



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR AGROFORESTERIE

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE
Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2019-2020

N° D'ORDRE : 13/20

CANDIDAT

Nom : COULIBALY

Prénom : ADAMA

THÈSE

**Pour l'obtention du grade de Docteur de
L'Université Jean Lorougnon Guédé
Mention : Agriculture et Forestérie Tropicale
Spécialité : Entomologie Agricole**

**Méthodes de lutte intégrée incluant
l'utilisation de *Oecophylla longinoda*
(Hymenoptera: Formicidae), de l'huile de
neem (Azadirachtine) et de Success appât
(Spinosad) dans la lutte contre les
mouches des fruits du manguier au nord
de la Côte d'Ivoire**

JURY

**Président : Monsieur BAKAYOKO Sidiky, Professeur Titulaire,
Université Jean Lorougnon Guédé**

**Co-Directeurs : Monsieur SORO Senan, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guédé**

**Monsieur HALA N'klo, Directeur de Recherche,
Centre National de Récherche Agronomique**

**Rapporteur : Monsieur YEO Kolo, Professeur Titulaire,
Université Nangui Abrogoua**

**Examineurs : Monsieur N'DEPO Ossey Robert, Maître de
Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé**

**Monsieur KOFFI N'DODO Boni, Maître de
Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé**

Soutenue publiquement
le 23 mars 2021

	Pages
TABLE DES MATIERES	
DÉDICACE	vii
AVANT-PROPOS	viii
REMERCIEMENTS	ix
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xi
LISTE DES TABLEAUX	xii
LISTE DES FIGURES	xiii
LISTE DES ANNEXES	xv
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE: GENERALITES	5
1. Manguier.....	6
1.1. Taxonomie, origine et distribution.....	6
1.1.1. Taxonomie.....	6
1.1.2. Origine et distribution.....	6
1.2. Description du manguier.....	7
1.2.1. Système racinaire.....	7
1.2.2. Partie aérienne.....	7
1.2.3. Variétés de mangue dans le monde.....	8
1.2.4. Les principales variétés de mangues cultivées en Afrique de l’Ouest.....	9
1.2.4.1. Mangues locales ou variété polyembryonnées.....	9
1.2.4.2. Variétés monoembryonnées propagées par greffage.....	11
1.2.4.3. Variétés floridiennes.....	13
1.2.5. Composition des vergers de manguiers greffés en Côte d’Ivoire.....	14
1.3. Stade phénologique du manguier.....	16
1.3.1. Phase végétative et floraison du manguier.....	16
1.3.2. Phase de développement et de maturité de la mangue manguier.....	16

	Pages
1.4. Stades de développement physiologique de la mangue	16
1.5. Propriétés et usages du manguier	17
1.6. Importance de la mangue	17
1.6.1. Sur le plan international	17
1.6.2. Sur le plan national.....	18
1.6.3. Zone de production de mangue en Côte d'Ivoire	18
2. Mouches des fruits	20
2.1. Taxonomie.....	20
2.2. Historique	20
2.3. Biologie	22
2.4. Dégâts des mouches des fruits	22
2.5. Écologie.....	24
2.5.1. Influence des facteurs climatiques.....	27
2.5.2. Influence des facteurs non climatiques	29
2.6. Lutte contre les mouches des fruits.....	30
2.6.1. Surveillance des populations.....	31
2.6.2. Mesure prophylactiques	31
2.6.3. Lutte chimique.....	32
2.6.4. Lutte autocide ou technique de stérilisations des mâles.....	33
2.6.5. Lutte à base de substance naturelle	33
2.6.6. Lutte à base d'appât alimentaire.....	34
2.6.7. Lutte intégrée.....	34
2.6.8. Lutte à base d'agent biologique	34
2.7. Cas spécifique du prédateur : fourmis oecophylles.....	36
2.7.1. Organisation des fourmis.....	36
2.7.2. Écologie et comportement des fourmis oecophylles.....	37

	Pages
2.7.3. Taxonomie des fourmis oecophylles.....	39
2.7.4. Régime alimentaire des fourmis oecophylles.....	39
2.7.5. Importance des fourmis oecophylles.....	40
2.7.5.1. Protection contre les mouches des fruits	40
2.7.5.2. Action répulsive contre les rats, les roussettes et les voleurs.....	40
2.7.5.3. Action sur la qualité des fruits et la production	40
2.7.5.4. Mécanismes mis en oeuvre par <i>O. longinoda</i> pour la lutte biologique contre les bioagresseurs	41
2.7.6. Problématiques pour l'adoption du genre <i>Oecophylla</i> par les producteurs.....	46
2.7.6.1. Interactions avec les homoptères Coccidae.....	46
2.7.6.2. Morsures.....	47
2.7.6.3. Enroulement des feuilles	47
2.7.6.4. Interactions des fourmis oecophylles avec les autres ennemis naturels.....	48
2.7.6.5. Interactions avec les pollinisateurs.....	49
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	51
2.1. Site d'étude.....	52
2.1.1. Localisation des sites d'étude.....	52
2.1.2. Caractéristique des sites d'étude	52
2.1.2.1. Situation géographique.....	52
2.1.2.2. Conditions climatiques	52
2.2. Matériel	56
2.2.1. Matériel animal	56
2.2.2. Matériel végétal.....	56
2.2.3. Matériel technique.....	59
2.2.3.1. Matériel de piégeage des mouches.....	59
2.2.3.2. Matériel de protection contre les morsures de <i>Oecophylla longinoda</i>	62
2.2.3.3. Matériel d'aide à la colonisation des arbres par <i>Oecophylla longinoda</i>	62

	Pages
2.2.3.4. Fiches de relevé	62
2.2.3.5. Matériel d'enregistrement des données climatiques	62
2.2.3.6. Matériel d'incubation des mangues.....	65
2.2.3.7. Matériel de conservation des mouches.....	65
2.2.3.8. Matériel d'identification des mouches des fruits	65
2.2.3.9. Matériel de traitement contre les mouches des fruits.....	68
2.3. Méthodologie	71
2.3.1. Choix des vergers	71
2.3.2. Dispositif expérimental	71
2.3.2.1. Dispositif de piégeage	71
2.3.2.2. Installation et relevé des pièges.....	71
2.3.2.3. Relevé des stades phénologiques	74
2.3.2.4. Relevé des facteurs climatiques	74
2.3.2.5. Dispositif de lutte contre les mouches des fruits par l'usage de <i>Oecophylla longinoda</i> comme prédateur.....	74
2.3.2.6. Segregation des colonies et colonisation des arbres par <i>Oecophylla longinoda</i>	76
2.3.2.7. Evaluation des dégâts dus aux mouches des fruits.....	77
2.3.2.8. Suivi de l'abondance des fourmis oecophylles dans les vergers.....	78
2.4. Traitement et analyse des données	82
2.4.1. Analyse de la diversité biologique des mouches des fruits.....	82
2.4.1.1. Diversité α	82
2.4.1.2. Indice de diversité β	84
2.4.2. Abondance	84
2.4.3. Indice de variation saisonnière de <i>Oecophylla longinoda</i>	85
2.4.4. Evaluation de l'abondance moyenne des mouches par piège et par jour (FTD).....	85
2.4.5. Evaluation des paramètres de protection sur la mangue	86
2.4.6. Analyses statistiques	86

	Pages
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	88
III.1. Résultats.....	89
1. Fluctuations des populations des mouches des fruits dans les vergers de manguiers du nord de la Côte d’Ivoire.....	89
1.1. Communauté de mouches de la famille des Tephritidae capturée dans les pièges Tephri trap.....	89
1.1.1. Diversité alpha.....	89
1.1.1.1. Richesse spécifique (S)	89
1.1.1.2. Indice de diversité α	89
1.1.2. Indice de diversité β	91
1.1.3. Abondance des espèces dans l’ensemble des vergers de manguiers.....	91
1.1.4. Abondance des insectes par pièges Tephri trap selon les attractifs sexuels dans les différents sites.....	94
1.1.4.1. Abondance des insectes dans les pièges contenant le Méthyl eugénol	94
1.1.4.2. Abondance des insectes dans les pièges contenant le Terpinyl acetate.....	94
1.1.4.3. Abondance des insectes dans les pièges contenant le Cuelure.....	94
1.1.4.4. Abondance des insectes dans les pièges contenant le Trimedlure	94
1.2. Effet des directions cardinales des pièges contenant les attractifs sexuels sur l’abondance des mouches des fruits.....	97
1.2.1. <i>Bactrocera dorsalis</i>	97
1.2.2. <i>Ceratitis cosyra</i>	97
1.3. Variation spatiale des niveaux de population des mouches des fruits	97
1.3.1. <i>Bactrocera dorsalis</i>	97
1.3.2. <i>Ceratitis cosyra</i>	97
1.4. Variation saisonnière des populations des principale espèces de Tephritidae	100
2. Effet des facteurs climatiques et des stades phénologiques du manguiers sur la population des mouches des fruits dans les vergers de manguiers.....	104
2.1. Effet des facteurs climatiques sur la population des mouches des fruits.	104

	Pages
2.1.1. Température	104
2.1.2. Humidité relative	104
2.1.3. Pluviométrie	104
2.2. Effet de la phénologie du manguier sur les populations des mouches des fruits dans les vergers de manguiers.....	108
2.2.1. <i>B. dorsalis</i>	108
2.2.2. <i>C. cosyra</i>	108
3. Utilisation de <i>Oecophylla longinoda</i> en lutte biologique dans les vergers de manguiers.....	110
3.1. Abondance moyenne de <i>Oecophylla longinoda</i> par localité.....	110
3.2. Abondance moyenne de <i>Oecophylla longinoda</i> suivant les indices Peng 1, Peng 2 , Offenberg et le nombre de nids	110
3.3. Indice de variation saisonnière de <i>Oecophylla longinoda</i> dans les vergers de manguiers.....	110
3.4. Relation entre le nombre de branches et l'abondance de <i>Oecophylla longinoda</i>	110
3.5. Effet des traitements sur l'abondance de <i>Oecophylla longinoda</i>	115
3.6. Effet des traitements sur les infestations des mouches des fruits.....	115
3.6.1. Taux d'attaque des mouches des fruits	115
3.6.2. Niveau d'infestation des vergers de manguiers.....	118
3.6.3. Pourcentage de protection des vergers de manguiers.....	118
III.2. Discussion	120
CONCLUSION, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS	121
REFERENCES.....	130
ANNEXES.....	151
PUBLICATIONS	
RÉSUMÉ	

DÉDICACES

Je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers :

Ma très chère mère COULIBALY Alimata

A mon cher père, OUMAR Coulibaly

A mes très chères Sœurs, Naan et Maimouna

A mes très chers frères, Lamine, Sindou et Fousseni

A ma très bien aimée Yéo Foungnigué Eldwige

AVANT-PROPOS

Cette étude se situe dans la continuité des travaux effectués dans le cadre de notre stage de MASTER au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de 2015 à 2016 sur les mouches des fruits infestant la mangue. Cette thèse est le fruit de la collaboration entre l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (Côte d'Ivoire) et le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA). Les travaux qui ont fait l'objet de cette thèse, ont été réalisés dans le cadre du Projet de Soutien au Plan Régional de lutte contre les Mouches des Fruits en Afrique de l'Ouest (CORAF/SPRMF) et du projet de Contrat de Désendettement et de Développement (C2D)/Fruits & Maraîchage conduit par le CNRA en partenariat avec le CIRAD.

REMERCIEMENTS

J'adresse toute ma gratitude à l'équipe dirigeante de l'Université Jean Lorougnon Guédé avec à sa tête la Présidente, Professeur TIDOU Abiba Sanogo épouse Koné ainsi que les vices Présidents, Professeurs AKAFFOU Doffou Sélastique et KONE Tidiani pour avoir accepté mon inscription dans cette institution.

Ma vive reconnaissance à Docteur YTE Wongbé, Directeur général du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), d'avoir accepté la réalisation de ce travail au sein de sa structure.

Je remercie Professeur Bakayoko Sidiky, Secrétaire général adjoint de l'université pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à la Directrice de l'UFR Agroforesterie, Docteur TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences, pour avoir favorisé le bon déroulement de ce travail.

J'exprime toute ma reconnaissance à mon Directeur de thèse, Docteur SORO Senan, Maître de Conférences pour avoir accepté de diriger ce travail. Sa disponibilité, sa rigueur, son implication dans mon travail, sa grande générosité et sa patience ainsi que ses compétences scientifiques ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie mon Co-Directeur, Professeur HALA N'klo, Directeur de Recherches au CNRA d'avoir accepté de m'encadrer. C'est grâce à lui que j'ai pu participer à ma première formation sur les mouches des fruits à l'Ile Maurice. Sa contribution scientifique m'a été très bénéfique dans le choix de notre approche méthodologique et dans l'interprétation des résultats.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude aux différents rapporteurs de cette thèse, en l'occurrence, Professeur YEO Kolo et Docteur YEBOUE N'Guessan Lucie de leurs contributions à l'amélioration du document.

Mes remerciements vont également à l'endroit des Docteurs N'DEPO Ossey Robert et Docteur KOFFI N'DODO Boni tous deux Maître de Conférences, d'avoir accepté d'examiner cette thèse. Leurs critiques et suggestions ont fortement contribué à améliorer le document.

Nos remerciements vont aussi à l'endroit de Docteur ANGAMAN Maxime, Maître de Conférences et responsable de la filière Sécurité Alimentaire option Gestion de la Qualité et de la Production Végétale (GQPV), pour ses grandes orientations dans la réalisation de ce travail.

Un grand remerciement à Docteur SORO Dogniminton, Maître de Conférences qui m'a inspiré pour le choix de la licence Agriculture et Foresterie.

J'exprime toute ma profonde reconnaissance au Docteur FONDIO Lassina, Directeur Régional du CNRA Korhogo et Madame DJIDJI André Hortense, Directrice de la station de Korhogo (Lataha), qui m'ont réservé un accueil chaleureux au sein de leurs structures. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Mes vives reconnaissances à M MINHIBO Yves Magloire, Attaché de Recherches au CNRA pour son apport scientifique, la rigueur dans le travail et son encadrement technique sur le terrain.

Un grand remerciement à l'endroit de Docteur N'DA Adopo, Maître de Recherches, consultant CNRA au programme Anacarde-Mangue-Papaye (AMP) pour ses critiques pertinentes à mon travail.

Je souhaite aussi remercier tous les chercheurs du programme AMP de la station de Lataha dont Docteurs KOUAKOU Konan Charles, Chargé de Recherche, AKADIE Jean Baptiste, N'DA Hugues Anicet, DABE Doga et ADIKO Olivier tous Attachés de Recherche pour leurs contributions.

Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance au Docteur CISSE Farma, Chargée du projet CORAF/SPRMF, pour son soutien moral. Je n'oublierai pas tous les encouragements qu'elle a prodigués à mon égard.

Un grand merci à tous les techniciens du CNRA dont Messieurs KONE N'Datchin Joseph, OUATTARA Sinali, SORO Salfou, KONE Hyppolite et Mademoiselle KONE Sabine qui ont participé à la réussite de ce travail.

Je remercie mes camarades Doctorants KOFFI Jean Mathias et DOBO BI Alexis pour leur collaboration et les échanges fructueux que nous avons partagés. Un grand merci aux propriétaires de vergers pour leur aide, leur ouverture et leur disponibilité.

Un grand merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire et à ma formation.

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CNRA	: Centre National de Recherche Agronomique
RES	: Royal Entomological Society
CORAF/ SPRMF	: Projet de Soutien au Plan Régional de Lutte et de Contrôle des Mouches des Fruits en Afrique de l'Ouest
C2D	: Contrat de Désendettement et de Développement
COLEACP	: Comité de Liaison Europe-Afrique Caraïbes-Pacifique
CIRAD	: Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CRFG	: Comité Régional Franco-Genevois
CL	: Cuelure
DDVP	: Phosphate de Dichloro-2, 2 Vinyle et de Diméthyle
Dsl	: Deuxième stade larvaire
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FTD	: Flies per Traps per Days (Mouches capturées par jour et par piège)
ME	: Méthyl eugénol
Ni	: Niveau d'infestation
Psl	: Premier stade larvaire
PIB	: Produit Intérieur Brut
Pp	: Pourcentage de protection
Tsl	: Troisième stade larvaire
TRI	: Trimedlure
TA	: Terpinyl acétate
UJLoG	: Université Jean Lorougnon Guédé

LISTE DES TABLEAUX

Pages

Tableau I : Extrait sec soluble (ESS) et acidité de sept variétés de mangues après maturation.....	15
Tableau II : Quantité de mangues produites, commercialisées et nombres d'interceptions en Côte d'Ivoire de 2010 à 2020.....	19
Tableau III : Exemples de contrôle biologique effectué par <i>Oecophylla longinoda</i> et <i>Oecophylla smaragdina</i> contre les insectes ravageurs de culture.....	42
Tableau IV : Coordonnées géographiques des grandes zones de production de mangues du nord de la Côte d'Ivoire.....	54
Tableau V : Echelle de notation de <i>Oecophylla longinoda</i> par l'indice Peng 1.....	81
Tableau VI : Echelle de notation de <i>Oecophylla longinoda</i> par l'indice Peng 2.....	81
Tableau VII : Echelle de notation de <i>Oecophylla longinoda</i> par l'indice Offenbergl.....	81
Tableau VIII : Abondance des insectes et des Acariens dans les pièges dans l'ensemble des sites.....	93
Tableau IX : Abondance des insectes et des acariens dans les sites d'études selon les attractifs.....	95
Tableau X : Abondance moyenne de <i>Bactrocera dorsalis</i> dans les localités en fonction des quatre points cardinaux.....	98
Tableau XI : Abondance moyenne de <i>Ceratitis cosyra</i> dans les localités en fonction des quatre points cardinaux.....	98
Tableau XII : Effet de la phénologie du manguier sur la population de <i>Bactrocera dorsalis</i> dans les sites.....	109
Tableau XIII : Effet de la phénologie du manguier sur la population de <i>Ceratitis cosyra</i> dans les sites.....	109
Tableau XIV : Indices d'abondance de <i>Oecophylla longinoda</i> selon les localités.....	112
Tableau XV : Taux d'attaques des vergers par les mouches des fruits dans les sites d'études après traitement.....	117
Tableau XVI : Niveau d'infestation des vergers par les mouches des fruits dans les sites d'études après traitement.....	119
Tableau XVII : Pourcentage de protection des vergers dans les sites d'études après traitement.....	119

LISTE DES FIGURES

Pages

Figure 1 : Cycle biologique chez les Tephritidae.....	23
Figure 2 : Femelle de <i>Bactrocera dosalis</i> en prospection sur une mangue de variété Kent ...	25
Figure 3 : Points de piqûres des mouches des fruits sur la mangue de variété Kent	25
Figure 4 : Dégâts de piqûres des mouches des fruits à l'intérieur de la mangue de variété Kent.....	26
Figure 5 : Castes et stades pré adultes de <i>Oecophylla longinoda</i>	38
Figure 6 : Localisation du site d'étude.....	53
Figure 7 : Diagramme ombrothermique du nord de la Côte d'Ivoire de 2012 à 2017.....	55
Figure 8 : Matériel animal.....	57
Figure 9 : Manguier de variété Kent.....	58
Figure 10 : Piège de type Téphri trap.....	60
Figure 11 : Paraphéromones utilisés pour attirer les mouches des fruits.....	61
Figure 12 : Insecticide utilisés pour tuer les mouches des fruits dans les pièges Tephri trap.....	63
Figure 13 : Appât alimentaire utilisé pour attirer les fourmis <i>Oecophylla longinoda</i>	63
Figure 14 : Fourmis sur une ficelle reliant deux arbres appartenant à la même colonie	64
Figure 15 : Enregistreur automatique de marque <i>Tinytag</i> utilisé pour collecter les données de la température et de l'humidité relative.....	64
Figure 16 : Pluviomètre SPIEA.....	66
Figure 17 : Bassines utilisées pour incuber les mangues.....	66
Figure 18 : Pillulier servant à la conservation des mouches.....	67
Figure 19 : Loupe binoculaire utilisée pour l'identification des espèces de mouches.....	67
Figure 20 : Produits phytosanitaires utilisés dans le traitement contre les mouches des fruits.....	69
Figure 21 : Pulvérisateur manuel Apollo 16-AF.....	70
Figure 22 : Equipement de protection individuelle (EPI) utilisé pour le traitement.....	70
Figure 23 : Dispositif expérimental indiquant la position des pièges dans les sites d'études...	72
Figure 24 : Piège de type Tephri Trap accroché à un arbre au dessus du sol.....	73
Figure 25 : Dispositif expérimental de lutte contre les mouches des fruits dans les sites d'essais.....	75
Figure 26 : Test de Cat food ou test d'aggrégation des fourmis oecophylles.....	78
Figure 27 : Fourmis oecophylles de différents colonies se battant pour de la nourriture.....	79

	Pages
Figure 28 : Fourmis oecophylles de la même colonie vivant en harmonies.....	79
Figure 29 : Indices de diversité α des Tephritidae dans les sites d'études.....	90
Figure 30 : Indice de diversité β (Indice de Simpson).....	92
Figure 31 : Variation spatiale de l'abondance de <i>B. dorsalis</i>	99
Figure 32 : Variation spatiale de l'abondance de population de <i>C. cosyra</i>	99
Figure 33 : Abondance journalière de <i>B. dorsalis</i> et de <i>C. cosyra</i> dans la localité de Boundiali.....	101
Figure 34 : Abondance journalière de <i>B. dorsalis</i> et de <i>C. cosyra</i> dans la localité de Sinématiali.....	101
Figure 35 : Abondance journalière de <i>B. dorsalis</i> et de <i>C. cosyra</i> dans la localité de Ferkessédougou.....	102
Figure 36 : Abondance journalière de <i>B. dorsalis</i> et de <i>C. cosyra</i> dans la localité de Korhogo.....	102
Figure 37 : Abondance journalière de <i>B. dorsalis</i> et de <i>C. cosyra</i> dans la localité de Niakara.....	103
Figure 38 : Abondance journalière de <i>B. dorsalis</i> et de <i>C. cosyra</i> dans la localité de Tafiré.....	103
Figure 39 : Correlation entre la température minimale, moyenne, maximale et l'abondance de <i>Bactrocera dorsalis</i> et de <i>Ceratitidis cosyra</i>	105
Figure 40 : Correlation entre l'humidité relative minimale, moyenne et maximale et l'abondance de <i>Bactrocera dorsalis</i> et de <i>Ceratitidis cosyra</i>	106
Figure 41 : Correlation entre la précipitation et l'abondance de <i>Bactrocera dorsalis</i> et de <i>Ceratitidis cosyra</i>	107
Figure 42 : Abondance moyenne de <i>Oecophylla longinoda</i> dans les différentes localités...	111
Figure 43 : Indice moyen de variation saisonnière de <i>Oecophylla longinoda</i> dans les vergers de manguiers selon les indices et le nombre de nids.....	113
Figure 44 : Corrélation entre les méthodes de comptages de <i>Oecophylla longinoda</i> et le nombre de branches principales du manguiers.....	114
Figure 45 : Influence des traitements sur l'abondance de <i>Oecophylla longinoda</i> selon l'indice Peng 2.....	116

LISTE DES ANNEXES

Annexe I : Variétés de mangues produites en Côte d'Ivoire

Annexe II : Vue aérienne d'un verger de manguier de variété Kent à Korhogo

Annexe III : Fiche de relevés des échantillons de mouche et des stades phénologiques des manguiers

Annexe IV : Fiche de relevés de l'abondance de *Oecophylla longinoda*

Annexe V : Fiche d'incubation des échantillons de mangue

Annexe VI : Dispositif expérimental indiquant la position des pièges selon les 4 points cardinaux dans les vergers de manguiers

Annexe VII : Fourmis oecophylles protégeant la mangue contre les mouches des fruits

INTRODUCTION

L'arboriculture fruitière est devenue l'un des éléments importants de la politique de développement agricole dans de nombreux pays d'Afrique Sub-Saharienne. Parmi les fruits tropicaux, la mangue, fruit du manguier (*Mangifera indica*) constitue une grande source de développement économique des pays producteurs. La demande en ce fruit auprès de ceux-ci sur le marché international est de plus en plus croissante (Tinkeu *et al.*, 2010). En Côte d'Ivoire, la commercialisation de la mangue est essentiellement tournée vers l'exportation, la consommation locale étant faible. De ce fait, elle constitue le 3^{ème} fruit d'exportation du pays après la banane et l'ananas. Ainsi, la Côte d'Ivoire est elle devenue le premier pays exportateur africain de mangues avec plus de 33 000 t exportées en 2017 et le troisième fournisseur mondial de mangues sur le marché européen après le Brésil (100 000 t) et le Pérou avec 80 000 t (Mieu, 2017).

