*. [Distribution map]. Distribution Maps of Plant Pests (1st revision), December. Wallingford, UK: CAB International, Map 221.
- [12] Neuenschwander, P., Boavida, P., Bokonon-Ganta, A.H., Gado, A. and Herren, H.R. (1994) Establishment and Spread of *Gyranusoidatebygi* Noyes and *Anagyrus mangicola* Noyes (Hymenoptera: Encyrtidae), Two Biological Control Agents Released against the Mango Mealybug *Rastrococcus invadens* Williams (Homoptera: Pseudococcidae) in Africa. *Biocontrol Science and Technology*, **4**, 61-69. <http://dx.doi.org/10.1080/09583159409355313>
- [13] Kouakou, K., Kébé, B.I., Kouassi, N., Anno, A.P., Aké, S. and Muller, E. (2011) Impact de la maladie virale du swollen shoot du cacao sur la production de cacao en milieu paysan à Bazré (Côte-d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, **43**, 2947-2957.
- [14] Obodji, A., N'Guessan, W.P., N'Guessan, K.F., Seri-Kouassi, B.P., Aboua, L.R.N., Kébé, I. and Aka, R. (2015) Inventory of the Mealybug Species Associated with the Cocoa Tree (*Theobroma cacao* L.) in Four Producing Areas Infected with the Swollen Shoot Disease in Côte d'Ivoire. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **3**, 312-316.
- [15] Boari, A.J., Ollveira, A.C.S., Prado, E., Pantoja, K.F.C. and Souza, C.M. (2010) *Ferrisia virgata* (Cockerell): Vetora do *Piper yellow mottle virus* da pimenteira doreino. *Horticultura Brasileira*, **28**, 957-962.
- [16] Oliveira, M.D., Silva-Torres, C.S.A., Torres, J.B. and Morais Oliveira, J.E. (2014) Population Growth and Within-Plant Distribution of the Striped Mealybug *Ferrisia virgate* (Cockerell) (Hemiptera: Pseudococcidae) on Cotton. *Revista Brasileira de Entomologia*, **58**, 71-76. <http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262014000100012>
- [17] Moghaddam, M., Esfandiari, M. and Khosravi, M. (2015) First Record of *Icerya aegyptiaca* (Hemiptera: Coccoidea: Monophlebidae) from Iran. *1st Iranian International Congress of Entomology*, Tehran, 25-31 August 2015, 42 p.
- [18] Senthilkumar, N. and Barthakur, N.D. (2005) A Record of Egyptian Fluted Scale, *Icerya aegyptiaca* (Douglas) on Teak in Assam. *Insect Environment*, **11**, 31-32.



Submit or recommend next manuscript to SCIRP and we will provide best service for you:

Accepting pre-submission inquiries through Email, Facebook, LinkedIn, Twitter, etc.

A wide selection of journals (inclusive of 9 subjects, more than 200 journals)

Providing 24-hour high-quality service

User-friendly online submission system

Fair and swift peer-review system

Efficient typesetting and proofreading procedure

Display of the result of downloads and visits, as well as the number of cited articles

Maximum dissemination of your research work

Submit your manuscript at: <http://papersubmission.scirp.org/>

ANNEXES

Annexe 1 (a) : Image satellitaire du site de Bérégadougou montrant la distribution des pieds de manguiers retenus pour l'étude de la dynamique des populations des cochenilles et des parasitoïdes (réalisée le 08 mars 2016)



Annexe 1 (b) : Image satellitaire du site de Orodara montrant la distribution des pieds de manguiers retenus pour l'étude de la dynamique des populations des cochenilles et des parasitoïdes (réalisée le 08 mars 2016)



Annexe 1 (c) : Image satellitaire du site de Toussiana montrant la distribution des pieds de manguiers retenus pour l'étude de la dynamique des populations des cochenilles et des parasitoïdes (réalisée le 08 mars 2016)



Annexe 2 : Fiche de monitoring de la dynamique des populations des cochenilles (*Ferrisia virgata*, *Icerya aegyptiaca* et *Rastrococcus invadens*) et du parsitisme, , *Gyranusoïdea tebygi* et *Anagyrus mangicola*

Localité : _____ Arbre N° : _____ Variété : _____ Date d'échantillonnage : _____ Diamètre (cm): _____ Taille (m) : _____

Feuilles		Dégâts				<i>Rastrococcus invadens</i>				<i>F. virgata</i>	<i>I. aegyptiaca</i>	Parasitisme		Ennemis naturels adultes			
Points cardinaux	N°	0	1	2	3	4	L1	L2	L3			Pupes de mâles	Mâles adultes	Femelles adultes	Cochenilles mortes	Momies vivantes	Momies émergées
E	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
O	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
N	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
S	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
Total																	
Moyenne																	

Autres ravageurs et maladies : Feuilles.....Fleurs.....Fruits.....

P=*Paracoccus marginatus*, M=mouches des fruits, Mb=Mouches blanches, T=Trips, B=Bactériose, A=Anthracnose, Au= Autres

Stade végétatif de la plante : Végétatif.....Floraison.....Fructification.....

Dégâts : 0-0% (Pas de fumagine et de cochenilles), 1-1-25% (cochenilles seulement), 2-26-50% (cochenilles+quelques traces de fumagine), 3-51-75%(cochenilles+50-75% de fumagine), 4-76-100% (cochenilles+75-100% de fumagine)

Parasitoïdes : G=*Gyranusoïdea tebygi*, A=*Anagyrus mangicola*, M= *Marietta leopardina*,

Prédateurs : N= *Nephus flavomaculatus*, E= *Exochomus sp.*, D= *Dicrodiplosis cf manihoti*

Annexe 3 : Rapports d'identification des spécimens de cochenilles et de parasitoïdes reçus de l'IITA

IDENTIFICATION REPORT

<p>To: Karim Nebie Institut de l'Environnement et de la Recherche Agricole Ouagadougou Burkina Faso e-mail: karimnebie@yahoo.fr / dakouo@hotmail.com</p>	<p>19. Mar. 2014 Your reference Number: Identified by: (1): G. Goergen (2): (3):</p>
---	--

Number of specimens	sample Nr.:	Description	Identified by	Number of specimens retained
>10	1	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 17), 27. Jan. 2014, on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nebie <i>Ferrisia virgata</i> (Cockerell) (Hem.: Pseudococcidae)	1	0
>10	2	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 24), 27. Jan. 2014, on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nebie <i>Ferrisia virgata</i> (Cockerell) (Hem.: Pseudococcidae)	1	0
>10	3	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 25), 29. Jan. 2014, on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nebie <i>Ferrisia virgata</i> (Cockerell) (Hem.: Pseudococcidae)	1	0
>10	4	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 6), 01. Feb. 2014, on ornamental plant, Leg.: K. Nebie <i>Ferrisia virgata</i> (Cockerell) (Hem.: Pseudococcidae)	1	0
For further information see the attached species data sheet				

IDENTIFICATION REPORT

<p>To: Karim Nebie Institut de l'Environnement et de la Recherche Agricole Ouagadougou Burkina Faso e-mail: karimnebie@yahoo.fr / dakouo@hotmail.com</p>	<p>23. Apr. 2014 Your reference Number: Identified by: (1): G. Goergen (2): (3):</p>
---	--

Number of specimens	sample Nr.:		Identified by	Number of specimens retained
>10	1	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 08), 12. Feb. 2014, ex <i>Ferrisia virgata</i> on <i>Anona squamosa</i> , leg.: K. Nebie <i>Dicrodiplosis</i> cf <i>manihoti</i> Harris (Dip.: Cecidomyiidae)	1	0
>10	2	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 08), 14. Mar. 2014, ex <i>Ferrisia virgata</i> on <i>Psidium guayava</i> , leg.: K. Nebie <i>Chartocerus hyalipennis</i> Hayat (Hym.: Signiphoridae)	1	0
		This is a gregarious secondary parasitoid of Pseudococcidae usually via chalcidoid primary parasitoid		
>10	3	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 08), 14. Mar. 2014, ex <i>Ferrisia virgata</i> on <i>Cassia siamea</i> , leg.: K. Nebie <i>Chartocerus hyalipennis</i> Hayat (Hym.: Signiphoridae)	1	0
>10	4	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 08), 14. Mar. 2014, ex <i>Ferrisia virgata</i> on <i>Psidium guayava</i> , leg.: K. Nebie <i>Chartocerus hyalipennis</i> Hayat (Hym.: Signiphoridae)	1	0
>10	5	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 08), 14. Mar. 2014, ex <i>Ferrisia virgata</i> on <i>Cassia siamea</i> , leg.: K. Nebie <i>Dicrodiplosis</i> cf <i>manihoti</i> Harris (Dip.: Cecidomyiidae)	1	0
>10	6	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 08), 14. Mar. 2014, ex <i>Ferrisia virgata</i> on <i>Cassia siamea</i> , leg.: K. Nebie <i>Chartocerus hyalipennis</i> Hayat (Hym.: Signiphoridae)	1	0
>10	7	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 08), 14. Mar. 2014, ex <i>Ferrisia virgata</i> on <i>Cassia siamea</i> , leg.: K. Nebie <i>Nephus flavomaculatus</i> Fürsch (Col.: Coccinellidae)	1	0
>10	8	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 17), 19. Mar. 2014, on <i>Mangifera indica</i> , leg.: K. Nebie <i>Icerya aegyptiaca</i> (Douglas) (Hem.: Margarodidae)	1	0
>10	9	Burkina Faso, Bobo Dioulasso (Sect 08), 14. Mar. 2014, on <i>Mangifera indica</i> , leg.: K. Nebie <i>Icerya aegyptiaca</i> (Douglas) (Hem.: Margarodidae)	1	0
>10	10	Burkina Faso, Bobo Dioulasso, Mar. 2014, on <i>Mangifera indica</i> , leg.: K. Nebie <i>Rastrococcus invadens</i> Williams (Hem.: Pseudococcidae)	1	5