La production de la mangue, bien que florissante ces dernières années, reste confrontée à diverses contraintes. Les plus importantes sont liées au climat et aux problèmes phytosanitaires. Les aspects phytosanitaires comprennent, (1) les maladies fongiques appelées anthracnose (*Colletotrichum gloesporioides*), (2) les maladies bactériennes ou bactérioses (*Xanthomonas citri*), et (3) les aspects parasitaires essentiellement dues aux insectes. Parmi ces contraintes, les mouches des fruits sont les plus dommageables en Côte d'Ivoire. Au nombre de celles-ci figure *Bactrocera dorsalis* Hendel anciennement appelé *Bactrocera invadens* Drew, Tsuruta et White, une espèce invasive originaire d'Asie signalée pour la première fois en Afrique de l'Ouest au Bénin en 2005 (Vayssières *et al.*, 2005) et en Côte d'Ivoire en 2006 (Hala *et al.*, 2006).

Les infestations des mouches des fruits entraînent des pertes énormes dans la production de mangue, à la fois en termes de qualité et de rendement.

Les mouches des fruits sont responsables de nombreuses interceptions de cargaisons de mangues en provenance de l'Afrique. Elles sont classées comme organismes de quarantaine dans de nombreuses régions du monde particulièrement dans l'Union Européenne et aux Etats-Unis (Adandonon *et al.*, 2009). En effet, il n'y a pas de seuil de tolérance sur le marché européen car la découverte d'une seule larve dans un lot de fruit, entraîne le rejet et la destruction systématique de la cargaison au frais de l'exportateur. En conséquence, de nombreux conteneurs de mangues en destination de l'Europe sont détruits chaque année (Adandonon *et al.*, 2009 ; Guichard, 2009 ; Youm *et al.*, 2011). En Côte d'Ivoire, les dégâts dus aux mouches des fruits sont estimés à 17 % en début de campagne, 69 % en milieu de campagne et 80 % en fin de campagne, voire 100 % pour certaines localités s'il n'y a pas de lutte (N'Dépo *et al.*, 2010).

La gestion de ces bioagresseurs dans les vergers de manguiers est difficile et les résultats d'enquêtes sur leurs gestions ne permettent pas de porter un choix clair sur une méthode de lutte optimale et efficace. Les producteurs de fruits manquent de méthodes de lutte antiparasitaire appropriées et s'appuient souvent sur des applications de pesticides sur les fruits dont certaines ne respectent pas les normes environnementales (Sinzogan *et al.*, 2008). Certains producteurs ont même recours à des applications de pesticides distribués pour la production de coton (Sinzogan *et al.*, 2008). Cela entraîne une augmentation des coûts de production et une réduction de la densité et de la diversité de population d'insectes utiles entre autre les prédateurs naturels et les parasitoïdes. Le développement de la tolérance et / ou la résistance à l'insecticide par les insectes est également observé. Une accumulation de résidus de pesticides dans les denrées alimentaires et une pollution de l'environnement pourraient survenir si rien n'est fait (Sinzogan *et al.*, 2008). Pour éviter ces problèmes, les efforts de recherche sont intensifiés dans le monde entier pour développer des stratégies alternatives de contrôle des nuisibles dans le respect de l'environnement. Ces stratégies incluent l'utilisation des biopesticides tels que l'huile de neem et le Success appât (appât alimentaire) ainsi que les agents de lutte biologique comme la fourmi *Oecophylla longinoda* (Adandonon *et al.*, 2009). La gestion et l'utilisation des fourmis oecophylles constituent dès lors, des outils bien adaptés au développement durable des systèmes de cultures pérennes d'Afrique Sub-saharienne (Vayssières *et al.*, 2008). Leur efficacité dans la lutte contre les mouches des fruits est prouvée. Elles contribuent à une amélioration de la qualité du fruit et constitue une méthode de lutte durable, économique et respectueuse de l'environnement. Au Bénin, des études ont montré que *O. longinoda* a réduit de manière significative les dommages causés par les mouches des fruits sur la mangue et des insectes nuisibles de la noix de cajou (Wargui *et al.*, 2015). En Côte d'Ivoire, une étude similaire sur le cocotier a montré que *Oecophylla longinoda* a réduit les dégâts de la punaise *Pseudotheraptus devastans* Distant selon Allou *et al.* (2006). Cependant, aucune étude utilisant les fourmis oecophylles comme agent de lutte biologique dans les vergers de manguiers au nord de la Côte d'Ivoire n'a été effectuée jusque-là. Cette situation justifie la conduite de la présente étude intitulée « Méthodes de lutte intégrée incluant l'utilisation de *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera: Formicidae), de l'huile de neem (Azadirachtine) et de Success appât (Spinosad) dans la lutte contre les mouches des fruits (Tephritidae) du manguiers au nord de la Côte d'Ivoire ».

La présente étude a pour objectif général de contribuer à l'amélioration de la production de la mangue par l'utilisation combinée de *Oecophylla longinoda*, de l'huile de neem et de Success

appât (appât alimentaire) dans la lutte contre les mouches des fruits dans les vergers de manguiers du nord de la Côte d'Ivoire.

Pour atteindre cet objectif, des investigations dans les vergers de manguiers au nord de la Côte d'Ivoire ont été effectuées. Elles ont été conduites sur la base de trois (3) objectifs spécifiques, à savoir : (i) étudier la diversité des populations des mouches des fruits dans les vergers de manguiers, (ii) évaluer l'influence des facteurs climatiques et des stades phénologiques du manguiers sur la population des mouches des fruits dans les vergers de manguiers, (iii) évaluer l'efficacité de la lutte biologique et de la lutte intégrée incluant l'utilisation des fourmis ascophylles dans la lutte contre les mouches des fruits dans les vergers de manguiers

Cette thèse qui restitue l'ensemble des travaux effectués est subdivisée en trois grandes parties en plus de l'introduction et de la conclusion générale :

la première partie est consacrée à la revue bibliographique,

la deuxième partie décrit le Matériel et les Méthodes utilisés,

la troisième partie présente les résultats et la discussion des travaux effectués, suivie des recommandations et des perspectives de recherche. Une liste de bibliographies et des annexes complètent le document.

**PREMIERE PARTIE:
GÉNÉRALITÉS**

1. Manguier

1.1. Taxonomie, origine et distribution

1.1.1. Taxonomie

Règne	: Plantae
Classe	: Equisetopsida
Sous-classe	: Magnoliidae
Ordre	: Sapindales
Sous-ordre	: Rosanae
Famille	: Anacardiaceae
Tribu	: Anacardieae
Genre	: <i>Mangifera</i>
Espèce	: <i>Mangifera indica</i> L.

1.1.2. Origine et distribution

Le manguier (*Mangifera indica* L.) est un arbre de la famille des anacardiaceae tout comme l'anacardier et le pistachier (Bompard, 2009). Hormis les espèces fruitières, les espèces de cette famille produisent plusieurs types de matériaux comme le bois, les résines et les vernis. Le genre *Mangifera* comporte 69 espèces. Le plus grand nombre d'espèces de ce genre est retrouvé en Malaisie (Bompard, 2009). Cultivé depuis plus de 4000 ans (De Candolle, 1885), le manguier est probablement originaire de la région Indo-birmane (Bompard, 2009). Deux centres de domestication sont reconnus : l'un en Inde avec les mangues monoembryoniques et l'autre en Asie du sud-est (Indonésie, Philippines, Thaïlande) avec les mangues polyembryoniques (Iyer & Schnell, 2009). Depuis un siècle, ces deux types de mangue ont été rassemblés en Floride, où elles ont donné de nombreuses descendance par hybridation naturelle ou dirigée (Vannière *et al.*, 2013). A partir de l'Inde, le manguier a été diffusé vers l'est, en direction de la Malaisie et de l'Asie du sud-est et vers l'ouest. Il parvient dans les comptoirs de la côte et de l'Afrique grâce aux arabes (Rey *et al.*, 2004a). Ainsi, les échanges du matériel végétal entre les différentes parties du monde, ont-ils permis rapidement l'introduction d'espèces fruitières en Afrique de l'Ouest. C'est à la fin du XIXe siècle que les manguiers ont commencé à connaître une diffusion significative, surtout dans les zones côtières. Son extension deviendra importante pendant la première moitié du XXe siècle (Mauny, 1953 ; Rey *et al.*, 2004a,b). Ainsi, la présence du manguier en Côte d'Ivoire, a-t-elle

été signalée pour la première fois dans le jardin du poste militaire de Dabou, en bordure de la lagune Ebrié (De Laroussilhe, 1980 ; Rey *et al.*, 2004a).

Avec une superficie mondiale de 1,4 millions d'hectares, le manguiier est cultivé dans toute la zone intertropicale du monde à l'exception des régions où le climat n'est pas favorable (pluviosité trop faible, climats sans saison sèche marquée), dans quelques cas, la zone de culture déborde le tropique nord (N'Dépo, 2010). En Asie, il est cultivé en Inde, au Pakistan, au Bangladesh, au Sri Lanka, en Birmanie, en Malaisie, dans le sud de la Chine, en Thaïlande, au Cambodge, au Vietnam, au Laos, à Taïwan, aux Philippines et en Indonésie. Dans la partie ouest, il est cultivé à Oman et au nord du tropique du cancer, en Israël et au Liban. Il se trouve également en Australie (Queensland) et dans les îles du Pacifique en particulier, à Hawaï, à Tahiti.

En Afrique, la mangue est cultivée en Côte d'Ivoire, au Sénégal, au Mali, au Burkina-Faso, au Niger, au Tchad et au Soudan et une zone de culture en Egypte. Au sud, des vergers de rapport sont établis au Transvaal. Il est aussi présent à Madagascar, à l'île de la Réunion et à l'île Maurice (De Laroussilhe, 1980).

En Amérique, il est cultivé en Floride (au nord du tropique du cancer), au Mexique, dans les différents états de l'Amérique centrale, dans tout l'arc des Antilles et en Amérique du sud jusqu'au Paraguay et au nord de l'Argentine (De Laroussilhe, 1980).

1.2. Description du manguiier

1.2.1. Système racinaire

Le manguiier dispose d'un système racinaire pivotant qui ne donne à sa formation que quelques ramifications pour assurer l'ancrage de l'arbre dans le sol. Il semble bien adapté à la recherche d'une nappe phréatique qui lui permet de subsister même en cas de déficit pluvial (FAO, 1999).

1.2.2. Partie aérienne

Le feuillage est vert foncé à la partie supérieure de l'arbre, pâle à sa partie basale et d'ordinaire rouge au stade jeune (CRFG, 1996). Simples et persistantes, les feuilles entières ont une disposition alterne avec un limbe elliptique et un pétiole pouvant atteindre 5 cm de long. Les nervures sont pennées et les nervures secondaires se raccordent à une nervure principale saillante sur les deux faces (Arbonnier, 2000). Le manguiier est caractérisé par une croissance rythmique nette qui fait que la tige du jeune manguiier s'allonge régulièrement suivant un même axe. De ce fait, le manguiier forme un tronc monopode bien individualisé. La fin de

croissance des rameaux est marquée par la floraison apicale. En fonction du climat, le nombre de poussées végétatives varie de deux à cinq par année (FAO, 1999).

L'inflorescence du manguier est une panicule terminale qui contient environ mille fleurs munies d'un pédicelle de deux à trois millimètres de long. Les fleurs jaunâtres deviennent orangées et comportent cinq sépales et cinq pétales. Les fleurs du manguier sont soit hermaphrodites, soit mâles avec en général une étamine par fleur parfaite. Le manguier fleurit pour la première fois à l'âge de cinq à sept ans. Cette durée a été ramenée de trois à quatre ans par la sélection et le greffage. La floraison a lieu après un repos végétatif de deux à trois mois causée par une période sèche en climat semi-aride ou par un excès de pluviosité accompagné d'un rafraîchissement de l'atmosphère en climat équatorial. La graine aplatie est protégée par un tégument lignifié. Elle est constituée d'un embryon zygotique chez les variétés mono-embryonnées et d'un ou plusieurs embryons nucellaires chez les variétés poly-embryonnées. Le pouvoir germinatif de la graine est limité à quelques semaines.

Le fruit est une drupe ovoïde de taille et de couleur variables selon les variétés. De l'extérieur vers l'intérieur, on distingue :

- l'épicarpe de couleur et de texture variables selon les variétés ;
- le mésocarpe qui est une pulpe fibreuse pour certaines variétés comme Springfield et fondante pour d'autres comme l'Amélie ;
- l'endocarpe fibreux et large, plus ou moins plat et cannelé dans sa largeur. Il contient la semence (amande) qui peut être mono ou poly-embryonnée avec plus de deux cotylédons dans le cas des semences poly-embryonnées.

1.2.3. Variétés de mangue dans le monde

Le manguier rassemble à de nombreuses variétés réparties en quatre grands groupes (De Laroussilhe, 1980) :

- les variétés Indiennes : elles sont de forme tortueuse et peu répandue en Afrique. C'est l'exemple des variétés Alphonse et Pahiri ;
- les variétés Floridiennes : elles sont de forme élancée. C'est le cas des variétés Keitt et Kent ;
- les variétés des Antilles françaises de forme arrondie. C'est l'exemple des variétés Amélie et Julie ;
- les variétés cultivées en Inde, au Pakistan et au Bangladesh ont des formes intermédiaires entre les variétés américaines et indiennes. Elles sont élancées et légèrement tortueuses. C'est l'exemple de la variété Langra.

Il existe un grand nombre de variétés qui sont choisies en fonction du marché ou de la destinée du fruit. Les principales variétés cultivées peuvent être classées selon le calibre du fruit ou la précocité d'entrée en production (Akassey & Daubrey, 1992). Selon le calibre, il y'a :

- les variétés de gros calibre (plus de 500 g), comprenant Smith, Keitt et Kent ;
- les variétés de calibre moyen (entre 350 g et 500 g) comme Brooks, Palmer, Valencia, Amelie et Zill ;
- les variétés de petit calibre (entre 200 g et 350 g) parmi lesquelles il y'a l'Améliorée du Cameroun et Ruby.

Une classification peut être également établie selon la précocité. Ainsi, distinguons-nous :

- les variétés précoces ou hâtives (calibre moyen ou petit calibre) : Early Gold, Amelie, Zill et Améliorée du Cameroun ;
- les variétés semi-précoces (petit calibre). Dans ce groupe se retrouvent les variétés Iruvin, Haden et Tommy Atkins ;
- les variétés de saison (calibre moyen). Ce groupe est constitué par les variétés Eldon, Dixon, Ruby, Smith, Valencia et Palmer ;
- les variétés tardives et semi-tardives composées par les variétés Keitt, Kent et Brooks. La semence est sans période de dormance et son pouvoir de germination diminue après extraction du noyau (FAO, 1999).

1.2.4. Les principales variétés de mangues cultivées en Afrique de l'Ouest

Bien que l'introduction des mangues en Afrique de l'Ouest soit récente, les habitants distinguent les « mangues locales » ou mangots, polyembryonnées, reproduites par semis, les mangues fibreuses pour la plupart, des « mangues importées », monoembryonnées, multipliées par greffage. Les variétés de manguiers d'Afrique de l'Ouest sont classées en trois groupes principaux : les variétés polyembryonnées, les variétés monoembryonnées diffusées par greffage et les variétés floridiennes (Rey *et al.*, 2004b).

Chez le manguier, les graines des variétés monoembryonnées contiennent un seul embryon zygotique. Les noyaux de variétés polyembryonnées possèdent un (ou aucun) embryon zygotique et un ou plusieurs embryons somatiques (Rey *et al.*, 2004b).

1.2.4.1. Mangues locales ou variété polyembryonnées

a. Mangot Nunkourouni ou «Tête de Chat».

Le mangot Nunkourouni (Annexe I) à fibres et polyembryonné, est répandu dans toute l'Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale. Dans chaque zone, il porte un nom différent qui

peut être lié à l'origine de son introduction. Au Sénégal, il est appelé Sierra Leone. Dans certaines zones du Cameroun, il porte le nom de mangot allemand et mangue de N'gaoundéré à la zone où il est cultivé (l'Adamaoua au Cameroun). Dans les langues d'origine mandingue, la forme du fruit est souvent assimilée aux éléments du visage (bouche, nez, etc.). Cette mangue s'appelle donc nez court ou tête de chat (Nunkourouni ou Diakuma Koun ou Mankoron Ba). Elle est appelée également Greffeul au Sénégal (Rey *et al.*, 2004b). L'arbre est vigoureux, pourvu d'un feuillage vert foncé. Les feuilles sont longues à bords ondulés ; l'inflorescence est teintée de rouge. Les arbres adultes sont très productifs. La production est très précoce en saison sèche, ce qui en fait les premières mangues sur le marché. Le fruit est aplati latéralement, de forme arrondie et pourvu d'une épaule ventrale descendant assez bas. Il existe de nombreux types locaux et la forme des fruits varie selon les zones de production. Leur poids varie de 150 g à 300 g. La peau est rouge, jaune ou verte à maturité. La pulpe orange vif, riche en composés volatils, est d'un goût très agréable (Sébire, 1899). Les très nombreuses fibres courtes, adhérentes au noyau ont longtemps nuit à son utilisation industrielle. Les vergers purs de cette variété sont rares aujourd'hui, mais elle est présente dans tous les lieux de vie : places, cours, marchés, gares routières, bordures de routes et de rues, isolés ou en bosquets dans les champs. Comme elle est utilisée en tant que porte-greffe, il est possible d'observer des pieds isolés dans les vergers quand la greffe échoue ou lorsqu'un rejet a pris l'ascendant sur le greffon. Si une repousse du porte-greffe n'a pas été éliminée, les branches de la variété greffée cohabitent alors avec celles du porte-greffe (Rey *et al.*, 2004b).

b. Mangot Dadiani ou «Bouche Longue».

Tout comme le manguier à mangots Nunkourouni, la variété polyembryonnée qui produit le mangot Dadiani (Annexe I) est connue sous différentes appellations. L'arbre a un port moins érigé que les manguiers précédents. L'inflorescence est jaune blanchâtre. Le fruit est petit, de 150 g à 250 g. Sa peau est vert clair à jaune avec des marbrures roses à rouges à maturité. L'épaule ventrale est courte et l'apex long, d'où les noms de bouche longue ou nez long (Dadiani, Nundiani). Dans les publications de Ollé *et al.* (1996 ; 1998), elle est désignée sous le nom de Mbengué, ville où elle avait été récoltée pour ces essais. La partie apicale du fruit est droite ou légèrement recourbée, d'où l'appellation « Sabre » qui lui est donnée dans certaines localités. La chair est jaune à orange clair. Les fruits sont sensibles à l'anthracnose. Les fibres sont nombreuses, la pulpe est moins aromatisée et plus fragile que celle de Nunkourouni. La productivité des arbres adultes est très bonne. La production est précoce en

saison et coïncide avec celle de Nunkourouni. Bien que largement représentée, cette mangue est toutefois moins répandue que la précédente. Pour ces deux mangots, la fragilité de la pulpe, la petite taille des joues et les difficultés d'utilisation agroalimentaire de la pulpe fibreuse par les techniques classiques font que ces fruits ont surtout été réservés à l'autoconsommation et aux marchés locaux. Leur abondance en saison de production permet à de larges couches de la population de les consommer à satiété (Rey *et al.*, 2004b).

c. Autres mangots et variétés locales

En dehors des mangots Nunkourouni et Dadiani, il existe d'autres mangots fibreux comme Mangotine (Fumani), à petit fruits de 80 g à 100 g et très parfumés, et Mangot Vert, introduits des Antilles à la station de Foulaya (Guinée). Certaines autres variétés peuvent être abondantes à l'échelle d'une région ou d'un pays, comme le petit mangot appelé Séwal au Sénégal (Rey *et al.*, 2004b).

d. Mangue du Cameroun

Introduite au départ dans la région de Douala (Cameroun), cette variété polyembryonnée a été propagée par semis le long du littoral avant d'être largement diffusée vers l'intérieur du pays, à Yaoundé, en zone forestière, puis vers le nord et les pays voisins. Elle est connue sous différentes appellations dont « Mangue du Littoral », dans la partie francophone, et « Number One », en zone anglophone qui sont les plus connus. À l'extérieur du Cameroun, elle est appelée Mangue du Cameroun (Annexe I) ou Améliorée du Cameroun. A l'origine ce dernier terme englobait cinq clones sélectionnés par De Laroussilhe, qui les avait nommés Ifac 1 à Ifac 5. Dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest, cette variété a été diffusée essentiellement par greffage. Consommée localement, elle n'a jamais eu l'importance relative qu'elle possède en Afrique centrale. L'arbre peut atteindre un fort développement en conditions favorables. Les feuilles sont grandes, à bords ondulés. Les fruits petits, à peau jaune ou verte à maturité, ont une pulpe fragile, peu fibreuse, très sensible au jelly seed autour du noyau. Selon les fruits, la couleur de la pulpe varie d'orange vif à blanchâtre en passant par différentes nuances de jaune. Le goût est assez discret, agréablement parfumé, légèrement acidulé. L'arbre et le fruit rappellent certaines variétés du sud-est asiatique. Son principal intérêt est de fructifier abondamment dans les zones humides, mais les caractéristiques du fruit (peau verte, fragilité de la pulpe, petit format, etc.) nuisent à sa commercialisation lointaine (Rey *et al.*, 2004b).

1.2.4.2. Variétés monoembryonnées propagées par greffage

a. Amélie

La variété Amélie (Annexe I), dont on ne connaît pas réellement l'origine, fut introduite des Antilles à la mission catholique de Kita. Elle est largement répandue dans toutes les zones de savanes sèches au nord du 9° de latitude nord, même si elle se trouve parfois en mélange dans des vergers situés plus au sud, au Togo, par exemple (Rey *et al.*, 2004b). Cette répartition géographique est liée à sa sensibilité aux maladies cryptogamiques des fleurs et des fruits (oïdium, anthracnose). Son importance relative en savane lui a valu le nom de Greffée en de nombreux lieux où elle fut longtemps la seule variété greffée. Elle est également dénommée Gouverneur, en particulier au Burkina-Faso. L'arbre a un port caractéristique, très différent de celui des variétés floridiennes. De taille modeste, il présente une frondaison dense en boule. Les branches, très ramifiées, portent de petites feuilles vert clair, plates, à bords réguliers.

Le fruit a une peau verte ou jaune à maturité qui, sur les sols latéritiques, peut prendre une très belle coloration rouge sur la partie exposée au soleil. La pulpe est d'un bel orange vif. Les taux de sucre et d'acidité sont variables selon les conditions de culture mais généralement inférieurs à ceux des cultivars floridiens (Ollé *et al.*, 1996). Le goût et l'odeur sont aisément reconnaissables. Selon Ollé *et al.* (1998), les arômes d'Amélie sont particuliers, « étant pratiquement carencés en car-3-ène et possédant (Z)- et (E)-ocimène comme principaux monoterpènes. Ces deux derniers composés volatils ont une odeur chaude, herbacée et florale, tandis que l'odeur du car-3-ène est douce, rappelant le limonène raffiné ». Ces arômes auraient aussi été retrouvés dans de la purée et des fruits mûrs ou verts de mangues Alphonso indiennes ou dans celles du cultivar Jaffna cultivé dans le nord du Sri Lanka (Sébire, 1899). En Afrique de l'Ouest, il existe un seul cultivar ayant le même goût qu'Amélie. Il s'agit de la variété Galerie à épiderme rouge carmin très coloré se trouvant en collection au CNRA Korhogo, mais pratiquement pas diffusée. Amélie est la plus précoce des variétés commerciales. La conservation au froid du fruit vert est satisfaisante malgré une certaine sensibilité à la frisure qui provoque une dégradation assez rapide des fruits mûrs. Le manque de coloration rouge de l'épiderme de cette variété et sa durée de vie commerciale relativement courte incitent les importateurs européens à la préférer contrairement à d'autres cultivars, aussi, sa précocité permet de l'exporter jusqu'à l'arrivée des variétés rouges. La production d'Amélie, qui peut atteindre plusieurs centaines de kilos sur certains arbres, est très faible en moyenne, du fait notamment d'un mauvais taux de fécondation. Dans le nord de la Côte

d'Ivoire, les rendements moyens en fruits d'exportation de cette variété oscillent entre 1 et 2 t/ha (Rey *et al.*, 2004b).

b. Julie et Sabot

La variété Julie d'Afrique de l'Ouest est différente de celle des Antilles françaises, mais elle est proche de la variété Sabot. Le port de l'arbre ressemble à celui d'Amélie, mais les feuilles sont ondulées. Le fruit est plat, de forme carrée ou ovale chez Julie, en forme de sabot chez Sabot. La couleur de l'épiderme varie du vert au marron à maturité avec parfois des taches rouges. La chair, très fragile, d'une couleur jaune foncée à orange, possède un goût musqué très prononcé apprécié des consommateurs locaux, qui ont donné à Julie le nom de Muscat. Le fruit est pratiquement intransportable en raison de sa rapidité de maturation et de la fragilité de sa pulpe. Son aire de répartition est la même que celle d'Amélie, mais à part quelques pieds conservés par les planteurs pour leur consommation personnelle, ces variétés sont en voie d'abandon (Rey *et al.*, 2004b).

c. Djibelor et Cuisse Madame

En Casamance, dans le sud du Sénégal, la mangue de Djibelor également appelée pêche est excellente et sans fibres. Elle est proche d'une variété indienne appelée Paheri (synonymes : Peter Passand, Alphonse Paheri, Païri) selon Rey *et al.* (2004b). Quant à la variété Cuisse Madame, elle entrainait dans la composition d'un verger établi près de Siguiri, en Haute-Guinée, en 1931. Elle produit un gros fruit à épiderme vert. Sa diffusion se limite à la Haute-Guinée (Rey *et al.*, 2004b).

1.2.4.3. Variétés floridiennes

a. Kent

La variété Kent (Annexe I), d'origine floridienne, a été introduite à la station de Foulaya, en Guinée, par Py en 1949. Depuis une dizaine d'années, elle supplante la variété Amélie en tant que principale variété d'exportation d'Afrique de l'Ouest. La Kent se caractérise par une teneur en eau de la pulpe relativement faible, qui pourrait expliquer sa bonne durée de vie commerciale. La maturation du fruit est très progressive. Elle entre en production entre le 10 avril et le 20 mai dans le sud de la zone d'exportation (Korhogo et Ferkessédougou) en Côte d'Ivoire (Rey *et al.*, 2004b). L'extrait sec soluble des mangues Kent prêtes à être consommées est élevé et peut atteindre 14,6° Brix (Tableau I). La Kent cumule donc beaucoup de qualités

commerciales, ce qui explique son succès auprès des importateurs européens. En effet, sa bonne tenue au transport, sa durée de conservation élevée maintenu au froid, son extrait sec soluble important et sa belle coloration produite en conditions adéquates ainsi que son calibre convenables font de cette mangue, la plus appréciées par les européens (Rey *et al.*, 2004b).

b. Keitt

La variété Keitt (Annexe I) a été introduite, comme la Kent, par Py à Foulaya, en 1949. Elle est la plus tardive des variétés d'exportation. Bien que certains vergers produisent à partir de la mi-avril près de Korhogo, sa période de récolte s'étale de fin avril à début juin dans le nord de la Côte d'Ivoire. La durée de maturation des fruits est très longue. Elle peut atteindre trois semaines à température normale pour des fruits évoluant normalement. En revanche, les fruits mûrs ont une durée de vie commerciale inférieure à celle de la Kent. La couleur du fruit à la récolte est variable vert, jaune clair avec ou sans plages d'un rouge cuivré (Rey *et al.*, 2004b).

c. Brooks

La variété Brooks à épiderme vert, blanchâtre ou jaune à maturité est souvent appelée mangue « Retard » en raison de sa production tardive, de juin à octobre en Côte d'Ivoire. La productivité de l'arbre est très élevée et régulière d'une année à l'autre. Les fruits ont une pulpe ferme, sans désordres physiologiques, appréciée des consommateurs locaux. Elle est en revanche très sensible aux piqûres des mouches des fruits. Le calibre est régulier avec une majorité de fruits entre 350 g et 450 g, ce qui en fait de bons fruits portions. Il ne lui manque que la couleur pour être une excellente variété d'exportation (Rey *et al.*, 2004b).

Parmi les variétés floridiennes, il y'a les variétés Palmer, Valencia, Smith, Zill, Irwin, Haden, Davis Haden, Miami Late, Springfels, Beverly, Glacier, Eldon et Ruby (Rey *et al.*, 2004b).

1.2.5. Composition des vergers de manguiers greffés en Côte d'Ivoire

Dans le nord de la Côte d'Ivoire, les premiers vergers ont été constitués d'Amélie. Des vergers de diverses variétés floridiennes se sont ensuite développés et leurs fruits ont été utilisés pour les exportations par avion de 1980 à 1992. La demande des variétés Kent et de Keitt, qui a accompagné le développement des exportations par bateau, s'est traduite par l'implantation de nouveaux vergers constitués exclusivement de ces deux variétés et le surgreffage des anciens vergers en Kent et Keitt. En dehors des variétés d'exportation (Kent, Keitt, Amélie, Palmer et quelques Zill), seule la variété Brooks et divers cultivars conservés

Tableau I : Extraits secs solubles (ESS) et acidités de sept variétés de mangues après maturation

Variétés	Extrait sec soluble (°Brix)	Acidité (meq pour 100 g de pulpe)
Kent	14,6	6,2
Keitt	13,9	3,2
Sabot	13,7	7,4
Lippens	12,9	2,5
Beverly	12,5	10,8
Brooks	11,4	6,6
Irwin	12,1	4,9

Source. Rey *et al.*, 2004b

par les planteurs pour la consommation familiale sont présents. Cependant, plus de 95 % des arbres greffés appartiennent aux variétés d'exportations (Rey *et al.*, 2004b)

1.3. Stades phénologiques du manguier

1.3.1. Phases végétative et floraison du manguier

La phase végétative est la phase pendant laquelle le manguier ne porte pas de fruits. C'est la plus longue car elle commence en mi juin jusqu'en fin décembre. Quant à la phase floraison, elle débute en décembre (25 % des fleurs épanouies) jusqu'en fin mars (75 % des fleurs épanouies) (Ouédraogo, 2011).

1.3.2. Phase de développement et de maturité de la mangue

La phase de développement commence au stade petit fruit ou nouaison (mangue a la forme d'une bille) jusqu'au stade gros fruit. Elle commence au début du mois d'avril et se termine en fin mai (Ouédraogo, 2011). En ce qui concerne la phase de maturité, elle désigne le moment où la mangue a atteint sa maturité physiologique. A ce stade, le fruit change de couleur et devient attrayant pour le consommateur. Ce stade débute à fin mai jusqu'en mi juin (Ouédraogo, 2011).

1.4. Stades de développement physiologique de la mangue

L'évolution de la mangue sur l'arbre peut être divisée en trois stades selon Srivastana (1967). Il s'agit du stade juvénile, de la croissance de la mangue et du stade climatérique de la mangue. Le stade juvénile s'étend sur environ 21 jours, débute à la fécondation et est caractérisé par une multiplication rapide des cellules et une croissance de celles-ci pour former le jeune fruit. Pour ce qui est de la croissance de la mangue, elle dure 28 jours environ durant lesquels le fruit croît, les cellules s'allongent, l'activité respiratoire s'accroît modérément et le rapport Carbone/Azote (C/N) augmente. Quant au stade climatérique de la mangue, l'activité respiratoire de la mangue et le rapport Carbone/Azote (C/N) sont élevés. C'est au cours de cette période que les réserves du fruit s'accumulent sous forme d'amidon.

A la fin du stade climatérique, les pigments chlorophylliens verts disparaissent progressivement. C'est le début de la coloration de la peau, les apports nutritifs de l'arbre au fruit ralentissent. La fin du stade climatérique correspond au moment où le fruit a accumulé toutes ses réserves. Il est alors mature. C'est seulement à ce stade que le fruit peut être récolté sans inconvénient pour la qualité. Au point d'abscission entre le pédoncule du fruit et l'axe de la panicule florale, il se forme des assises de tissus liégeux qui arrêtent complètement les apports de sève et préparent la séparation du fruit. Quand le fruit sera complètement mûr, il se

détachera de l'arbre. Après sa chute, son déclin commencera en particulier par le brunissement de la pulpe. Le fruit mûr est plus sensible aux attaques fongiques, la pulpe plus sucrée et peu acide étant favorable au développement des micro-organismes. Le pédoncule du fruit est coupé à l'arbre avant que ce dernier ait atteint le stade mature (Srivastana, 1967).

1.5. Propriétés et usages du manguier

Les différentes parties du manguier présentent des usages divers et sont utilisées par l'homme depuis plus de 4 000 ans. Les fleurs, les feuilles, les fruits, l'écorce, les noyaux ainsi que les racines du manguier sont largement utilisés en pharmacopée pour soigner de nombreuses maladies et affections. Le bois du manguier peut être utilisé comme source d'énergie et l'arbre est par ailleurs utilisé pour l'ombrage et l'embellissement (Arbonnier, 2000). Pour ce qui est des fruits qui constituent l'objet de la culture du manguier, ils présentent de nombreux usages. Selon Vayssières *et al.* (2008), le manguier peut être considéré comme une culture vivrière en Afrique tropicale à cause du rôle très important qu'il joue dans l'alimentation des populations surtout rurales. Les mangues sont consommées vertes ou mûres pour leurs propriétés nutritionnelles et sont internationalement commercialisées. Elles sont utilisées vertes pour la fabrication de condiments comme les « chutneys » et les « pickles » très connus en Afrique australe et en Inde (De Laroussilhe, 1980). Les fruits mûrs sont utilisés comme desserts, sorbets ou entrent dans la préparation de boissons et confitures. Du point de vue nutritionnel, la mangue contient des acides aminés, des hydrates de carbone, des acides organiques, des protéines et des vitamines (Mukherjee, 1997).

1.6. Importance de la mangue

1.6.1. Sur le plan international

Quatre-vingt pays tropicaux et subtropicaux à travers le monde, sont producteurs de mangue. Celle-ci était classée en 2004 au sixième rang des fruits les plus produits au monde après la banane, le raisin, l'orange, la pomme et la banane plantain avec une production annuelle estimée à 26,3 millions de tonnes (CIRAD, 2010). Cette production a connu une augmentation en Inde qui est le premier pays producteur au monde avec 13 649 400 tonnes suivie par la Chine 3 976 716 tonnes et l'Indonésie 2 013 123 tonnes. Le Mexique est le premier producteur d'Amérique avec 1 855 359 tonnes et le Nigéria avec 734 000 tonnes est le premier pays africain producteur de mangues (CIRAD, 2010). En Afrique de l'Ouest, la mangue est destinée à la consommation locale et à l'exportation. Avec une production annuelle de 1,4 million tonnes sur une production mondiale de 50 millions tonnes, l'ensemble des pays de la sous-région (Côte d'Ivoire, Mali, Sénégal, Burkina Faso) occupe la septième

place des principaux producteurs. En effet, les exportations de la sous-région représentent environ 10 % du marché européen (entre 20 et 25 000 tonnes annuellement) avec une qualité de produit reconnue et appréciée par les consommateurs (Parrot *et al.*, 2017). La Côte d'Ivoire est le premier exportateur africain de mangues suivie du Mali et du Sénégal et le troisième fournisseur sur le marché européen après le Brésil et le Pérou avec plus de 30 000 tonnes de mangues exportées (Gerbaud, 2018).

1.6.2. Sur le plan national

La mangue est le troisième fruit exporté par la Côte d'Ivoire après l'ananas et la banane. Ces trois cultures contribuent à hauteur de 3 à 4 % du produit intérieur brut (PIB) national et de 8 à 10 % du PIB agricole (Mieu, 2017). Avec une production de 100 000 tonnes, la campagne d'exportation 2016 a rapporté 6,5 milliards de franc CFA (près de 10 millions d'euros) aux producteurs ivoiriens avec plus de 30 000 tonnes exportés (Mieu, 2017). La mangue est devenue depuis 1981, le troisième produit de rente du nord de la Côte-d'Ivoire, après le coton et l'anacarde et le troisième produit exporté après la banane et l'ananas (N'Dépo *et al.*, 2009). Elle contribue au développement économique de la région nord (N'Dépo *et al.*, 2009). La mangue joue un rôle stratégique pour la sécurité alimentaire et surtout nutritionnelle des producteurs et des travailleurs. L'autoconsommation de mangues comble les déficiences en micronutriments des populations vulnérables et marginales (femmes enceintes et enfants en bas-âge...). Les activités dans la Chaîne de Valeur (CdV) fournissent des ressources monétaires pour la consommation alimentaire, surtout en période de soudure (Parrot *et al.*, 2018). Les revenus de la mangue servent aussi à payer les frais de santé, de scolarité des enfants et la construction des maisons (dont la qualité est notable dans les zones à forte concentration de manguiers). Les conditions de travail sont acceptables dans les filières d'exportation. Le secteur de la transformation, du conditionnement et de l'exportation en frais à destination de l'Union Européen (UE) emploie une nombreuse main d'œuvre féminine saisonnière (environ 4000 personnes), rémunérée en moyenne 2500 franc CFA par jour pour deux mois de travail par an. Les salaires des femmes renforcent leur marge de manœuvre et leur statut vis-à-vis de l'époux (Parrot *et al.*, 2018). Sur le plan national, la Côte d'Ivoire produit plus de 100 000 tonnes de mangues par an (Tableau II).

1.6.3. Zone de production de mangues en Côte d'Ivoire

La Côte d'Ivoire dispose d'un important verger de manguiers traditionnels et de quelques plantations de type moderne, concentré dans la zone nord du pays, notamment dans les régions de Korhogo, Sinématiali et Ferkessédougou avec une superficie de 2000 ha. La région

Tableau II : Quantité de mangues produites, commercialisées et nombres d'interceptions de mangues en Côte d'Ivoire de 2010 à 2020

Années	Production nationale (Tonnes)	Quantité commercialisés (Tonnes)	Nombres d'interceptions
2010	45 026	11 600	Pas connues
2011	58 045	9 900	Pas connues
2012	94 345	15 267	Pas connues
2013	120 000	16 515	Pas connues
2014	102 300	20 475	62
2015	40 000	22 769	10
2016	100 000	32 628	10
2017	180 000	33 064	32
2018	140 000	33 243	23
2019	140 000	31 743	9
2020	150 000	26 244	5

Source : Anonyme, 2015; Mieu, 2017 ; MINADER, 2020

de Boundiali a une superficie de 200 ha et celle d'Odienné a une superficie de 150 ha. Bouaké avec environ 1500 ha, produit des variétés traditionnelles connues sous les noms vernaculaires de « Tchrele-tchrele, Séguéla et Mango ». Ces zones sont très favorables à la culture de la mangue en raison de la bonne alternance qui existe entre saisons sèches et saisons humides (Touré, 2012). Il n'y a pas de statistiques fiables relatives à la production de mangue par région et par ha. Cependant, sur la base des superficies cultivées dans les régions sus citées, le rendement moyen est compris entre 10 tonnes et 12 tonnes par ha. La région des savanes produit plus de 80 % de la production totale annuelle de mangues et le Denguélé au moins 20 %. Les principales régions de production de mangues sont situées, principalement autour des villes d'Odienné, Boundiali, Niakara, Sinematiali, Korhogo et Ferkéssédougou (Touré, 2012).

2. Mouches des fruits

2.1. Taxonomie

La taxonomie des Tephritidae (mouches des fruits) est la suivante (White & Elson-Harris, 1992) :

Règne	: Animalia
Embranchement	: Arthropoda
Sous-embranchement	: Hexapoda
Classe	: Insecta
Sous-classe	: Pterygota
Division	: Endopterygota
Infra-classe	: Neoptera
Ordre	: Diptera
Sous-ordre	: Brachycera
Division	: Cyclorrapha
Groupe	: Schizophora
Section	: Haplostomata
Superfamille	: Tephritoidea
Famille	: Tephritidae

2.2. Historique

La famille des Tephritidae comporte six sous familles et 27 tribus (Norrbom, 2004). Les familles comprennent les Blepharoneurinae, Dacinae, Phytalmiinae, Tachiniscinae, Tephritinae et Trypetinae. En Décembre 2003, quatre mille quatre cents quarante huit espèces des mouches des fruits réparties dans 484 genres étaient identifiées à travers le monde

(Norrbon, 2004). La sous famille des Dacinae avec la tribu des Ceratidini et celle des Dacini comporte de nombreuses espèces de mouches des fruits, dont certaines ont été signalées en Afrique de l'Ouest (Vayssières *et al.*, 2005). La tribu des Ceratidini, comprend 167 espèces dont 152 afro-tropicales réparties dans 12 genres dont 9 genre afro-tropicales (Norrbon, 2004). Elle comporte le genre *Ceratitis* signalé en Afrique de l'Ouest (Vayssières & Kalabane, 2000 ; Vayssières *et al.*, 2004). Le genre *Ceratitis* qui compte 78 espèces, toutes afro-tropicales, comporte plusieurs sous-genres selon les classifications de Norrbom (2004).

- *Acropteromma* avec 1 espèce afro-tropicale,
- *Ceratalaspis* avec 34 espèces toutes afro-tropicales,
- *Ceratitis* avec 8 espèces toutes afro-tropicales,
- *Hoplolophomyia* avec 1 espèce afro-tropicale,
- *Pardalaspis* avec 10 espèces toutes afro-tropicales,
- *Pterandrus* avec 24 espèces toutes afro-tropicales.

La tribu des Dacini quant à elle compte 765 espèces, dont 184 sont afro-tropicales avec 3 genres dont 2 sont afro-tropicales. Le genre *Bactrocera* qui compte 29 sous-genres et 520 espèces, dont 12 afro-tropicales a été signalé sur la mangue récemment en Afrique de l'Ouest par Norrbom (2004). Parmi ses espèces, *Bactrocera dorsalis* est un groupe de mouches des fruits (Diptera: Tephritidae) qui contient près de 100 taxons morphologiquement similaires (Drew & Hancock, 1994 ; Drew & Romig, 2013). L'aire de répartition géographique de ces taxons s'étend sur trois continents : *Bactrocera dorsalis* s'étend du sous-continent indien et de l'île d'Andaman jusqu'au sud de la Chine et à l'Asie du sud-est puis au sud de la Thaïlande (Aketarawong *et al.*, 2007 ; Drew & Romig, 2013). *Bactrocera papayae* est présent à partir du sud de la Thaïlande dans une grande partie de l'archipel des Indes et des Malais. *Bactrocera carambolae* est largement apparentée à *B. papayae*, en plus d'être très répandue dans les îles Andaman et Nicobar (David & Ramani, 2011). *Bactrocera philippinensis* ne se rencontre que dans les Philippines. *Bactrocera invadens* est présumé originaire de certaines parties des sous-continent indien (Drew & Hancock, 1994 ; Drew *et al.*, 2005 ; Drew & Romig, 2013). Plus récemment, l'aire de répartition de *B. dorsalis* s'est étendue à Hawaï et à un certain nombre d'îles du Pacifique du sud (Stephens *et al.*, 2007), *B. carambolae* dans le nord du sud Amérique (Van Mele, 1991), *B. papayae* dans l'île de Nouvelle-Guinée (Drew & Romig, 1997) et *B. dorsalis* a été retrouvée à travers la majeure partie de l'Afrique subsaharienne (Khamis *et al.*, 2009). A partir des années 2000, elles ont été introduites en Afrique de l'Est à partir du Sri Lanka en 2003 (Lux *et al.*, 2003) et en Côte d'Ivoire en 2006 (Hala *et al.*, 2006) et ont ensuite envahi la quasi-totalité de l'Afrique subsaharienne d'où l'ancienne appellation *B.*

invadens (RES, 2014). Similaire, morphologiquement à la mouche des fruits orientale *B. dorsalis*, les recherches sur leurs patrimoines génétiques, leurs comportements, leur physiologie et leur cycle de développement ont montré que les quatre espèces considérées jusqu'ici distinctes (*B. dorsalis*, *B. philippinensis*, *B. invadens* et *B. papayae*) forment en réalité une seule et même espèce dorénavant appelée *Bactrocera dorsalis*. La cinquième, *B. carambolae* reste pour le moment controversée (RES, 2014).