The person making the identification should be acknowledged in any publication in which these determinations are used. While all reasonable care is taken to ensure the accuracy and reliability of an identification report, no liability can be accepted by IITA and its staff in respect of any loss damage or injury, which may be suffered as a result of the identification report.

IDENTIFICATION REPORT

<p>To: Karim Nebie Institut de l'Environnement et de la Recherche Agricole Ouagadougou Burkina Faso e-mail: karimnebie@yahoo.fr / dakouo@hotmail.com</p>	<p>22. Jun. 2015 Your reference Number: Identified by: (1): G. Goergen (2): (3):</p>
---	--

Number of specimens	sample Nr.:		Identified by	Number of specimens retained
>10	1	Burkina Faso, Orodara, 31. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Anagyrus mangicola</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♂)	1	0
8	2	Burkina Faso, Orodara, 31. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Anagyrus mangicola</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♀)	1	0
10	3	Burkina Faso, Orodara, 31. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Marietta leopardina</i> Motschulsky (Hym.: Aphelinidae) (all specimens ♀)	1	0
		Hyperparasitoid on various chalcidoidea parasitic on mealybugs		
10	4	Burkina Faso, Orodara, 31. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Anagyrus mangicola</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♂)	1	0
>10	5	Burkina Faso, Orodara, 31. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Gyranoidea tebygi</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♂)	1	0
10	6	Burkina Faso, Orodara, 2. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Pachyneuron</i> sp. (Hym.: Pteromalidae)	1	0
		Either hyperparasitoids or parasitoids of mealybug predators (<i>Cacoxenus</i>)		
>10	7	Burkina Faso, Orodara, 2. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Pachyneuron</i> sp. (Hym.: Pteromalidae)	1	0
9	8	Burkina Faso, Orodara, 2. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Pachyneuron</i> sp. (Hym.: Pteromalidae)	1	0
>10	9	Burkina Faso, Orodara, 31. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Anagyrus mangicola</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♂)	1	0
7	10	Burkina Faso, Orodara, 31. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Anagyrus mangicola</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♀)	1	0

The person making the identification should be acknowledged in any publication in which these determinations are used. While all reasonable care is taken to ensure the accuracy and reliability of an identification report, no liability can be accepted by IITA and its staff in respect of any loss damage or injury, which may be suffered as a result of the identification report.