2.3. Biologie

Comme chez beaucoup de Tephritidae, les adultes émergés, se nourrissent de substances sucrées (miellat d'Homoptères, nectar, etc) présentes sur les arbres fruitiers (Quilici & Franck, 1999). Les femelles ont en outre, besoin de protéines pour assurer leur maturation sexuelle, dont la durée est assez courte, quatre à dix jours (Mbaye, 2006). Les mâles se rassemblent en groupes (leks) sur les plantes où ils émettent une phéromone sexuelle attirant les femelles. Les différents couples se forment et l'accouplement commence au crépuscule et dure toute la nuit (Quilici & Franck, 1999). Peu après l'accouplement, débute la ponte des œufs qui entraîne les premiers dégâts (Mille & Mademba, 1999). En effet, à l'aide de leurs oviscaptés pointus, les femelles insèrent leurs œufs sous l'épiderme du fruit hôte (deux à cinq mm de profondeur) par petits paquets. La fécondité totale est d'environ 400 à 600 œufs en condition favorable par femelle. De couleur blanc crémeux, les œufs éclosent après deux à cinq jours (Mbaye, 2006). Après la ponte, certains Tephritidae épandent une phéromone de marquage sur le fruit piqué, pour signaler leur territoire à leurs congénères (Brévault *et al.*, 2008). Les larves s'enfoncent alors dans la pulpe du fruit, où le cycle larvaire comprenant trois stades peut s'étaler sur dix à 30 jours selon les espèces (Mille & Mademba, 1999). La larve du troisième stade (larve L3), qui mesure cinq à six mm, quitte le fruit d'une brusque détente pour s'enfoncer à faible profondeur dans le sol où s'effectue la nymphose (ou pupaison chez les mouches). Cette étape est précédée d'une courte pré-nymphose (un à trois jours). En forme de tonnelet, la pupa mesure cinq à six mm de long et le stade pupal peut varier de 10 à 20 jours selon les conditions climatiques et l'espèce. Selon Quilici & Franck (1999), le cycle peut s'achever entre 25 et 35 jours au cours duquel émergent les mouches adultes (Figure 1).

2.4. Dégâts des mouches des fruits

Les mouches des fruits appartiennent à la famille des Tephritidae avec plus de 250 espèces économiquement nuisibles (White & Elson-Harris, 1992). Elles constituent un des problèmes majeurs des mangues en Afrique de l'Ouest et dans le monde. Elles s'attaquent à plus de 50 espèces fruitières dont les agrumes et les baies (Vasquez *et al.*, 2002). Selon Quilici *et al.*

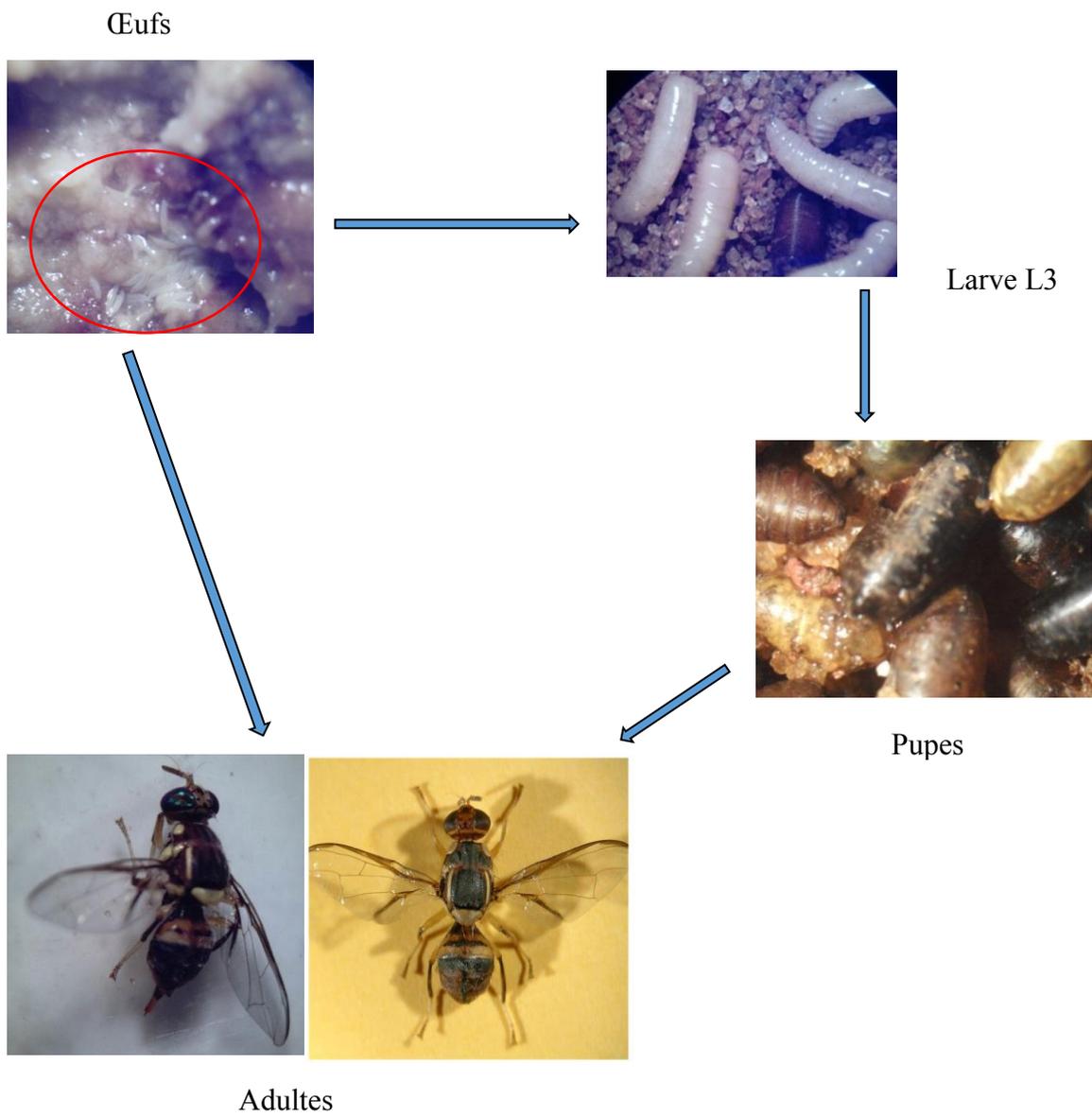


Figure 1 : Cycle biologique chez les Tephritidae : cas de *Bactrocera dorsalis* (N'Dépo, 2010)

(2005), les mouches piquent essentiellement les fruits proches de la maturité ou en maturité (Figure 2) en y laissant des points de piqures (Figure 3). Les larves issues de ces œufs (vers ou asticots), se nourrissent de la pulpe du fruit et y creusent des galeries qui entraînent la pourriture de la mangue (Figure 4). Des pourritures secondaires se développent dans les fruits soumis à des piqûres de pontes ou à des galeries des larves. Ceci entraîne la chute des fruits au sol (Quilici *et al.*, 2006). Ainsi, les chutes et les pourritures sont-elles responsables de la perte de nombreux fruits. Les dégâts causés par les mouches des fruits sur une production de mangues en Tanzanie ont été estimés à plus de la moitié de la récolte (Mwatawala *et al.*, 2004). Au Mali, ces dégâts sont estimés à 50 % environ sur une production annuelle de mangues (Vayssières *et al.*, 2004). Au Bénin, les pertes dues aux mouches sur la production de mangues sont comprises entre 10 et 60 % (Vayssières *et al.*, 2005). Les dégâts similaires à ceux enregistrés sur la production de mangues au Mali et au Bénin sont observés en Côte d'Ivoire, précisément dans la région nord du pays, principale zone productrice de mangues. Ainsi, ont-ils été évalués environ à 34 % pour les pertes directes au champ (piqûres) et à 15 % sous les hangars de conditionnement (Hala, 2001). Ces mouches sont également très actives en fin de saison de récolte des mangues quand la période est plus humide. De récents travaux ont montré que depuis son introduction en Côte d'Ivoire, *Bactrocera dorsalis* est devenu la principale espèce responsable des dégâts sur la mangue (Minhibo *et al.*, 2018).

2.5. Écologie

Plusieurs facteurs, aussi bien biologiques qu'environnementaux, peuvent influencer la distribution spatio-temporelle des populations de mouches des fruits. Ces facteurs affectent directement ou indirectement les taux de survie et de développement des différents stades du cycle et la fécondité des femelles. Parmi ces facteurs, les plus importants sont la température, l'humidité, (les facteurs abiotiques) et la disponibilité des ressources alimentaires (plantes-hôtes). Les ennemis naturels et la compétition inter et intra spécifique peuvent aussi être importants dans certaines circonstances (Ouédraogo, 2011).



Figure 2 : Femelle de *B. dorsalis* en prospection sur une mangue de variété Kent

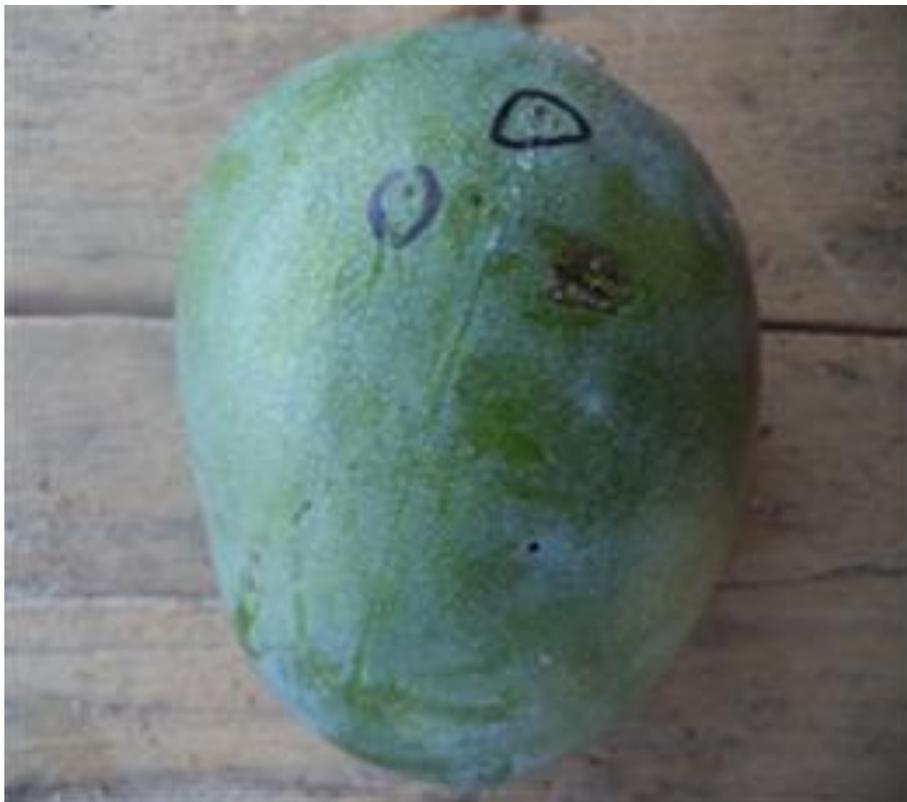


Figure 3 : Points de piqûres des mouches des fruits sur la mangue de variété Kent



Figure 4 : Dégâts de piqûres des mouches des fruits à l'intérieur de la mangue de variété Kent

2.5.1. Influence des facteurs climatiques

a. Humidité

Selon Bateman (1972), l'humidité de l'environnement a une influence particulièrement importante dans l'abondance de nombreuses espèces de Tephritidae. La distribution de *Zeugodacus cucurbitae* en Inde est largement déterminée par l'humidité. Ses populations augmentent quand les précipitations sont suffisantes et baissent durant les périodes sèches (Nishida, 1963). Selon Bateman (1968), après sept années de suivi, il est ressorti une corrélation hautement significative entre le taux d'humidité mesurée à travers les précipitations en été et l'importance des pics atteints chaque année par les populations de *Dacus tryoni* (Froggatt). L'humidité agit sur l'abondance des populations de Tephritidae à travers la réduction de la fécondité des femelles adultes en période sèche et par la forte mortalité des adultes nouvellement émergés dans des conditions sèches (sol sec et atmosphère à faible humidité relative). Neilson (1964) a testé l'hypothèse selon laquelle les populations de *Rhagoletis pomonella* (Walsh), peu communes à Nova Scotia (province du Canada) pendant la période sèche de l'été qu'en période humide, étaient dues à la dessiccation des pupes dans les sols secs. Il a ainsi montré que le taux de survie des pupes dans des conditions d'humidité inférieure ou égale à 60 % était virtuellement nul. La survie des pupes de la mouche des fruits du Mexique *Anastrepha ludens* (Loew) est fortement réduite par une faible humidité du substrat dans lequel elles se développent tout comme le poids des adultes qui en sont issus. Ces effets ont des conséquences directes sur l'importance des populations adultes de cette espèce pendant les années sèches et dans les régions sèches (Bateman, 1972). La longévité des adultes de la mouche des noix *Rhagoletis completa* (Cresson), en cage, est considérablement réduite dans des conditions de faible humidité relative. *Rhagoletis lycopersella* (Smyth) est une espèce endémique des plaines sèches de l'Ouest du Pérou qui s'est adaptée aux conditions de vie dans des milieux arides en évitant l'exposition aux conditions sèches et en retardant de près de huit mois l'émergence des adultes (Bateman, 1972). Il a des pupes résistantes à la dessiccation et les précipitations entraînent des vagues d'éclosion des adultes. Les stades du cycle de vie des Tephritidae les plus sensibles à la dessiccation sont les larves matures (entre la sortie du fruit et la pupaison) et les adultes nouvellement émergés. Les précipitations ont induit des modifications du comportement de ces deux formes. Elles stimulent l'émergence de larves matures des fruits chez *A. ludens* et *D. tryoni* et induisent une augmentation du taux d'émergence d'adultes chez *R. pomonella* (Bateman, 1972). Dans certains cas, la sécheresse semble ne pas être un facteur déterminant.

Newell & Haramoto (1968) ne l'incluent pas parmi les sept principaux facteurs de mortalité affectant les larves et pupes chez *Dacus dorsalis* à Hawaii.

b. Température

La température a un rôle déterminant dans l'abondance des Tephritidae tout comme chez l'ensemble des poïkilothermes. Elle agit soit directement ou indirectement à travers ses effets sur les taux de développement, de mortalité et de fécondité. Les taux de croissance et de décroissance de ces populations dépendent des valeurs de ce facteur climatique qui les influencent de diverses manières en agissant aussi bien sur les individus de la population que sur leur mode de vie. La température a un rôle important dans la détermination du taux de développement et est ainsi largement responsable de l'évolution des processus de développement de la population et de leur synchronisation avec les changements de l'environnement. Dans la plupart des cas dans le monde, les mouches des fruits ont une abondance saisonnière avec des populations élevées en été et faibles en hiver. Chez les espèces univoltines, l'oviposition est généralement réduite à quelques semaines en été, mais pour la plupart des espèces tropicales multivoltines, elle s'étale du début de la saison sèche (printemps) jusqu'à tard en fin de la saison sèche dans la zone d'étude toutefois que les plantes-hôtes sont disponibles. Ces espèces multivoltines peuvent produire jusqu'à six générations chevauchantes au cours d'une seule saison. Généralement, leur nombre augmente pour atteindre un pic en saison humide (Bateman, 1972). Même dans les zones tropicales comme Hawaii où les différences entre la saison humide et la saison sèche sont relativement faibles, il y a une gamme de période d'abondance mais cela est beaucoup plus due à la disponibilité de plantes-hôtes qu'à l'effet direct de la température (Haramoto, 1970). Généralement, le développement des stades immatures des Tephritidae se situe entre 10 °C et 30 °C. Cependant, des pupes post diapausantes de certaines espèces tempérées peuvent se développer à des températures plus basses comme 5 °C (Bateman, 1972). Une certaine heure d'exposition à 45 °C semblent être la limite supérieure quelque soient les stades de développement mais la plus basse température limite semble indéfinie. Les pupes des espèces tempérées peuvent être exposées au champ à des températures aussi basses que -12 °C sans dommages (Leski, 1969). Apparemment, la fécondité des mouches des fruits dépend aussi de la température avec le maximum de production d'œufs dont la gamme de température est comprise entre 25°C et 30 °C. Pour l'oviposition, le seuil descend cependant entre 9 °C et 16 °C pour différentes espèces. La limite supérieure ne semble pas claire mais au champ, l'oviposition est plus faible pendant les périodes les plus chaudes de la journée (Nishida &

Bess, 1957). Selon Bateman (1972), la plupart des espèces des mouches des fruits tempérées hivernent sous la forme de pupes diapausantes. Les larves s'enfoncent dans le sol aussitôt après leur sortie du fruit en fin d'été ou pendant l'automne, et se transforment en pupes au bout de quelques jours puis restent en diapause jusqu'au prochain automne. Quelques individus restent en diapause pour une année ou pour plusieurs années. Chez la plupart des espèces tropicales, l'hivernation est généralement accomplie par les adultes. Ils tendent à se rassembler dans des zones refuges qui disposent de ressources alimentaires. Ces groupes d'hivernation forment souvent des populations assez stables à cause du taux de naissance nul, du faible taux de mortalité et de l'inhibition des mouvements par les faibles températures. Des rassemblements constitués de près de 800 individus de différentes espèces appelés « leks » ont été décrits par Quilici & Franck (1999). Ils sont généralement restreints à des gammes de plantes à feuilles persistantes comme les *Citrus* ou le bananier ou d'autres plantes favorables. Ils peuvent devenir assez actifs pour se nourrir pendant les heures chaudes de la journée mais tendent à retourner dans les mêmes abris dès que les températures chutent (Quilici & Franck, 1999).

c. Lumière

La lumière joue un rôle déterminant dans la détermination de la fécondité des mouches des fruits. Cependant, elle a moins d'effet direct sur le taux de développement et de mortalité. Elle affecte premièrement l'activité générale des femelles adultes particulièrement l'alimentation et l'oviposition. Par son rôle déterminant dans la synchronisation du comportement d'accouplement, la lumière affecte aussi la fécondité. Pour de nombreux Tephritidae, la baisse de la luminosité au crépuscule agit comme un stimulus pour l'initiation de l'activité sexuelle. Chez les espèces tempérées, le temps d'accouplement reste défini de façon moins précise (Quilici & Franck, 1999).

2.5.2. Influence des facteurs non climatiques

L'alimentation joue un rôle important dans le développement des populations et des individus pour les mouches des fruits (Bateman, 1972). La plupart des milieux développés contiennent des substances nutritives telles que les levures ou des poudres issues de produits de plantes. Il n'y a pas de larves de mouches des fruits élevées à partir de milieu nutritionnel synthétique. Ainsi, leurs exigences nutritionnelles précises n'ont pu être déterminées. Dans les fruits qu'ils infestent, l'action de la microflore intra et extra intestinale des larves sur le substrat alimentaire, produit les substances essentielles pour leur croissance. La nutrition des larves

peut influencer la longévité et la fécondité des adultes qui en résulteront. Des adultes de *Ceratitis capitata* (Wiedemann) élevés sur des pêches, du kaki, des cactus vivent plus longtemps que ceux élevés à partir de figes ou des poires ou sur du milieu artificiel d'élevage. Des larves de *Rhagoletis pomonella* élevées au laboratoire se développent aussi bien que celles élevées à partir de pommes. Mais leurs adultes présentent de sérieuses déficiences du point de vue du comportement et de la fécondité. Chez les adultes, de nombreuses informations existent sur les besoins nutritionnels. Toutes les espèces ont besoin d'hydrates de carbone comme source d'énergie et d'eau pour survivre. En plus, la plupart des espèces ont besoin d'une diversité de substances nutritives y compris des substances protéiniques pour atteindre la maturité sexuelle. Des milieux nutritifs synthétiques pour adultes ont été développés pour diverses espèces dont certains basés sur la composition chimique du miellat du puceron du pommier (*Aphis pomi*). Le miellat de cochenilles est également considéré comme une source de nourriture des mouches des fruits dans la nature (Neilson, 1966 ; Yasamatsu & Nagatomi, 1959). Les adultes de mouches des fruits ont été observés entrain de s'alimenter sur une diversité de produits naturels incluant les jus et tissus de fruits blessés ou en décomposition, la sève des plantes, le nectar des fleurs et les fèces d'oiseaux (Newell & Haramoto, 1968). Pour beaucoup d'espèces d'insectes, la quantité de nourriture disponible est le facteur d'abondance le plus déterminant. Chez les mouches des fruits, il y'a indiscutablement une relation entre la quantité de nourriture disponible pour les larves et la population locale d'adultes ainsi que le taux de production de nouveaux individus (Newell & Haramoto, 1968). La possibilité de rupture de nourriture pour les adultes peut influencer leur nombre (Bateman, 1972).

2.6. Lutte contre les mouches des fruits

La mise en place de méthodes de lutte efficaces contre les Tephritidae ravageurs des cultures s'avère difficile car différents stades du cycle biologique des mouches sont localisés dans différents micro- habitats. Les œufs et les larves se développent à l'intérieur du fruit tandis que la puppe est enfouie dans le sol et le stade adulte reste le seul stade exposé aux insecticides utilisés en traitement aérien ou terrestre. La protection des cultures contre les mouches des fruits, qui a longtemps reposé sur une base agrochimique (Magaña *et al.*, 2007 ; Boulahia-Kheder *et al.*, 2012) est aujourd'hui à la croisée des chemins à cause des nombreux risques provoqués par ces pratiques. Il est maintenant nécessaire de développer d'autres procédés. Les méthodes de lutte n'ont généralement intégré que la lutte biologique et chimique dans une démarche curative. L'enjeu actuel serait de passer à une démarche de prévention des

infestations de mouches, basée sur un fonctionnement écologique plus équilibré et durable des agrosystèmes.

Cette approche s'appuie sur une gestion agro-écologique des communautés végétales (plantes cultivées et non cultivées) et animales (insectes ravageurs, utiles, pollinisateurs) à différentes échelles (temps et espace) et de gestion élargies (Deguine *et al.*, 2008). La conjonction de plusieurs moyens de lutte permet une efficacité acceptable sur les plans économique et environnemental. De plus, la mise au point de moyens de lutte comportementale (Behavioural Control) par l'élaboration de pièges olfactifs, visuels et autres, reste une priorité dans de nombreux pays du monde. Il convient également d'intégrer les méthodes de surveillance des populations, afin de permettre aux agriculteurs de savoir à quel moment il est nécessaire d'appliquer un traitement insecticide ou encore pour vérifier l'efficacité de la lutte appliquée (Deguine *et al.*, 2008).

2.6.1. Surveillance des populations

La dynamique des populations des mouches des fruits se base sur le suivi des adultes par le biais des pièges spécifiques à raison de 4 pièges par hectare espacé de 40 m (Coulibaly, 2016). Pour surveiller l'abondance des populations d'adultes, il existe deux types de pièges de surveillance. (i) Les pièges pour les mâles avec un attractif sexuel (ou para-phéromone) comme le trimedlure et l'huile des racines de gingembre pour diverses espèces du genre *Ceratitis* et le Méthyl-eugénol ou le Cuelure pour nombreuses espèces du genre *Bactrocera* et *Dacus*. (ii) Les pièges à appâts alimentaires à base de protéines comme le « Ceratrap » ou la « levure de *Torula* », qui capturent les mâles et les femelles (Coulibaly, 2016 ; Minhobo *et al.*, 2019a). Ces pièges à appâts alimentaires ont montré toutefois des limites quant à leur efficacité : attractivité faible, distance réduite d'attraction, durée de vie limitée au champ, contraintes d'utilisation et attraction d'espèces non-cibles (McPherson & Steck, 1996 ; Siderhurst & Jang, 2010 ; Coulibaly, 2016).

2.6.2. Mesure prophylactiques

La lutte prophylactique consiste à rompre le cycle biologique de l'insecte en empêchant le développement des larves vers le stade adulte. Il est donc recommandé d'effectuer un travail du sol avec un labour profond pour exposer les pupes qui sont dans le sol à la forte chaleur et à l'attaque de prédateurs et de parasitoïdes. Le ramassage des fruits tombés pouvant abriter des stades larvaires suivi de leur destruction par enfouissement ou par incinération ainsi que le stockage des mangues mûres dans les augmentoria sont des mesures prophylactiques efficaces visant à briser le cycle biologique des mouches (Minhobo *et al.*, 2019b).

2.6.3. Lutte chimique

Les premières campagnes de lutte chimique contre les mouches des fruits ont commencé au début du 20^{ème} siècle avec l'utilisation d'insecticides inorganiques comme l'arséniat de plomb et le fluorosilicate de sodium. Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, les agriculteurs se sont tournés massivement vers les pesticides comme moyen de lutte contre les arthropodes ravageurs. Le DDT (DichloroDiphénylTrichloroéthane) était le produit le plus utilisé entre 1945 et 1965 (Metcalf & Luckmann, 1994). Les consommateurs attachaient une grande importance à l'apparence des fruits et les produits agricoles devaient être exempts de dommages causés par les insectes, par les maladies ou par des désordres physiques. Les produits chimiques comme les organophosphorés ont remplacé le DDT au début des années 50. Ils ont été largement utilisés et ont permis de diminuer les populations de Tephritidae et leurs dommages associés (Metcalf & Luckmann, 1994). Cependant, l'utilisation abusive des produits chimiques à des concentrations de plus en plus fortes a conduit à plusieurs désastres écologiques qualifiés par Roy *et al.* (2002) par l'effet des 4R pour résistance, rémanence, résurgence et rupture des chaînes trophiques. Aussi présente-t-elle des coûts liés à l'acquisition et à l'application du produit élevé, pas toujours à la portée des petits producteurs particulièrement ceux d'Afrique. Les risques d'intoxication des producteurs et des consommateurs, ainsi que les faibles limites maximales de résidus des pesticides sur les produits agricoles fixés sur les marchés d'exportation sont autant de raisons qui ont réduit de nos jours, le champ d'application de la lutte chimique conventionnelle dans le contrôle des mouches des fruits (Ouédraogo, 2011).

De nos jours, la lutte chimique couramment utilisée contre les Tephritidae, repose sur l'utilisation de pulvérisations d'appâts (traitements par tâches ou bait sprays) pendant la phase de sensibilité du fruit (Hafsi *et al.*, 2015). Ce traitement consiste à l'application d'un insecticide de contact, appartenant généralement à l'une des familles des organophosphorés, carbamates ou pyréthroides, associé à un hydrolysate de protéines qui attire et tue les mouches femelles et mâles directement par contact ou inhalation (McPhail, 1939 ; Steiner, 1952). Cette protection utilisant les traitements par tâches, montre ses limites tant par une efficacité insuffisante sur les ravageurs que par les lourdes conséquences sanitaires, environnementales et économiques qu'elle entraîne. En effet, une résistance au Malathion a été rapportée pour de nombreux insectes, y compris certaines espèces de la famille des Tephritidae comme *C. capitata* en Espagne (Magaña *et al.*, 2007). Ces insecticides ont montré des impacts négatifs sur les insectes bénéfiques (Michaud, 2003 ; Michaud & Grant, 2003) et peuvent entraîner la prolifération de ravageurs secondaires (Gerson & Cohen, 1989). En outre, il est à signaler que

l'application de la directive européenne (91/414) du 15 juillet 1991 et de la Direction de la Protection des Végétaux du Contrôle de la Qualité (DPVQ) en Côte d'Ivoire le 24 Octobre 2019 concernant la commercialisation des pesticides ont annoncé le retrait de nombreuses matières actives comme le Malathion en 2008 et le Chlorpyrifos à compter du 03 Octobre 2021. En conséquence, l'utilisation du Malathion a été progressivement remplacé par des insecticides plus respectueux pour l'environnement tel que le Spinosad qui est la matière active du Success appât (Chueca *et al.*, 2007). Cet insecticide a un meilleur profil environnemental et il est considéré comme faiblement toxique pour les ennemis naturels par rapport au Malathion (Williams *et al.*, 2003 ; Urbaneja *et al.*, 2009).

2.6.4. Lutte autocide ou technique de stérilisation des mâles

La Technique de l'Insecte Stérile (TIS) a été développée à la base pour lutter contre la mouche du bétail par Knippling (1955) puis plus tard contre *C. capitata* (Gilmore, 1989). Le concept de la lutte autocide est basé sur la capacité d'élever, de stériliser et de relâcher un nombre suffisamment important de mâles stériles compétitifs pour submerger la population sauvage dans une région géographique selon un ratio dépendant du potentiel reproductif des espèces cibles. C'est une technique qui consiste à l'irradiation des mâles afin de les rendre stériles. Elle consiste à élever en masse de grandes quantités d'insectes cibles et à stériliser les mâles en exposant les pupes à des faibles doses de rayons X ou Gamma. Les mâles stériles sont ensuite lâchés où ils s'accouplent à des femelles sauvages. Ainsi, leur accouplement avec les femelles sauvages n'engendre-t-il pas de descendance ou donne lieu à une descendance non viable. On assiste à une réduction de la population par l'infertilité des femelles. Cette technique est excessivement coûteuse (Dyck *et al.*, 2005).

2.6.5. Lutte à base de substance naturelle

Aujourd'hui connu sous le nom botanique de *Azadirachta indica* A. Juss, le neem est un arbre qui appartient à la famille des Méliacées. Il a été l'objet d'intenses activités de recherches depuis l'isolement et la caractérisation de l'azadirachtine comme insecticide naturel à partir de ses graines (Butterworth & Morgan, 1968). Les énormes potentialités du neem pour le contrôle et la lutte contre les insectes ravageurs ne sont devenues claires que récemment, en particulier en réponse au problème posé par la bioaccumulation et la toxicité des pesticides de synthèse utilisés pour l'agriculture depuis plus de 60 ans. La capacité du neem à repousser les insectes a été signalée pour la première fois dans la littérature scientifique en 1928 et 1929 par deux chercheurs indiens qui ont utilisé 0,001 % d'une suspension aqueuse de graines de neem pour repousser du sol des criquets pèlerins (Schmutterer, 1995). Dix ans plus tard, des essais

réalisés à la station de recherche sur le café en Haute Kiambu (Kenya) ont montré que les extraits méthanoliques de feuilles de neem contrôlaient la croissance du bogue du café (*Antestiopus orbitalis bechuana*) selon Schmutterer (1995). La plupart des groupes d'insectes traités avec cet extrait perdaient la vie au cours des mues et les rares survivants présentaient des malformations au niveau des ailes et du thorax à l'âge adulte. De même l'huile de neem à la dose de 1 litre/ha s'est avérée efficace pour la réduction des populations des mouches des fruits dans les vergers manguiers du nord de la Côte d'Ivoire (Coulibaly *et al.*, 2019).

2.6.6. Lutte à base d'appât alimentaire

Le Success appât communément appelé le GF-120 est un mélange comprenant des substances alimentaires et un insecticide à base de Spinosad (0, 24g/l). C'est un produit fermenté dérivé d'une bactérie vivant dans le sol, *Saccharopolyspora spinosa* qui a un effet insecticide (Vayssières *et al.*, 2008). Ce produit est utilisé dans le cas de traitement par taches qui consiste à traiter partiellement le feuillage avec une bouillie comprenant un mélange d'insecticide et un attractif alimentaire. Les insectes sont attirés par l'attractif et tués par l'insecticide. Le mélange est pulvérisé sur des parties de l'arbre ne portant pas de fruits pour éviter la présence de résidus d'insecticide dans les fruits, tout en limitant les quantités d'insecticide épandues (Vayssières *et al.*, 2004).

2.6.7. Lutte intégrée

Un programme de lutte intégrée ne vise pas l'éradication des mouches des fruits mais repose plutôt sur une stratégie de lutte qui réduit l'ensemble de la population dans une zone de culture bien déterminée où l'espèce de mouche des fruits cause des dégâts économiques. Cette stratégie de lutte implique l'emploi combiné et judicieux de différentes méthodes de lutte tout en respectant l'environnement (la faune auxiliaire et l'Homme). Ceci permet de limiter le nombre d'interventions chimiques en milieu paysan (Chouibani *et al.*, 2001). Elle associe des mesures biologiques, chimiques, physiques et culturelles. Ainsi pour les espèces *Bactrocera tryonii*, *B. xanthodes*, *B. kirkii* et *B. dorsalis*, a-t-elle été appliquée en associant des lâchers de *Fopius arisanus*, des traitements par taches, le piégeage mixte avec des attractifs visuels et olfactifs (Diatta, 2016).

2.6.8. Lutte à base d'agent biologique

Les ennemis naturels peuvent jouer un rôle essentiel dans la régulation des populations de ravageurs. La faune auxiliaire indigène n'est pas toujours suffisante pour contrôler ces ravageurs et des introductions par des lâchers de parasitoïdes peuvent aider à contrôler ceux-

ci. L'ennemi naturel doit être le plus sélectif possible envers le ravageur que l'on veut combattre. La lutte biologique contre les mouches des fruits a plus d'un siècle. Elle a commencé en 1902, lorsque le gouvernement australien a décidé d'entreprendre une campagne de lutte contre *Ceratitis capitata* (Clausen *et al.*, 1965). Peu après, des programmes similaires sont lancés en Italie et à Hawaii (Funasaki *et al.*, 1988). Des résultats encourageants ont été obtenus à Hawaii, notamment avec l'introduction de *Psytalia fletcheri* contre *Zeugodacus cucurbitae* (Wharton, 1989). En 1945, vingt quatre espèces de parasitoïdes ont été testées contre *Bactrocera dorsalis* à Hawaii dont cinq d'entre elles se sont établies et seulement trois parmi elles dont *Fopius arisanus* (Sonan) ont entraîné une diminution notable des populations de *B. dorsalis* et *C. capitata* (Newell & Haramoto, 1968). Selon Menezes *et al.* (1998) ; Guillén *et al.* (2002), Certains parasitoïdes des pupes, comme *Coptera haywardi* (Ogloblin) et *Pachycrepoideus vindemiae* (Rondani) pourraient être des compléments utiles aux programmes de contrôle des Tephritidae en s'attaquant aux individus qui ont échappé au parasitisme au stade larvaire. De nombreuses études indiquent, également, le potentiel des champignons entomopathogènes pour le contrôle des Tephritidae (Castillo *et al.*, 2000 ; Sookar *et al.*, 2008). Des isolats de champignons appartenant aux genres *Aspergillus*, *Beauveria* et *Metarhizium* ont été testés au laboratoire et au champ contre plusieurs espèces de la famille des Tephritidae. Ceux-ci peuvent affecter négativement les populations adultes de *C. capitata*, *C. rosa* et *C. fasciventris* (Ekesi, 2010). Les Tephritidae passant une partie de leur cycle biologique dans le sol peuvent être la cible de nématodes entomopathogènes.

L'ensemble des espèces de nématodes appartenant aux genres *Heterorhabditis* et *Steinernema* s'est montré efficace dans des essais au laboratoire (Lindgren & Vail, 1986 ; Toledo *et al.*, 2006) et dans les vergers contre les Tephritidae (Kamali *et al.*, 2013). Parmi les méthodes de luttés biologiques, la fourmi oecophylle, appelée aussi « insecticide vivant », est le plus ancien exemple de lutte biologique au monde dans le sud-est asiatique (Hölldobler & Wilson, 1990). En Côte d'Ivoire, les travaux récents réalisés par Coulibaly *et al.* (2019) ont montré que *Oecophylla longinoda* a protégé les vergers de manguiers de variété Kent à plus de 90 % contre les mouches des fruits.

a. Parasitoïdes

Ce sont des insectes de petite taille de l'ordre des Hyménoptères qui pondent leurs oeufs à l'intérieur des oeufs de l'hôte), c'est le cas de *Fopius arisanus* Sonan (Hymenoptera: Braconidae). D'autres sont larvo-pupaux (pondant les oeufs dans les larves de l'hôte), c'est le cas de *Psytalia insignipennis* Granger, *Psytalia distinguenda* Granger et *Diachasmimorpha*

fullawayi Silver (Braconidae: Opiinae), trois endoparasitoïdes observés sur la mouche de la méditerranée à l'île de la Réunion (Quilici *et al.*, 2003). Il a été révélé le cas de *Spalangia gemina* Boucek (Pteromalidae) obtenu des pupes des Tephritidae en vergers de manguiers à l'île de la Réunion. Ces espèces contribuent à une certaine régulation de l'abondance des populations des mouches des fruits (Quilici *et al.*, 2003). En Côte-d'Ivoire, treize (13) espèces de parasitoïdes des mouches des fruits ont été recensées. Elles appartiennent à deux ordres dont l'ordre des Hyménoptères répartis en trois genres : le genre *Diachasmimorpha* avec les espèces *Diachasmimorpha tryoni* Cameron et *Diachasmimorpha fullawayi* Silvestri, le genre *Fopuis* avec les espèces *Fopuis arisanus* Sonan, *Fopuis caudatus* Sonan, *Fopuis vandenboschi* Fullaway et *Fopuis silvestrii* Warthon, et le genre *Psytalia* avec les espèces *Psytalia lounsburyi* Silvestri, *Psytalia incisi* Silvestri et l'ordre des Diptères (Kadio, 2008).

b. Entomopathogènes

Les entomopathogènes sont les micro-organismes appartenant à des groupes variés (bactéries, champignons, protozoaires, virus...). Ils induisent des pathologies susceptibles de réduire les populations des Tephritidae. Les pathogènes pénètrent dans le corps de l'insecte de manière passive, lors de l'ingestion d'aliments, ou active, par les orifices naturels ou par voie directe à travers la cuticule (contact physique). C'est le cas de *Metarhizium anisoplia* qui pénètre par contact à travers les cuticules (Ouédraogo, 2011).

c. Prédateurs

Les prédateurs sont les êtres vivants (animaux) qui capturent les mouches des fruits ou leurs larves comme des proies dans les fruits infestés. Selon Van Mele *et al.* (2007), parmi ces prédateurs, les plus connus sont les "fourmis oecophylles" de la famille des Formicidae, l'oecophylle, *Oecophylla longinoda* L « la fourmi feu », *Solenopsis geminata* (Fabricius) et *Pheidole megacephala* (Fabricius). Ces prédateurs ne causent aucun dégât économique, mais en revanche, capturent et consomment les larves, les pupes et même les adultes des mouches des fruits. A ces prédateurs, s'ajoutent la guêpe, *Polistes hebraeus* (Fabricius), les mantes religieuses *Hymenopus coronatus* (Olivier) et les Acariens *Balaustium putmani* (Von Heyden) et *Zetzellia mali* (Ewing) selon Quilici *et al.* (2003).

2.7. Cas spécifique du prédateur : fourmis oecophylles

2.7.1. Organisation des fourmis

Les fourmis constituent un groupe dominant de la biomasse animale terrestre. Elles sont valorisées autant et leur importance est valorisée autant par leur nombre que par le

comportement social associé au nombre (Vayssières & Sinzogan, 2008). Plus de 16 471 espèces de fourmis étaient répertoriées en janvier 2011, mais on découvre de nouvelles espèces chaque mois, essentiellement en zone tropicale et dans la canopée explorée depuis une trentaine d'années (Vayssières & Sinzogan, 2008). Les ébauches du comportement social des fourmis sont apparues au Crétacé (il y a environ 100 millions d'années) et n'a cessé d'évoluer jusqu'à ce jour. Les fourmis sont des organismes eusociaux caractérisés par une répartition des individus de la colonie en castes (Vayssières & Sinzogan, 2008). Grâce à leur organisation en société soutenue par un système de communication très efficace, grâce à leur faculté d'adaptation à l'environnement, les fourmis ont réussi à coloniser presque la terre entière. Elles sont présentes dans tous les habitats terrestres du monde sauf le Groenland et l'Antarctique (habitats glaciaux). Leurs habitats de prédilection restent les régions tropicales connues pour la richesse de leur faune et la très grande variété de leurs espèces. Selon Diame (2016), la faune myrmecologique asiatique se divise principalement en six guildes : (i) les fourmis collectrices de graines et divers débris végétaux, (ii) les fourmis champignonnistes, (iii) les fourmis « légionnaires », (iv) les fourmis prédatrices spécialisées, (v) les fourmis prédatrices généralistes terricoles et (vi) les fourmis prédatrices généralistes arboricoles. Dans cette dernière catégorie figurent les oecophylles, *Oecophylla longinoda* (Latreille) en Afrique et *Oecophylla smaragdina* (Fabricius) en Asie.

2.7.2. Écologie et comportement des fourmis oecophylles

Les oecophylles sont des fourmis arboricoles qui vivent en société au niveau de différents nids où il existe une division du travail entre les membres (Vayssières & Sinzogan, 2008). Les membres d'une colonie vivent dans de nombreux nids disposés sur plusieurs arbres et chassent sur ces arbres mais aussi sur une surface de plusieurs centaines de mètre carré. Les membres d'une colonie s'identifient tous et collaborent sur leur territoire grâce à différents types de phéromones. Ce sont des fourmis qui utilisent la soie produite par leurs larves pour la construction de leurs nids (Hölldobler & Wilson, 1990).

La colonie des fourmis oecophylles (Figure 5) comporte plusieurs composantes (Vayssières & Sinzogan, 2008) :

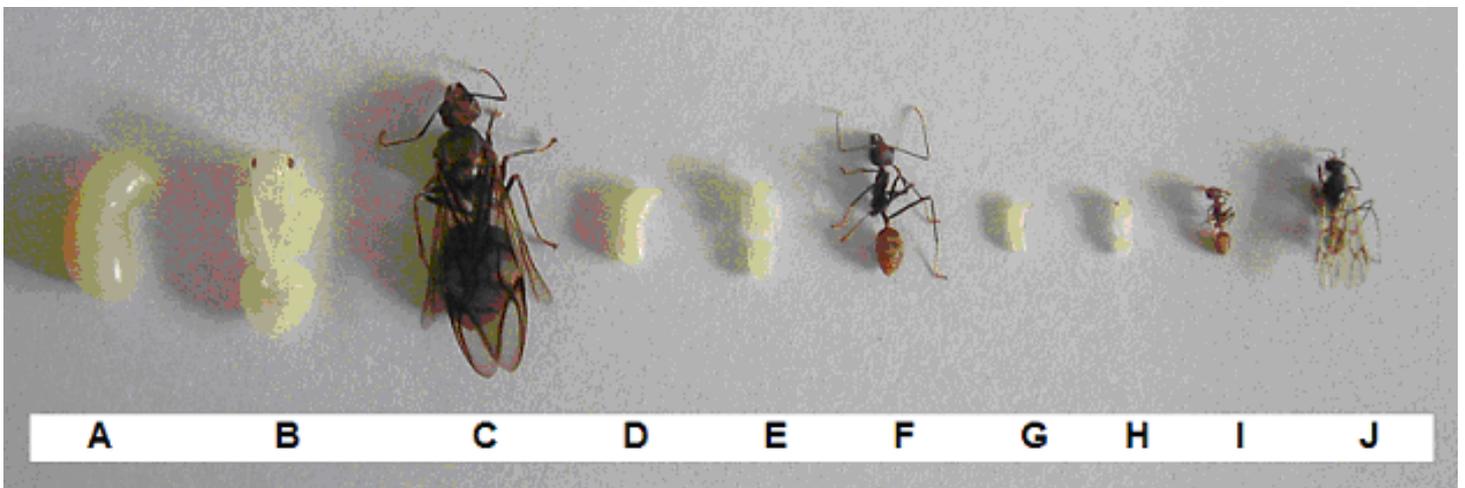


Figure 5 : Castes et stades pré adultes de *Oecophylla longinoda* (Vayssières & Sinzogan, 2008).

- A: Larve de reine
- B: Puppe de reine
- C: Reine vierge
- D: Larve de mâle ou de grande ouvrière
- E: Puppe de mâle ou de grande ouvrière
- F: Ouvrière majeure
- G: Larve de petite ouvrière
- H: Puppe de petite ouvrière
- I: Ouvrière mineure
- J: Mâle

- **une reine** : elle est unique (en saison sèche) ou multiple (plusieurs reines vierges ailées) dans plusieurs nids (en saison des pluies). Leur reconnaissance est facile, car elles sont de grande taille, de couleur brun-vert, avec un gros abdomen. Elles perdent leurs ailes après l'accouplement et peuvent pondre des milliers voir des millions d'oeufs dans leur vie (10 à 15 ans). C'est la reine qui détermine la carte d'identité génétique de la colonie. La vie de la colonie dépend de celle de la reine.

- **les mâles** : ils sont plus petits que la reine mais ailés de couleur noirâtre. Ils ne s'accouplent qu'une seule fois dans leur vie, car une fois l'accouplement fini, ils meurent. Ils vivent environ une semaine.

- **les ouvrières mineures** : elles restent à l'intérieur du nid pour la gestion des besoins de la couvée et des tâches domestiques. Elles prennent soin des nourrices et se chargent aussi de la récolte de miellat.

- **les ouvrières majeures**: elles sont plus nombreuses dans une colonie et comme leur nom l'indique, elles sont responsables de plusieurs activités (construction des nids, défense des nids, collecte de nourriture par la prédation) selon Van Mele & Cuc (2008).