Number of specimens	sample Nr. :		Identified by	Number of specimens retained
>10	11	Burkina Faso, Orodara, 2. Jul. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Gyranoidea tebygi</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♂)	1	0
8	12	Burkina Faso, Orodara, 17. Jul. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Habrolepis</i> sp. (Hym.: Encyrtidae)	1	0
		Parasitoids of Diaspididae		
>10	13	Burkina Faso, Orodara, 2. Jul. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Gyranoidea tebygi</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♂)	1	0
8	14	Burkina Faso, Bérégaougou, 1. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Marietta leopardina</i> Motschulsky (Hym.: Aphelinidae) (all specimens ♀)	1	0
5	15	Burkina Faso, Bérégaougou, 1. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Marietta leopardina</i> Motschulsky (Hym.: Aphelinidae) (all specimens ♂)	1	0
>10	16	Burkina Faso, Bérégaougou, 1. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Marietta leopardina</i> Motschulsky (Hym.: Aphelinidae) (all specimens ♀)	1	0
>10	17	Burkina Faso, Bérégaougou, 1. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Anagyrus mangicola</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♀)	1	0
7	18	Burkina Faso, Bérégaougou, 1. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Anagyrus mangicola</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♂)	1	0
6	19	Burkina Faso, Bérégaougou, 1. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Anagyrus mangicola</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♀)	1	0
6	20	Burkina Faso, Bérégaougou, 16. Jul. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Anagyrus mangicola</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♂)	1	0
>10	21	Burkina Faso, Bérégaougou, 16. Jul. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Gyranoidea tebygi</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♂)	1	0
8	22	Burkina Faso, Bérégaougou, 16. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Pachyneuron</i> sp. (Hym.: Pteromalidae) (all specimens ♀)	1	0
>10	23	Burkina Faso, Bérégaougou, 16. Jul. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Gyranoidea tebygi</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♀)	1	0
>10	24	Burkina Faso, Bérégaougou, 27. Aug. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié Undet. sp. (Psocoptera)	1	0
		Saprophagous insects (booklice, barklice) that are not predatory or parasitic on <i>R. invadens</i>		

The person making the identification should be acknowledged in any publication in which these determinations are used. While all reasonable care is taken to ensure the accuracy and reliability of an identification report, no liability can be accepted by IITA and its staff in respect of any loss damage or injury, which may be suffered as a result of the identification report.

Number of specimens	sample Nr. :		Identified by	Number of specimens retained
>10	25	Burkina Faso, Bérégadougou, 16. Jul. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Gyranusoidea tebygi</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♂)	1	0
>10	26	Burkina Faso, Bérégadougou, 22. Aug. 2014, ex. Tephritidae pupae on fruits of <i>Sarcocephalus latifolius</i> , Leg.: K. Ilboudo & R. Simdé <i>Fopius caudatus</i> (Szépligeti) (Hym.: Braconidae) (all specimens ♀)	1	0
>10	27	Burkina Faso, Bérégadougou, 22. Aug. 2014, ex. Tephritidae pupae on fruits of <i>Sarcocephalus latifolius</i> , Leg.: K. Ilboudo & R. Simdé <i>Fopius caudatus</i> (Szépligeti) (Hym.: Braconidae) (all specimens ♂)	1	0
>10	28	Burkina Faso, Bérégadougou, 22. Aug. 2014, ex. Tephritidae pupae on fruits of <i>Sarcocephalus latifolius</i> , Leg.: K. Ilboudo & R. Simdé <i>Fopius caudatus</i> (Szépligeti) (Hym.: Braconidae) (all specimens ♀) Color variant of <i>F. caudatus</i>	1	0
7	29	Burkina Faso, Bérégadougou, 22. Aug. 2014, ex. Tephritidae pupae on fruits of <i>Sarcocephalus latifolius</i> , Leg.: K. Ilboudo & R. Simdé <i>Tetrastichus giffardianus</i> Silvestri (Hym.: Eulophidae) (6♀+1♂)	1	0
>10	30	Burkina Faso, Toussiana, 30. Jun. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Gyranusoidea tebygi</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♀)	1	0
9	31	Burkina Faso, Toussiana, 30. Jun. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Anagyrus mangicola</i> Noyes (Hym.: Encyrtidae) (all specimens ♀)	1	0
>10	32	Burkina Faso, Toussiana, 30. Jun. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Habrolepis</i> sp. (Hym.: Encyrtidae)	1	0
>10	33	Burkina Faso, Toussiana, 30. Jun. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Pachyneuron</i> sp. (Hym.: Pteromalidae) (all specimens ♀)	1	0
>10	34	Burkina Faso, Toussiana, 15. Jul. 2014, ex mummified <i>Rastrococcus invadens</i> on <i>Mangifera indica</i> , Leg.: K. Nébié <i>Marietta leopardina</i> Motschulsky (Hym.: Aphelinidae) (all specimens ♀)	1	0
9	35	Burkina Faso, Toussiana & Orodara, 30. Jun. 2014, on leaves of <i>Mangifera indica</i> infested with <i>Rastrococcus invadens</i> , Leg.: K. Nébié <i>Exochomus troberti</i> Mulsant (Col.: Coccinellidae)	1	0

The person making the identification should be acknowledged in any publication in which these determinations are used. While all reasonable care is taken to ensure the accuracy and reliability of an identification report, no liability can be accepted by IITA and its staff in respect of any loss damage or injury, which may be suffered as a result of the identification report.