2.7.3. Taxonomie des fourmis oecophylles

La taxonomie des fourmis oecophylles selon Delvare & Aberlenc (1989) est:

Règne	: Animalia
Embranchement	: Arthropoda
Sous embranchement	: Antennata
Classe	: Insecta
Sous-classe	: Pterygota
Ordre	: Hymenoptera
Sous-ordre	: Apocrita
Infra-ordre	: Aculeata
Super-famille	: Formicoidea
Famille	: Formicidae
Sous-famille	: Formicinae
Genre	: <i>Oecophylla</i>

2.7.4. Régime alimentaire des fourmis oecophylles

Les oecophylles sont des prédateurs généralistes qui se nourrissent surtout d'insectes et en particulier de ravageurs des cultures tels que, les larves de Tephritides ou même les adultes de

Tephritidae. Elles se nourrissent aussi de sucres qu'elles collectent dans le nectar des plantes, ou au niveau des exsudats des cochenilles. Comme la majorité des fourmis, les oecophylles pratiquent la trophallaxie. Chaque ouvrière possède un jabot secondaire dit « jabot social » qui permet de stocker de la nourriture prédigérée. La nourriture contenue dans celui-ci va pouvoir être régurgitée directement dans la bouche d'une autre ouvrière qui n'aurait pas eu le temps de subvenir à ses propres besoins nutritifs (Déguenon, 2009).

2.7.5. Importance des fourmis oecophylles

2.7.5.1. Protection contre les mouches des fruits

La présence des fourmis oecophylles dans les vergers de manguiers, d'agrumes réduit considérablement les dégâts causés par les mouches des fruits par :

- la prédation des larves au niveau des fruits et du sol,
- une composante physique (répulsion) et/ou chimique (phéromones) empêchant les femelles de pondre dans les fruits ayant été fréquentés par ces fourmis rouges (Vayssières & Sinzogan, 2008).

2.7.5.2. Action répulsive contre les rats, les roussettes et les voleurs

En dehors des insectes, les fourmis attaquent et/ou gênent d'autres types de ravageurs. Au Bénin, certains planteurs ont ainsi introduit dans leurs vergers *Oecophylla longinoda* pour protéger leurs mangues des voleurs (Vayssières & Sinzogan, 2008).

2.7.5.3. Action sur la qualité des fruits et la production

Selon certaines femmes-récolteuses, les fruits des arbres avec les fourmis oecophylles se conservent mieux et sont plus sucrés. Ils ont une meilleure qualité et c'est le cas des mangues en Afrique de l'Ouest (Wargui, 2016). De plus les producteurs asiatiques ont constaté que les fruits des agrumes protégés par *Oecophylla longinoda* sont plus juteux et plus brillants. La remarquable organisation du comportement de prédation des oecophylles, leurs patrouilles incessantes sur tout le territoire occupé par la colonie et leur aptitude à rapidement coloniser de nouveaux territoires expliquent leur succès dans la capture ou la tenue à distance de nombreux ravageurs (Way & Khoo, 1992).

Les fourmis ascophylles, *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae) contrôlent plus de 40 espèces d'insectes nuisibles sur de nombreuses cultures d'arbres tropicaux (Way & Khoo, 1992 ; Peng *et al.*, 1995).

Dans les plantations de manguiers du nord Australien, *O. smaragdina* contrôle efficacement de nombreux ravageurs importants incluant les thrips *Selenothrips rubrocinctus* Giard. Il y'a

aussi, les cicadelles *Idioscopus nitidulus* Walker, la mouche des fruits, *Bactrocera jarvisi* Tryon, les charançons de la mangue *Sternochetus mangiferae* Fabricius (Peng & Christian, 2007), les mirides du manguier *Campylomma austrina* Malipatil (Peng & Christian, 2004 ; Peng & Christian, 2005b ; Peng & Christian, 2006 ; Peng & Christian, 2008).

Dans les plantations d'anacardiens du nord Australien, *O. smaragdina* contrôle effectivement de nombreux ravageurs importants incluant les mirides de l'anacardier *Helopeltis pernicialis*, la punaise des fruits *Amblypelta lutescens* Distant (Peng & Christian, 2005b) et la noctuelle *Anigraea ochrobasis* Hampson (Peng *et al.*, 1997a et b).

Des études réalisées par Van Mele *et al.* (2002) ont montré que dans les plantations d'agrumes du sud-est Asiatique, *O. smaragdina* contrôle effectivement de nombreux ravageurs importants incluant les punaises *Rhynchocoris humeralis* (Thnb.), les pucerons *Toxoptera aurentii* et *T. citricidus* (Kirkaldy) et la mineuse des feuilles *Phyllocnistis citrella* Stainton.

Dans les plantations de manguiers d'Afrique de l'Ouest, *O. longinoda* contrôle efficacement des ravageurs très importants tels que *Bactrocera dorsalis* et *Ceratitidis cosyra* (Van Mele *et al.*, 2007 ; Adandonon *et al.*, 2009 ; Van Mele *et al.*, 2009). Il permet ainsi la production de fruits avec le label certifié d'Agriculture Biologique (Van Mele & Vayssières, 2007a ; Van Mele & Vayssières, 2007b). Au Bénin, des études ont montré que *O. longinoda* a réduit de manière significative les dommages causés par les mouches des fruits sur la mangue et des insectes nuisibles de la noix de cajou (Wargui *et al.*, 2015). En Côte d'Ivoire, des études similaires effectuées par Allou *et al.* (2006) sur le cocotier ont montré que *Oecophylla longinoda* a réduit les dégâts de la punaise (*Pseudotheraptus devastans*). Le tableau III fait une synthèse des études réalisées en utilisant *Oecophylla longinoda* et *Oecophylla smaragdina* dans le contrôle des insectes ravageurs de cultures.

2.7.5.4. Mécanismes mis en oeuvre par *Oecophylla longinoda* pour la lutte biologique contre les bioagresseurs

Oecophylla longinoda exerce deux types d'action pour la lutte biologique contre les insectes bioagresseurs. Une forme directe par la prédation des insectes ravageurs ou par neutralisation d'agents pathogènes avec les composés antibiotiques qu'elles transportent avec elle. Une forme indirecte par un phénomène de répulsion dû à ses sécrétions (Dejean, 1991). La prédation des insectes ravageurs s'exerce sur les arbres supportant les nids ainsi que sur les territoires « secondaires » habituellement situés sous les arbres au niveau du sol (Dejean, 1991). Cette capacité à éliminer tous les intrus sur leur territoire rend *O. longinoda* mieux

Tableau III : Exemples de contrôle biologique effectué par *Oecophylla longinoda* et *Oecophylla smaragdina* contre les insectes ravageurs de cultures

Agents de contrôle biologique	Cultures	Bioagresseur(s) Contrôlé(s)	Pays	Références
<i>Oecophylla smaragdina</i>	<i>Mangifera indica</i>	Curculionidae : <i>Sternochetus mangiferae</i>	Australie	(Peng & Christian, 2007)
<i>Oecophylla smaragdina</i>	<i>Citrus maxima</i> , <i>Citrus sinensis</i> , <i>Mangifera indica</i>	Cicadellidae : <i>Idioscopus clypealis</i>	Thaïlande	(Offenberg & Wiwatwitaya, 2013)
<i>Oecophylla smaragdina</i>	<i>Mangifera indica</i>	Thripidae : <i>Selenothrips rubrocinctus</i>	Australie	(Peng & Christian, 2004)
<i>Oecophylla longinoda</i>	<i>Mangifera indica</i>	Curculionidae : <i>Sternochetus mangiferae</i>	Tanzanie	(Abdulla <i>et al.</i> , 2016)

Tableau III (suite)

Agents de contrôle				
biologique	Cultures	Bioagresseur(s) contrôlé(s)	Pays	Références
<i>Oecophylla longinoda</i>	<i>Mangifera indica</i>	Tephritidae: <i>Bactrocera dorsalis</i> , <i>Ceratitis</i> spp	Bénin	(Wargui, 2016)
<i>Oecophylla longinoda</i>	<i>Mangifera indica</i>	Tephritidae: <i>Bactrocera dorsalis</i> , <i>Ceratitis</i> spp	Sénégal	(Diame, 2016)
<i>Oecophylla longinoda</i>	<i>Mangifera indica</i>	Tephritidae: <i>Bactrocera dorsalis</i> , <i>Ceratitis cosyra</i>	Bénin	(Adandonon <i>et al.</i> , 2009 ; Van Mele <i>et al.</i> , 2009 ; Vayssières <i>et al.</i> , 2013)
<i>Oecophylla longinoda</i>	<i>Theobroma cacao</i>	Miridae : <i>Salbergella singularis</i> , <i>Distantella theobroma</i> , <i>Helopeltis</i> spp	Ghana	(Van Mele <i>et al.</i> , 2007)

Tableau III (suite)

Agents de contrôle biologique	Cultures	Bioagresseur(s) contrôlé(s)	Pays	Références
<i>Oecophylla longinoda</i>	<i>Anacardium occidentale</i>	Miridae: <i>Helopeltis anacardii</i> , <i>H. schoutedeni</i> , Coreidae: <i>Pseudotheraptus wayi</i>	Tanzanie	(Olotu <i>et al.</i> , 2013)
<i>Oecophylla longinoda</i>	<i>Citrus</i> spp	Tephritidae: <i>Ceratitidis ditissima</i>	Ghana	(Ativor <i>et al.</i> , 2012)
<i>Oecophylla longinoda</i>	<i>Cocos nucifera</i>	Coreidae: <i>Pseudotheraptus devastans</i>	Côte d'Ivoire, Tanzanie	(Sporleder & Rapp, 1998 ; Allou <i>et al.</i> , 2006; Vanderplank, 1960)

Tableau III (suite)

Agents de contrôle biologique	Cultures	Bioagresseur(s) contrôlé(s)	Pays	Références
<i>Oecophylla longinoda</i>	<i>Anacardium occidentale</i>	<p>Miridae : <i>Helopeltis schoutedeni</i>,</p> <p>Coreidae: <i>Pseudotharaptus devastans</i>, <i>Anoplocnemis curvipes</i></p>	Ghana	(Dwomoh <i>et al.</i> , 2009)
<i>Oecophylla longinoda</i>	<i>Anacardium occidentale</i>	<p>Miridae : <i>Helopeltis schoutedeni</i>,</p> <p>Coreidae: <i>Pseudotharaptus devastans</i>, <i>Anoplocnemis curvipes</i></p>	Bénin	(Anato <i>et al.</i> , 2015)

valorisable dans le cadre de la lutte biologique. Cette espèce de fourmi a en effet, développé des stratégies efficaces pour chasser en groupe et capturer les insectes sur le feuillage des arbres et sur le sol au pied de l'arbre sur lequel elles nichent (Hölldobler & Wilson, 1978 ; Dejean, 1991 ; Wojtusiak *et al.*, 1995). Le phénomène de répulsion s'exerce via un signal chimique et aussi probablement visuel qui éloigne le ravageur des territoires patrouillés par *O. longinoda*. Des recherches ont montré que les fourmis oecophylles provoquent une réaction de répulsion contre les mouches des fruits responsables d'importantes pertes de production (Adandonon *et al.*, 2009 ; Van Mele *et al.*, 2009 ; Vayssières *et al.*, 2013). Même si les mécanismes en jeu dans le phénomène de répulsion exercé par *O. longinoda* sont encore peu documentés, ils sembleraient néanmoins liés à des signaux phéromonaux qui sont perçus par les insectes ravageurs. Des tests effectués au laboratoire ont montré que les mouches des fruits réduisaient considérablement la fréquence de leurs visites sur des fruits exposés aux fourmis oecophylles (Adandonon *et al.*, 2009 ; Van Mele *et al.*, 2009 ; Vayssières *et al.*, 2013 ; Offenberg, 2014). L'action répulsive qu'exerce *O. longinoda* sur les ravageurs très mobiles comme les mouches des fruits est renforcée par l'hypothèse d'émission des phéromones chimiques perceptibles par ces dernières et auxquelles elles réagissent par une action d'éloignement (Offenberg, 2007). Leurs actions modifient le comportement de ponte des mouches en réduisant le temps mis pour le dépôt des oeufs (Van Mele *et al.*, 2007 ; 2009 ; Adandonon *et al.*, 2009 ; Vayssières *et al.*, 2013). Par conséquent, ce phénomène de répulsion limiterait les dégâts infligés par les mouches aux fruits des arbres occupés par les fourmis oecophylles.

2.7.6. Problématiques pour l'adoption du genre *Oecophylla* par les producteurs

2.7.6.1. Interactions avec les Homoptères Coccidae

Les Homoptères sont souvent considérés comme des ravageurs de cultures, ce qui n'est pas toujours exact. L'entretien des cochenilles et d'autres groupes d'Homoptères par les oecophylles en plantations fruitières est finalement source de questionnement quant au rôle protecteur des fourmis oecophylles sur les arbres fruitiers. Selon Vayssières (2012), après détermination des principales espèces d'Homoptères Coccidae observés sur les feuilles, les flushs (les pousses en croissance) et les fruits de manguiers (protégés par les oecophylles) au Bénin, il est apparu que : (i) la grande majorité sont des cochenilles sans impact négatif au niveau du manguiers, (ii) la pulpe de la mangue n'est jamais endommagée par les stylets de la cochenille. En plus, les espèces de cochenilles qui sont des ravageurs du manguiers, tel que *Rastroccocus invadens* Williams, ne sont jamais ni véhiculées ni protégées par les

oecophylles (Vayssières, 2012). Cependant, sur d'autres espèces fruitières, cela pourrait poser problème. C'est donc une problématique qui doit être étudiée avant de promouvoir les fourmis oecophylles comme agents de lutte biologique sur ces espèces fruitières, en particulier lorsque les Homoptères (élevés par *O. longinoda*) qui sont présents sur ces espèces fruitières sont aussi des vecteurs de virus. Selon Peng & Christian (2005a), une manière efficace de se débarrasser du problème des Homoptères peut être l'utilisation d'insecticides de basse toxicité comme le potassium ou les huiles blanches. Ceux-ci sont capables de réduire les populations de ces insectes indésirables sans impacter sur les populations de fourmis. Il faut par contre éviter à tout prix les organophosphorés et les pyrethrinoïdes dans les vergers hébergeant les fourmis oecophylles (Van Mele & Cuc, 2007).

2.7.6.2. Morsures

Les morsures constituent souvent l'argument principal avancé par les producteurs ou intervenants pendant la récolte des fruits comme problème majeur occasionné par les fourmis oecophylles. Cependant, différentes attitudes sont adoptées par les populations pour réduire ces nuisances (Van Mele *et al.*, 2009 ; Peng & Christian, 2010). Il s'agit d'une part, de l'adoption de procédés mécaniques d'évitement (longue perche pour la récolte, habillement adéquat avec bottes et gants de caoutchouc), de procédés mécaniques de répulsion (cendres appliquées sur les mains et les pieds), de pulvérisation d'eau dans laquelle ont été trempées des feuilles de manioc. D'autre part, d'application d'une solution salée ou de jus de citron sur les parties exposées du corps, ensuite mettre du papier trempé de sang d'animaux dans le creux des ramifications des branches principales de l'arbre et enfin, des interventions sur les arbres aux heures plus fraîches (très tôt le matin) ou des procédés comportementaux (déplacements avec des mouvements lents en évitant de marcher sur leurs « rails »).

2.7.6.3. Enroulement des feuilles

Les producteurs affirment que le nombre de feuilles utilisées par les fourmis oecophylles pour la confection de leurs nids impacte la production des fruits de l'arbre. En effet, selon Anato *et al.* (2015), pendant la saison sèche, les pousses avec les nids de fourmis produisent plus de feuilles que les pousses sans nids. Les feuilles utilisées dans la construction des nids sont plus petites que les autres feuilles et plus susceptibles à se dessécher (Anato *et al.*, 2015). Elles sont aussi plus infestées par les cochenilles. Cependant, la petite taille des feuilles sur les pousses de nids est probablement due à la préférence des fourmis pour les jeunes feuilles pour la construction de leurs nids. De plus, l'incidence élevée du flétrissement pourrait résulter du fait que les feuilles présentes dans la construction des nids ne peuvent pas tomber sur le sol.

Enfin, les coûts associés aux nids de fourmis sont faibles et n'ont pas une incidence sur le nombre total de feuilles par arbre ni sur la croissance des arbres (Anato *et al.*, 2015).

2.7.6.4. Interactions des fourmis oecophylles avec les autres ennemis naturels

Dans les agroécosystèmes tropicaux, les fourmis jouent un rôle clé avec certaines espèces indigènes ou invasives atteignant fréquemment de fortes abondances et devenant écologiquement dominantes sur d'autres espèces de fourmis (Hölldobler & Wilson, 1990 ; Eubanks, 2001 ; Philpott & Armbrecht, 2006). Les espèces de fourmis dominantes peuvent réduire la richesse spécifique des ennemis naturels et la stabilité écologique du réseau trophique à cause de leur comportement agressif qui exclut ces espèces de leur territoire et de leur source de nourriture (Gibb & Hochuli, 2003). Les prédateurs omnivores et généralistes comme les fourmis oecophylles sont des compétiteurs capables de tolérer un bas niveau ou une absence de proies, ce qui peut créer une compétition asymétrique pour la ressource. En plus de se nourrir de leurs proies habituelles, les prédateurs omnivores attaquent parfois leurs compétiteurs intraguildes, ce qui renforce leur statut de compétiteur supérieur. C'est pourquoi la question des interactions entre les fourmis oecophylles et d'autres ennemis naturels des ravageurs des cultures est au cœur des interrogations actuellement. Lors d'une étude de l'impact de *O. smaragdina* sur la biodiversité des insectes, Peng & Christian (2013) ont montré que des vergers de manguiers et d'anacardiens avec de fortes abondances de fourmis oecophylles avaient une diversité d'Arthropodes et d'ennemis naturels similaires ou plus élevées et des ratios d'ennemis naturels/insectes ravageurs similaires comparés aux vergers sans fourmis oecophylles. Cependant, une espèce d'araignée (*Oxyopes sp*) était peu capturée dans les vergers d'anacardiens et de manguiers hébergeant de nombreuses fourmis oecophylles. Ils pensent que les oecophylles exercent une prédation ou une répulsion sur *Oxyopes sp*. Ils ont ensuite remarqué que la fourmi *O. smaragdina* et l'araignée *Oxyopes sp* avaient des niches écologiques très similaires et qu'en conséquence l'araignée subissait un fort niveau de compétition. De plus, une autre étude au laboratoire se focalisant sur l'interaction entre la fourmi *O. longinoda* et le parasitoïde *Fopius arisanus* Sonan (Hymenoptera: Braconidae) a démontré que *F. arisanus*, un parasitoïde de la mouche des fruits de *B. dorsalis* atteignait des taux de parasitisme sur *B. dorsalis* significativement plus élevés au niveau des mangues non exposées à *O. longinoda* comparé aux mangues exposées à cette espèce (Appiah *et al.*, 2014). Concernant cette étude de cas, *B. dorsalis* et ses ennemis naturels, l'efficacité du parasitoïde indigène *F. arisanus* sur *B. dorsalis* est très faible (Vayssières *et al.*, 2011). Si des résultats similaires devaient être observés dans les conditions

naturelles (en vergers), cela pourrait devenir problématique dans un contexte de programme de lutte biologique classique, c'est-à-dire l'introduction du parasitoïde exotique *F. arisanus* dans le continent africain. Toutefois, en Afrique de l'Ouest et en conditions naturelles de vergers, des observations menées depuis 2005 au Bénin n'ont toujours pas identifié un comportement agressif de *O. longinoda* vis-à-vis des parasitoïdes de Tephritidae (Vayssières *et al.*, 2015). Il est essentiel de remarquer que les effets négatifs des interactions intraguildes sur la lutte biologique ne sont généralement pas assez importants pour annuler les bénéfices liés à l'association de plusieurs ennemis naturels pour contrôler un ravageur (Jansen *et al.*, 2006 ; Chailleux *et al.*, 2013a,b)

2.7.6.5. Interactions avec les pollinisateurs

Un autre groupe fonctionnel avec lequel les fourmis oecophylles peuvent négativement interférer est celui des pollinisateurs. Cependant, la situation mérite des études complémentaires (Assunção *et al.*, 2014 ; Levan *et al.*, 2014 ; Ohm & Miller, 2014). En tant que prédateurs colonisant tous les organes des arbres dont les fleurs, les fourmis oecophylles peuvent être suspectées d'exercer une prédation sur les pollinisateurs. En effet, les résultats obtenus par Tsuij *et al.* (2004) dans un verger de rambutans (litchi chevelu, *Nephelium lappaceum*) à Sumatra (grande île indonésienne) suggèrent que la présence des oecophylles abaisse significativement les taux de visites des fleurs par les insectes volant dont le pollinisateur majeur *Trigona minangkabau* (Apidae: Meliponinae). Au contraire, Pierre & Idris (2013) ont observé que les fourmis oecophylles ne perturbaient pas le pollinisateur du palmier à huile *Elaeidobius kamerunicus* Faust (Coleoptera: Curculionidae) en Malaisie. Selon Rodríguez *et al.* (2013), bien que les fourmis ne soient normalement pas considérées comme des prédateurs d'insectes pratiquant la chasse à l'affut sur les fleurs (« flower-dwelling ambush predators »), cela devrait être reconsidéré, au moins sous les tropiques. Ils proposent donc les fourmis oecophylles (*O. smaragdina*) comme nouveau modèle pour étudier les prédateurs chassant à l'affut. Dans leur étude, ils ont observé que ces dernières étaient présentes sur les fleurs et attaquaient les insectes visitant les fleurs de 31 des 48 espèces de plantes étudiées. Les insectes visitant les fleurs produisent des substances répulsives contre *O. longinoda* (Wilmer & Stone, 1997), ce qui suggère que *O. longinoda* est potentiellement un prédateur chassant à l'affut sur les fleurs, interférant avec la pollinisation. Cependant, la complexité des interactions entre espèces est si importante que les effets qui au premier abord apparaissent négatifs, peuvent s'avérer positifs en fin de compte. Pour exemple, *O. smaragdina* exerce une prédation sur la guêpe pollinisatrice des figuiers (*Ficus* spp.).

En étudiant plus en détail l'impact des oecophylles sur ce mutualisme, Schatz *et al.* (2006) ont suggéré qu'elles pourraient finalement avoir un effet positif sur la pollinisation car elles ont un effet de dissuasion sur les guêpes parasites qui pourrait compenser leur effet a priori négatif sur les guêpes pollinisatrices. En effet, les guêpes pollinisatrices semblent bénéficier de la prédation des fourmis oecophylles sur les guêpes parasites.

Un autre exemple est l'étude de cas de González *et al.* (2013) montrant que la présence des fourmis oecophylle sur *Melastoma malabathricum* Linnaeus (Melastomataceae) était associée à une augmentation de la reproduction des fleurs car elles tendent à chasser les pollinisateurs les moins efficaces favorisant ainsi la présence des plus efficaces.

Au Bénin, les études de Anato *et al.* (2015) ont montré que la présence de fourmis oecophylles et de leurs nids sur les arbres réduisaient significativement le taux d'insectes volants visitant les fleurs, surtout dans l'après-midi lorsque les ouvrières de fourmis oecophylles étaient abondantes. Les pollinisateurs ont préféré visiter les fleurs sans fourmis oecophylles. Cependant le matin, lorsque les fourmis oecophylles sont moins abondantes, les insectes pollinisateurs visitent les fleurs sans aucune contrainte. Le nombre d'inflorescences de mangue était significativement plus élevé sur les arbres avec fourmis oecophylles. Les effets négatifs des fourmis oecophylles sur les pollinisateurs sont très faibles car la prédation des fourmis sur ces pollinisateurs a été très rare. En effet, il existerait une faible relation négative entre le taux de visite des ouvrières d'*Oecophylla* et les insectes pollinisateurs du manguier (Anato *et al.*, 2015).

DEUXIEME PARTIE :
MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Site d'étude

2.1.1. Localisation des sites d'étude

Les travaux se sont déroulés au nord de la Côte d'Ivoire dans les grandes zones de production de mangues. Ces zones de production s'étendent sur 4 régions. Le Poro avec la localité de Korhogo et Sinématiali, la Bagoué (localité de Boundiali), le Tchologo (localité de Ferkessedougou et Ouangolodougou) et enfin le Hambol (localité de Niakara et Tafiré). Les mangues provenant de ces localités sont destinées à l'exportation (Figure 6).

2.1.2. Caractéristiques des sites d'étude

2.1.2.1. Situation géographique

Les grands sites de production de mangue sont repartis en trois grandes zones. Le nord (Korhogo, Sinématiali et Ferkessedougou), le nord-ouest (Boundiali) et le centre-nord (Niakara et Tafiré) (Tableau IV).

2.1.2.2. Conditions climatiques

a. Climat

Le nord de la Côte d'Ivoire est caractérisé par un climat de type soudanais avec deux saisons : une saison sèche et une saison humide à faible pluviométrie. La température moyenne annuelle varie entre 24,47 °C et 30,53 °C. Les minima absolus peuvent descendre jusqu'à 16,15 °C dans le mois de janvier et décembre et les maxima absolus s'élèvent au dessus de 40 °C en mars et avril (Nannou, 2001 ; N'Dépo, 2010). La saison sèche s'étend de novembre à mi-avril. Elle dure six mois et le mois de janvier est le plus sec. De décembre à janvier, il y'a le vent sec et chaud (l'harmattan) avec une baisse de l'humidité relative (inférieure à 50 %) et une absence quasi-totale de précipitation (Diomandé, 2002). La saison des pluies part de mai à octobre. Elle dure six mois avec les fortes précipitations de août à septembre.

b. Pluviométrie et Température

La moyenne mensuelle de la pluviométrie de 2012 à 2017 a varié de 0 à 248,4 mm. Les faibles valeurs de la pluviométrie annuelle de cette zone oscillent entre 0,18 mm et 66,26 mm. Une forte variabilité spatiale de la pluviométrie annuelle d'une décennie à une autre y est observée (Figure 7). L'évolution des températures diurnes est marquée par un maximum de 30,53 °C en mars et un minimum de 26,47 °C en période de saison des pluies. Les températures nocturnes sont maximales en avril avec 30 °C et nettement plus faibles en décembre et janvier (Figure 7).

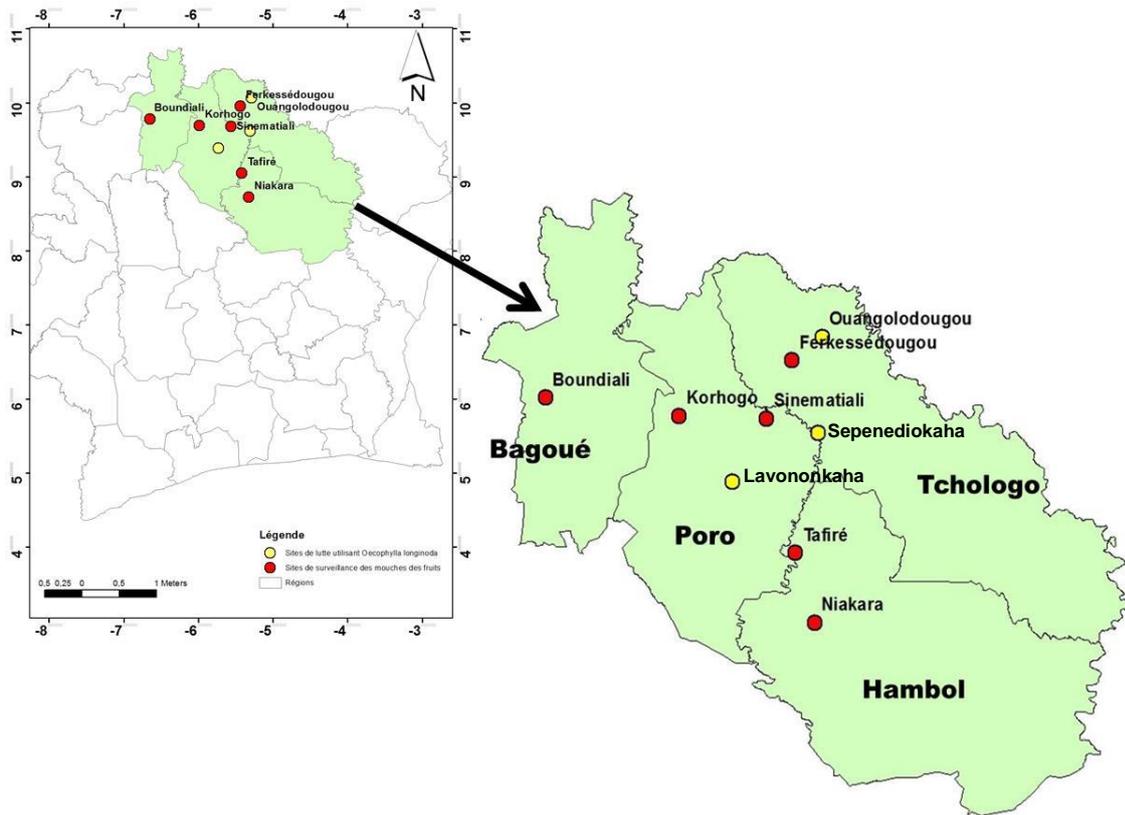


Figure 6 : Localisation des sites d'étude

Les points en jaunes indiquent les sites de lutte utilisant *Oecophylla longinoda*

Les points en rouge indiquent les sites de surveillance des mouches des fruits par l'utilisation des pièges Tephri trap

Tableau IV : Coordonnées géographiques des grandes zones de production de mangues du nord de la Côte d'Ivoire

Zones	Localités	Latitudes	Longitudes	Altitudes (m)
	Korhogo	09°27'26.899''N	05°38'3.289''W	390
Nord-Est	Sinématiali	09°35'2,683''N	05°23'2,503''W	334
	Ferkessédougou	09°35'38,32''N	5°11'51,342''W	341
	Ouangolodougou	10°00'879''N	005°05'687''W	315
Centre-Nord	Boundiali	09°31'30,137''N	06°28'51,474''W	408
Nord-Ouest	Niakara	08°39'37,184'' N	05°17'27.916 W	344
	Tafiré	09°04'17,30'' N	05°09'49,534'' W	394

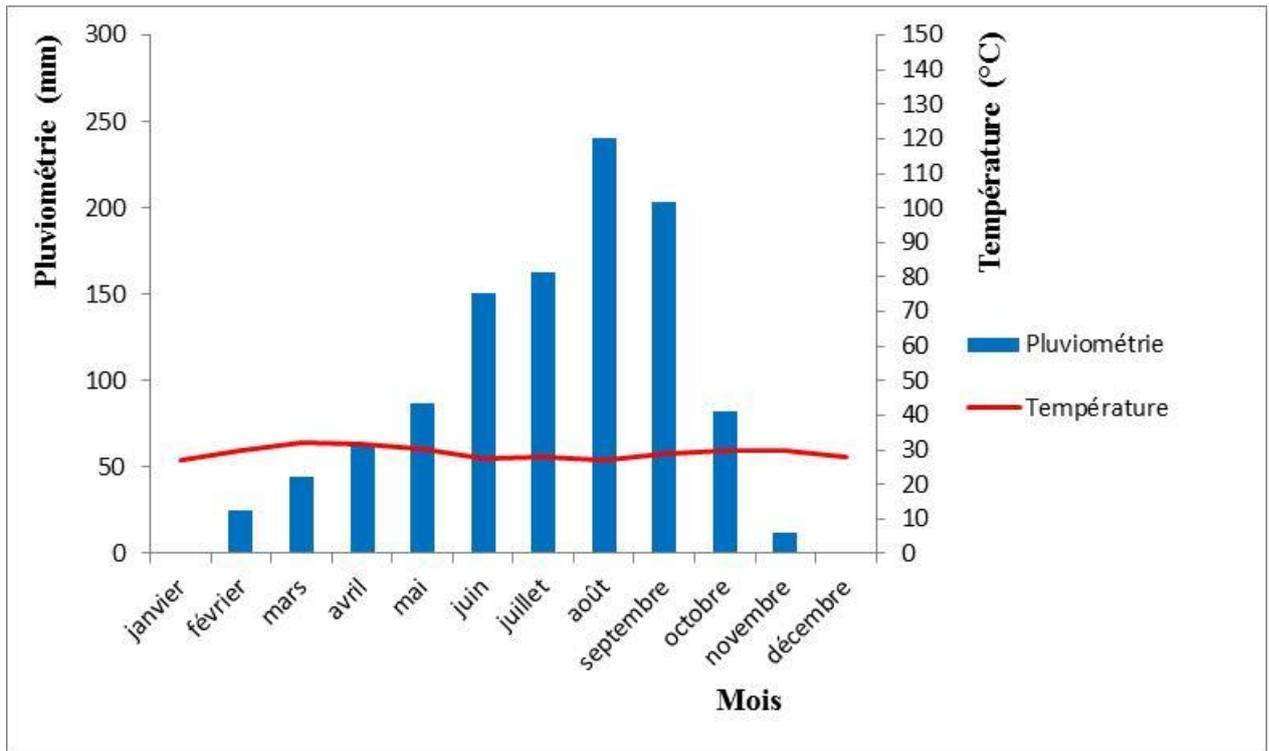


Figure 7 : Diagramme ombrothermique du nord de la Côte d'Ivoire de 2012 à 2017

d. Végétation

Le nord de la Côte d'Ivoire appartient au secteur sub-soudanais du domaine soudanais. La végétation de type savanicole est caractérisée essentiellement par des forêts claires sèches et de différents types de savanes (savanes boisées, arborées et arbustives). Quelques îlots de forêts denses sèches subsistent. En bordure d'un certain nombre d'axes de drainage se trouvent des forêts galeries (Zagbai *et al.*, 2006).

e. Sols

Le granite et les schistes sont les roches mères caractéristiques du substrat de la région. Les sols sont en général peu humifères et de fertilité moyenne (Zagbai *et al.*, 2006)..

f. Relief

Le relief relativement plat est parsemé par endroits de vallées et de galeries avec de légers affaissements de terrains. Il est également constitué de vallées larges en zones granitiques et plus étroites en zones schisteuses. Il se présente généralement comme un plateau faiblement ondulé avec des sommets de 300 m à 400 m d'altitude (Zagbai *et al.*, 2006).

2.2. Matériel

2.2.1. Matériel animal

Il est constitué des mouches des fruits (Figures 8a et 8b) capturées par les pièges et de *Oecophylla longinoda* (Figure 8c) dans les vergers de mangoiers.

2.2.2. Matériel végétal

Le fruit qui fait l'objet de cette étude est la mangue de variété Kent de l'espèce *Mangifera indica* (Figure 9 ; Annexe 2) à cause de son taux de sucre élevé, sa belle coloration et sa durée de conservation élevée. Aussi, est-elle la variété la plus sollicitée par les importateurs européens. Elle est également une source de revenu pour les acteurs de la filière mangue et contribue au développement économique des zones productrices.



a



b



c

Figure 8 : Matériel animal

a : Femelle de *Bactrocera dorsalis* (Seguini *et al.*, 2011)

b : Femelle de *Ceratitis cosyra* (Seguini *et al.*, 2011)

c : Confection de nid par *Oecophylla longinoda* à partir des feuilles de manguier avec des fils de soie produits par leur larve (Seguini *et al.*, 2011).



Figure 9 : Manguier de variété Kent

a: Manguier en phase de floraison

b: Manguier en phase de fructification

2.2.3. Matériel technique

2.2.3.1. Matériel de piégeage des mouches

a. Pièges

Un seul type de piège a été utilisé au cours de cette étude. Il s'agit du Tephri Trap. Quarante-seize (96) pièges de type Tephri Trap conçus par *SORYGAR* (*SORYGAR S.L* Quinta del Sol n° 37 Las Rozas, Madrid 28230 España) ont été utilisés. Il est constitué d'un boîtier de couleur jaune possédant 4 orifices circulaires dont trois sur la paroi de la partie supérieure et un au niveau de la base envasée. Un couvercle en plastique transparent complète la constitution de ce piège (Figure 10).

b. Attractifs sexuels

Les attractifs sexuels, encore appelés paraphéromones (Figure 11) n'attirent que les mâles des mouches des fruits sur une distance assez longue (Robinson & Hooper, 1989). Ce sont des composés chimiques artificiels qui se retrouvent dans les huiles essentielles de plusieurs espèces végétales qui entraînent des réponses similaires aux vraies phéromones. Ils sont spécifiques aux espèces des mouches des fruits de la famille des Tephritidae et sont placés à l'intérieur des pièges Tephri traps. Ainsi, les quatre paraphéromones utilisés ont-elles pour constituants suivantes :

- 1) Méthyl eugénol (Figure 11a) de formule chimique 4-allyl-1,2-dimethoxybenzène ou 3,3-dimethoxy 2 propenyl benzène. Il attire le genre *Bactrocera* et le sous-genre *Ceratitis* ;
- 2) Cuelure (Figure 11b) de formule 4- (p- actoxyphenyl)- 2 butanone attirant les genres *Dacus* et *Zeugodacus* ;
- 3) Trimedlure (Figure 11c) de formule (t- butyle 4, (ou 5), chloro- 2- methyl cyclohexane carboxylate) est spécifique aux sous-genres *Ceratitis* (*Ceratitis*) et *Ceratitis* (*Pterandrus*) ;
- 4) Terpinyl acétate (Figure 11d) ou 2-(4-Methyl-3-cyclohexenyl)-2-propyl Acetate ou encore p-Menth-1-en-8-yl acétate. Cette substance qui présente une attractivité pour les autres espèces de Tephritidae du genre *Ceratitis* est un Ester retrouvé dans certaines huiles renfermant des Esters aisément saponifiables (Guenther, 1948).

Ces quatre (4) produits sont fabriqués par International Parapheromon Shop (IPS, Units 10-15 Meadow Lane Meadow Lane Industrial Estate, Ellesmere Port, South Wirral, CH65 4TY, England).



Figure 10 : Piège de type Téphri trap

a : Piège ouvert comprenant l'attractif et l'insecticide

b : Piège fermé prêts à capturer des mouches



Figure 11 : Paraphéromones (attractifs sexuels) utilisés pour attirer les mouches mâles des fruits

- a : Méthyl eugénol (ME)
- b : Cuelure (CU)
- c : Terpinyl acétate (TA)
- d : Trimedlure (TM)

c. Insecticide

Il se présente sous forme de plaquettes d'insecticides (Figure 12) et a pour formule chimique $C_4H_7Cl_2O_4P$ ou phosphate de dichloro-2, 2 vinyles et de diméthyle. Il est connu sous le nom commercial de DDVP. Ce produit agit par inhalation après l'attraction des mouches dans les pièges Tephri traps par les paraphéromones. Il se décompose très rapidement dans les plantes, d'où sa faible persistance d'action de 4 à 5 jours (Anonyme, 1983). L'insecticide se place à l'intérieur du piège Tephri trap.

2.2.3.2. Matériel de protection contre les morsures de *Oecophylla longinoda*

Le matériel de protection est composé d'une tenue qui couvre tout le corps, des bottes pour la protection des pieds et des gants pour la protection des mains.

2.2.3.3. Matériel d'aide à la colonisation des arbres par *Oecophylla longinoda*

Ce matériel est composé d'une part de boîtes de conserve de sardine (Figure 13) qui a servi à attirer les fourmis oecophylles, de pince souple pour prélever les fourmis sans les tuer et de fil de 3 mm de diamètre servant à relier les arbres (Figure 14). D'autre part, des sacs plastiques ont été utilisés pour collecter les nids de fourmis oecophylles. Egalement, des rubans de même couleur ont été utilisés pour marquer les arbres de la même colonie. Enfin, la graisse solide a été utilisée pour badigeonner les troncs des arbres des parcelles témoins afin d'éviter qu'elles ne soient pas colonisées par les fourmis oecophylles.

2.2.3.4. Fiches de relevé

Ces fiches (Annexes 3, 4 et 5) ont été utilisées pour relever les différents stades phénologiques du manguiers (Phase de floraison, de nouaison, de développement et de maturation de la mangue). Ensuite, elles ont été utilisées pour suivre l'abondance de *Oecophylla longinoda* dans les vergers de manguiers et des données relatives à la récolte des échantillons des mangues (nombre et poids de mangues collectées, le taux d'attaques, le niveau d'infestation et le pourcentage de protection).

2.2.3.5. Matériel d'enregistrement des données climatiques

a. Tinytag

Des enregistreurs de température et d'humidité relative de marque *Tinytag* (TGP 4500) (Figure 15) ont été placés sur chaque site. Cet appareil est doté de capteurs intégrés qui permettent de relever les températures comprises entre $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ et l'humidité relative entre 0 et 100 %. Un logiciel de lancement de récupération des données (*Tinytag Explorer 4.6*) et un câble USB (CAB-0007-USB) a permis de recueillir tous les trois mois à partir d'un ordinateur, les enregistrements effectués.



Figure 12 : Insecticide utilisé pour tuer les mouches des fruits dans les pièges Tephri trap



Figure 13 : Appât alimentaire (Sardine) utilisé pour attirer *Oecophylla longinoda*



Figure 14. Fourmis sur une ficelle reliant deux arbres portant des nids appartenant à la même colonie



Figure 15 : Enregistreur automatique de marque *Tinytag* utilisé pour collecter les données de température et d'humidité relative

b. Pluviomètre

La mesure de la pluviométrie sur les différents sites a été effectuée à l'aide de pluviomètre à lecture directe (SPIEA 1650-02). Le pluviomètre (Figure 16) est composé de deux parties qui s'emboîtent l'une dans l'autre et d'une éprouvette. La partie supérieure opaque, en forme d'entonnoir à fond perforé, sert à recueillir la pluie sur une surface de 400 cm² tandis que la partie inférieure est transparente. Cette partie sert à emmagasiner l'eau recueillie et indique la hauteur d'eau tombée par lecture directe sur une échelle graduée. Cette échelle s'exprime en millimètres de pluies comprise entre 0 et 10 mm avec une approximation de 1/4 de millimètre. Elle peut s'exprimer également en centimètres de pluies comprise entre 1 et 10 cm, avec une approximation de 1/2 millimètres. Quant à l'éprouvette, elle est graduée en mm et est subdivisée en dixièmes de mm jusqu'à 8,2 mm (328 cm³). Elle comporte, juste en dessous de cette division un petit trou de 4 mm de diamètre de manière à ce que l'excédent d'eau recueilli en plus des 8, 2 mm s'écoule dans le seau.

2.2.3.6. Matériel d'incubation des manges

Il est constitué d'une part de bassines (Figure 17) pour incuber les échantillons de manges et d'autre part de sable stérilisé servant de milieu de pupaison des larves. La mousseline pour couvrir les bacs afin d'empêcher les larves de s'échapper.

2.2.3.7. Matériel de conservation des mouches

Ce matériel est constitué d'une part d'alcool à 70° servant à maintenir les caractères morphologiques des mouches capturées et d'autres part de tubes pilluliers (Figure 18) servant au transport des mouches du site de capture au laboratoire et à leur conservation.

2.2.3.8. Matériel d'identification des mouches des fruits

Il est constitué de loupe binoculaire de marque *MOTIC* (Figure 19) pour observer les insectes avec plus de détails au grossissement 10×20 et de guides d'identification des mouches des fruits (De Meyer, 1996 ; 1998 ; 2000 et 2001 ; Ekesi & Billah, 2007) pour la nomenclature des espèces.



Figure 16 : Pluviomètre SPIEA 1650-02



Figure 17 : Bassines utilisées pour incuber les mangues



Figure 18 : Pillulier servant à la conservation des mouches



Figure 19 : Loupe binoculaire utilisée pour l'identification des espèces de mouches

2.2.3.9. Matériel de traitement contre les mouches des fruits

a. Produits de traitement

Ils sont constitués de Success appât appelé communément le GF-120 (Figures 20a et 20b), de l'huile de neem (Figures 20d et 20c) issue de *Azadirachta indica* et du savon liquide pour vaisselle.

- Le Success Appât® ou « GF 120 » est un appât alimentaire incorporé à l'insecticide le spinosad (0,24 g/l) comme matière active (Salgado *et al.*, 1998). Il se présente sous forme de suspension concentrée. C'est un insecticide neuroactif qui agit au niveau d'un site spécifique du récepteur d'acétylcholine et secondairement par blocage du canal chlore du récepteur Gaba.
- L'huile de neem est une substance naturelle, c'est une huile végétale obtenue par pressage des fruits et graines du margousier (*Azadirachta indica*). Il est formulé sous forme de Concentré Emulsionnable (EC) 1%. Le principe actif est l'Azadirachtine, appartenant à la famille des limonoïdes, avec une concentration de 10 g/l. Il a un pouvoir repulsif
- Le savon liquide utilisé est le Super Clean à multi-usage. Il a été utilisé comme émulsifiant avec l'huile de neem.

b. Appareil d'épandage de traitement insecticide

Un pulvérisateur à dos à pression entretenue manuellement (Figure 21) *Apollo 16-AF* (Berthoud Spayers Ltd, Royaume-Uni) avec buse conique (ouverture de 1 à 2 mm pour délivrer des gouttelettes de 2 à 6 mm), a été utilisé pour effectuer les traitements phytosanitaires dans les vergers de manguiers.

c. Matériel de protection phytosanitaire

Un Equipement de Protection Individuelle (EPI) (Figure 22) composé d'une paire de gant, de bottes et de lunette de protection a été utilisé. Ce matériel comprenait aussi un cache nez et un tablier. Il a été utilisé pour se protéger lors des manipulations phytosanitaires.



Figure 20 : Produits phytosanitaires utilisés dans le traitement contre les mouches des fruits

- a : Bidon de 1 litre de success appât
- b : Bouillie du success appât
- c : Bouillie de l'huile de neem
- d : Bidon de 1 litre de l'huile de neem



Figure 21 : Pulverisateur manuel Apo llo 16-AF



Figure 22 : Equipement de protection individuelle (EPI) utilisé pour le traitement

2.3. Méthodologies

2.3.1. Choix des vergers

La présente étude a été conduite dans les vergers de manguiers ayant une superficie de 5 ha (500 arbres/verger) avec un espacement régulier de 10 m entre les manguiers. Le matériel végétal étudié a été le manguiers (*Mangifera indica*) de variété Kent en production dont l'âge des arbres variait entre 15 et 20 ans. Les vergers ciblés n'avaient pas subi de traitements chimiques de la part des producteurs durant la période de l'expérimentation. Les vergers étaient situés loin des sites de cultures nécessitant des traitements chimiques comme la culture du coton. Ces vergers étaient facilement accessibles, bien entretenus et sécurisés. Dans les vergers ciblés pour la lutte contre les mouches des fruits, seulement ceux majoritairement colonisés par *Oecophylla longinoda* ont été choisis.

2.3.2. Dispositif expérimental

2.3.2.1. Dispositif de piégeage

Dans chaque verger de manguiers, un dispositif en bloc complètement randomisé a été mis en place. Ce dispositif a été composé de 16 pièges Tephri trap (Figure 23 et Annexe 6) contenant chacun un attractif sexuel et un insecticide repartit en lot de 4 pièges par direction cardinale (nord, sud, est et ouest). Ainsi suivant chaque direction cardinale, un piège contenant chacun des 4 attractifs sexuels a été placé. Il s'agit de piège à Méthyl eugénol (ME), de piège à Cuelure (CU), de piège à Trimedlure (TM) et de piège à Terpinyl acétate (TA). Ce dispositif a été répété dans les six (6) vergers de manguiers choisis pour suivre l'abondance des mouches des fruits. Il s'agit des vergers situés dans les localités de Korhogo, Sinématiali, Ferkessédougou, Niakara, Tafiré et Boundiali.

2.3.2.2. Installation et relevé des pièges

Dans chaque verger, les pièges Tephri trap constitués d'attractifs sexuels et d'insecticides solides ont été accrochés à une branche de la plante-hôte à l'aide d'un fil de fer à une hauteur d'environ 1,60 à 1,80 m du sol pour permettre le maximum de capture (Figure 24) (Barbet, 2000). Les pièges ont été placés sous les feuillages à l'abri des rayons solaires pour faciliter l'entrée des mouches dans les pièges contenant l'attractif sexuel et l'insecticide (Ouattara, 1998). La branche supportant le piège a été recouverte d'une barrière de graisse solide pour éviter l'activité prédatrice des fourmis oecophylle sur les mouches capturées dans les pièges. Les pièges installés dans les vergers ont été contrôlés et vidés une fois par semaine. Les mouches ont été collectées chaque semaine par pièges avec des pinces entomologiques souples et conservées dans des piluliers contenant de l'alcool à 70° avant d'être acheminées au laboratoire pour identification.

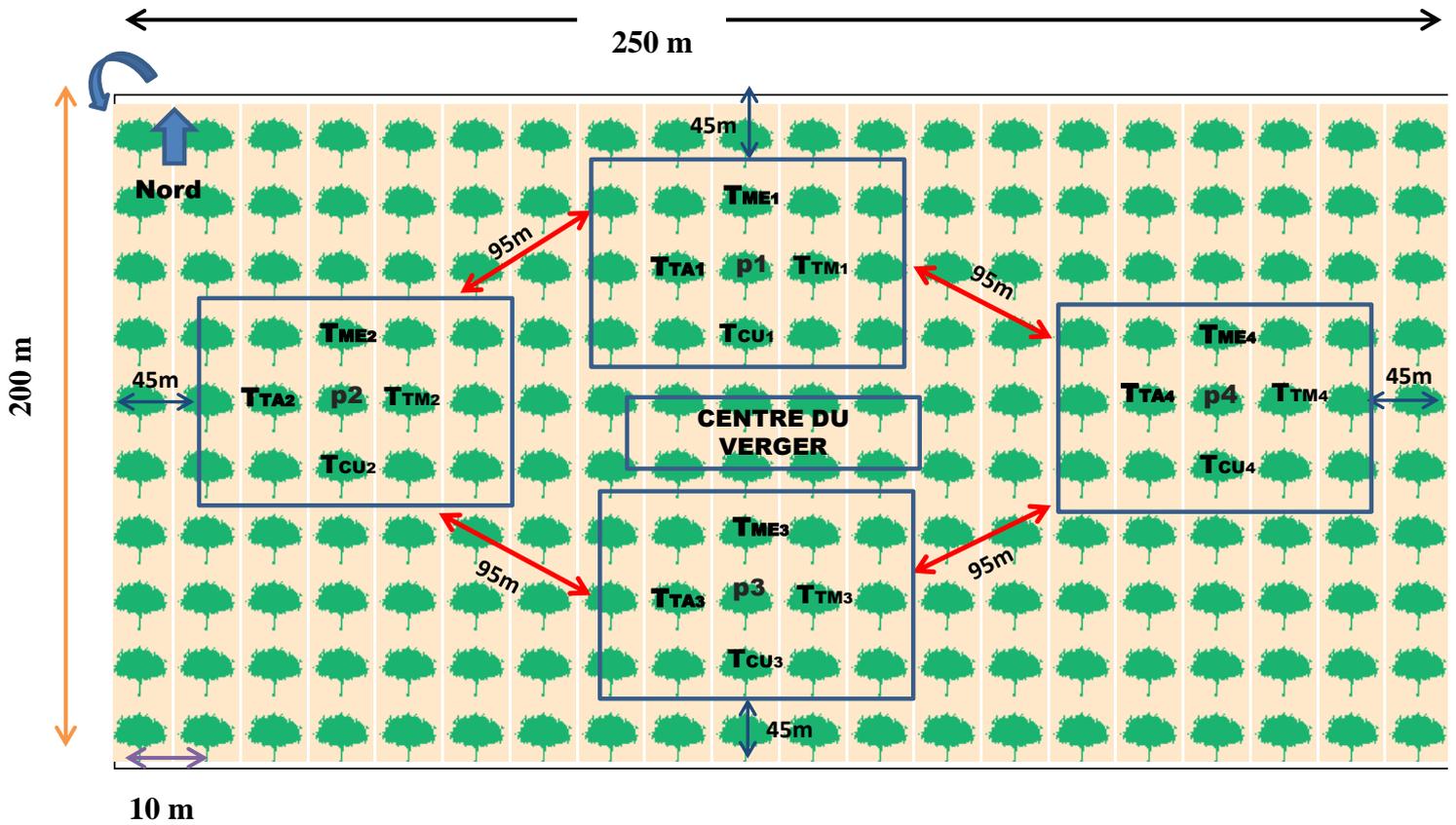


Figure 23 : Dispositif expérimental indiquant la position des pièges dans les sites d'études

ME : Méthyl eugénol

TA : Terpinyl acétate

CU : Cuelure

TM : Trimeclure



Figure 24 : Piège de type Tephri Trap accroché à un arbre au dessus du sol

Chaque pilulier a porté un double étiquetage (l'un externe et l'autre interne) sur lesquels ont été mentionnés la date de prélèvement, le numéro du piège, la localité, l'effectif des mouches capturées et le nom du collecteur. Les attractifs sexuels et les insecticides (DDVP) ont été renouvelés chaque mois puis enfouis dans le sol loin des sites d'essais.

2.3.2.3. Relevé des stades phénologiques

Les stades phénologiques du manguiier ont été observés en même temps que la collecte des mouches des fruits dans les pièges c'est-à-dire chaque semaine. A l'aide d'un crayon indélébile et des observations visuelles, les stades phénologiques du manguiier à savoir la phase végétative, la phase de floraison du manguiier, la phase de développement de la mangue et la phase de maturation de la mangue ont été reportés sur une fiche d'observation pendant deux années.

2.3.2.4. Relevé des facteurs climatiques

Les données climatiques dont la température et l'humidité relative ont été relevées tous les trois mois à l'aide d'un enregistreur automatique de marque *Tinytag*.

2.3.2.5. Dispositif de lutte contre les mouches des fruits par l'usage de *Oecophylla longinoda* comme prédateur

La présence des fourmis oecophylles dans les vergers de manguiers réduit considérablement les dégâts causés par les mouches des fruits. Elle agit par prédation sur les larves au niveau des fruits et du sol et par l'excretion d'une composante physique (répulsion) et/ou chimique (phéromones) empêchant les femelles de pondre dans les fruits ayant été fréquentés par celles-ci (Vayssières & Sinzogan, 2008). La lutte utilisant *Oecophylla longinoda* a été conduite dans trois vergers de manguiers du nord de la Côte d'Ivoire. Il s'agit des vergers situés dans les localités de Ferkessédougou, Ouangolodougou et Korhogo qui font partir des grandes zones productrices de mangues de la région nord. Les vergers de manguiers choisis avaient une superficie de 2 hectares. Dans chaque verger, 144 arbres ont été sélectionnés et divisés en quatre (4) traitements de 24 arbres. Soit 72 arbres par traitement dans l'ensemble des vergers. Deux rangées d'arbres ont été utilisées comme zone tampon entre les traitements. Ceux-ci ont été configurés de manière aléatoire suivant un bloc complet à quatre objets. Le dispositif (Figure 25) est resté inchangé dans les trois sites d'essais ayant servi de lutte.

Les objets sont les suivants :

- Traitement 0 : Témoin (sans fourmis)
- Traitement 1 : Protection des manguiers avec *Oecophylla longinoda*

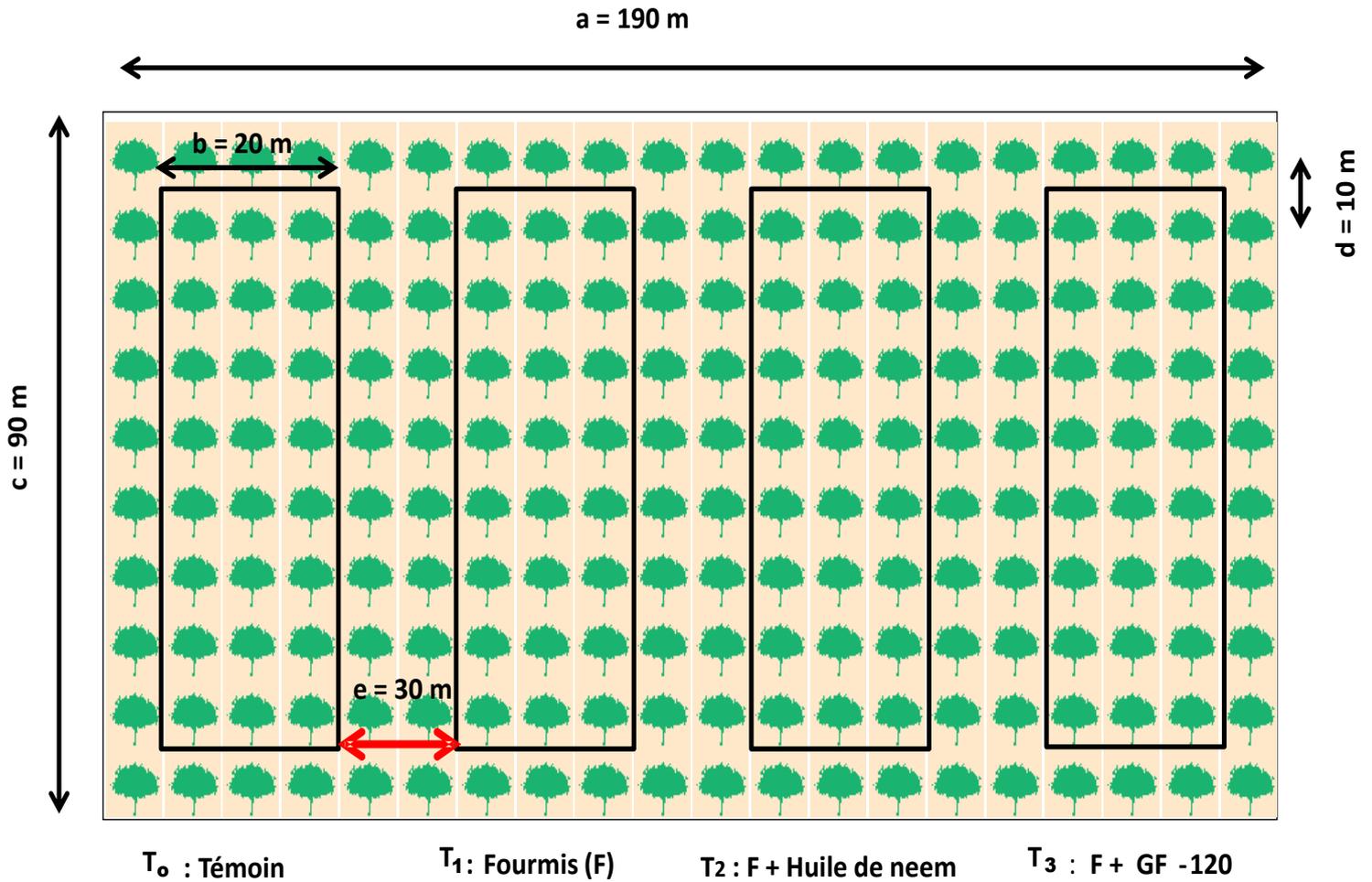


Figure 25 : Dispositif expérimental de lutte contre les mouches des fruits dans les sites d'essais

- a** : Longueur du champ
- b** : Traitement unitaire
- c** : Largeur du champ
- d** : Distance entre deux arbres
- e** : Distance entre deux traitements

-Traitement 2 : Protection des manguiers avec *Oecophylla longinoda* + Success appât à la dose de 1 litre/ha

-Traitement 3 : Protection des manguiers avec *Oecophylla longinoda* + application de l'huile de neem à la dose de 1 litre/ha

a. Traitement témoin (sans fourmis)

Dans ce traitement, les arbres qui au départ étaient colonisés par *Oecophylla longinoda* ont été débarrassés de leurs nids. Ensuite, le tronc principal de chaque arbre a été badigeonné avec de la graisse solide pour empêcher les fourmis de récoloniser l'arbre. Aussi, une vérification des arbres débarrassés des fourmis a été réalisée tous les deux jours jusqu'à l'élimination complète d'éventuels nids néoformés qui pourraient abriter les fourmis oecophylles.

b. Traitement fourmis

Dans cette sous parcelle, les manguiers ont été protégés par *Oecophylla longinoda*

c. Traitement fourmis + Success appât (Great Fruit Fly Bait ou GF-120)

Les manguiers en plus d'être protégés par *Oecophylla longinoda* (Annexe 7) ont été traités par le Success appât à la dose de 1 litre / hectare. Avant l'application, cette dose a été mélangée avec de l'eau dans un rapport 1/5 (Dow Agrosociences, 2001) à l'aide d'un seau gradué. Le mélange a ensuite été renversé dans le pulvérisateur manuel pour épandage. Il a une ouverture de 1 à 2 mm pour délivrer des gouttelettes de 2 à 6 mm (Vayssières *et al.*, 2009). Un mètre carré de feuillage du manguiers a été pulvérisé à hauteur de la tête dans une zone qui ne comporte pas de fruits (Vayssières *et al.*, 2009). Le traitement a été appliqué tous les dix jours de mars à juillet et est renouvelé après une forte pluie.

d. Traitement fourmis + huile de neem

Les manguiers, en plus d'être protégés par *Oecophylla longinoda* ont été traités avec l'huile de neem à la dose de 1 litre/hectare. Comme la plupart des huiles végétales, l'huile de neem est insoluble dans l'eau et doit être rendue soluble avec des émulsifiants appropriés. Un demi (½) litre de savon liquide pour lave-vaisselle (Super Clean) a été utilisé comme émulsifiant pour cette expérience. Cette dose a été mélangée avec de l'eau dans un rapport 1/5 (Dow Agrosociences, 2001) à l'aide d'un seau gradué. Un mètre carré de feuillage du manguiers a été pulvérisé avec ce mélange à hauteur de la tête dans une zone qui ne comporte pas de fruits (Vayssières *et al.*, 2009). Le traitement a été appliqué tous les dix jours de mars à juillet et est renouvelé après une forte pluie.

2.3.2.6. Segregation des colonies et colonisation des arbres par *Oecophylla longinoda*

Cette méthode a consisté à sélectionner les arbres colonisés et ceux non colonisés par *Oecophylla longinoda*. Pour les arbres colonisés par *Oecophylla longinoda*, une cartographie a été faite afin de déterminer les différentes colonies. De ce fait, la méthode de cat food décrite par Peng *et al.* (2008) a été utilisée. Elle a consisté à prélever à l'aide d'une pincette souple, une cuillerée de nourriture pour chat (boîte de sardine) et à le placer à la base des branches principales des manguiers abritant *Oecophylla longinoda* pour attirer et induire leurs agrégations (Figure 26). Lorsque les fourmis oecophylles se battent (Figure 27) pour la nourriture, alors elles appartiennent à des colonies différentes. Les rubans de différentes couleurs étaient ainsi utilisés pour marquer chaque colonie. En revanche, si aucun combat n'est observé sur les arbres (Figure 28), cela signifie que les fourmis appartiennent à la même colonie. Dans ce second cas, un ruban de même couleur est utilisé pour marquer ces arbres. Ainsi, les arbres abritant la même colonie ont été interconnectés entre eux par des ficelles (diamètre 3 mm) pour maintenir la densité des fourmis oecophylles sur l'arbre. Les arbres non colonisés par *Oecophylla longinoda* abritaient pour la plupart la fourmi *Odontomachus troglodytes*, une espèce terricole qui concurrençait *Oecophylla longinoda*. Pour protéger l'introduction de nouvelle colonie sur ces arbres, *Odontomachus troglodytes* a été supprimé en utilisant l'insecticide chlorpyrifos éthyl 480 g/l. Des barrières ont été ensuite établies à la base des manguiers pour empêcher cette espèce et d'autres fourmis de s'introduire dans les arbres et parcelles traitées. A la suite des traitements, les ficelles ont été reliées entre les arbres colonisés par *Oecophylla longinoda* et les arbres traités au chlorpyrifos éthyl 480 g/l pour faciliter la migration de ces dernières en vue de leur colonisation (Van Mele & Cuc, 2003 ; Vayssières, 2012).

2.3.2.7. Evaluation des dégâts dûs aux mouches des fruits

Dans chaque traitement, cent mangues ont été collectées au hasard. Les mangues collectées étaient proches de la maturité ou en maturité, piquées ou susceptibles de porter des traces de piqûres des mouches et celles traînant par terre. Ces mangues ont été transportées dans des caisses au laboratoire pour être pesées puis incubées dans des bassines. Elles ont été déposées sur du sable stérilisé contenu dans les bassines puis recouvertes de mousseline (mailles fines) pour empêcher les larves de s'échapper. Sur chaque bassine sont inscrites la date d'incubation, le nombre de fruits, la masse des fruits et la localité de provenance. Une fois par semaine, sur une période de quatre semaines, le sable de chaque bassine a été tamisé et le nombre de pupes ainsi que le nombre de larves ont été comptabilisés. Les mouches émergées ont été identifiées à l'aide d'une loupe binoculaire et des clés d'identifications.



Figure 26 : Test de Cat food ou test d'aggrégation des fourmis oecophylles



Figure 27 : Fourmis oecophylles de differents colonies se battant pour de la nourriture



Figure 28: Fourmis oecophylles de la même colonie vivant en harmonies

2.3.2.8. Suivi de l'abondance des fourmis oecophylles dans les vergers

Il a été réalisé selon la méthode développée par Peng & Christian (2004) et Offenberg & Wiwatwitaya (2010). Vingt quatre (24) manguiers ont été choisis au hasard par traitement et numérotés de 1 à 24. Les observations se sont effectuées tous les 30 jours sur toutes les branches principales de l'arbre. Les branches principales du manguiers sont les branches directement ramifiées au tronc de l'arbre. Ces observations étaient faites entre 9 h 30 min et 16 h 30 min, période pendant laquelle l'activité des fourmis oecophylle était intense sur les manguiers (Vayssières et al., 2011). Cette méthode a consisté à compter le nombre de fourmis oecophylles qui se déplacent sur chaque branche principale de l'arbre, ce qui a permis de donner pour chaque arbre une note d'abondance moyenne des fourmis (AF) en fonction des indices Peng 1 (Tableau V) , Peng 2 (Tableau VI) et Offenberg (Tableau VII). Ensuite, la moyenne de l'abondance des fourmis oecophylles par traitement (AFT) a été calculée.

L'abondance des fourmis oecophylles a été déterminée dans les vergers de manguiers ciblés pour la lutte de décembre 2018 à juin 2019.

$$AF = \frac{\Sigma n}{Nb} \times 100 \quad (1)$$

AF est l'abondance moyenne des fourmis oecophylles par manguiers

Σ n est la somme des notes obtenues après comptage des fourmis oecophylles sur les branches principales et **Nb** le nombre total de branche principale de l'arbre.

$$AFT = \frac{\Sigma AF}{Na} \quad (2)$$

AFT est l'abondance moyenne des fourmis oecophylles par traitement

Σ AF est l'abondance moyenne de fourmis oecophylles par arbre et **Na** le nombre d'arbre par traitement.

Selon Wargui (2016), l'indice Peng 2 et l'indice Offenberg doivent être utilisé pour suivre la dynamique et l'abondance des fourmis oecophylles dans les vergers et l'indice Peng 2 pour déterminer uniquement l'abondance des fourmis oecophylles.

Tableau V. Echelle de notation de *Oecophylla longinoda* par l'indice Peng 1

Nombre de fourmis	Pas de fourmis	≥ 1
Notes	0	1

Tableau VI. Echelle de notation de *Oecophylla longinoda* par l'indice Peng 2

Nombre de fourmis	Pas de fourmis	1 à 10	>10
Notes	0	0,5	1

Tableau VII. Echelle de notation de *Oecophylla longinoda* par l'indice Offenber

Nombre de fourmis	Pas de fourmis	1 à 9	10 à 50	> 50
Notes	0	1/3	2/3	1

L'abondance des fourmis oecophylles a été également évaluée en comptant les nids des fourmis oecophylles sur chaque arbre une fois par mois pendant 6 mois.

2.4. Traitement et analyses des données

2.4.1. Analyse de la diversité biologique des mouches des fruits

Il existe de nombreuses façons de mesurer la biodiversité sur un site, mais les plus utilisées qui répondent aux questions ont été:

- Combien d'espèces trouve-t-on sur ce site ? (Richesse spécifique)
- Comment quantifier globalement la biodiversité des Tephritidae sur ce site ? (Indices de diversité)

La diversité est classiquement estimée à plusieurs niveaux (Whittaker, 1960). Ainsi, avons-nous trois types de diversité : la diversité α (diversité intrabiotique ou intrahabitat renseigne sur le nombre d'espèces dans un même habitat ou biotope), la diversité β (diversité interhabitat est l'indice de dissimilitude entre 2 habitats) et la diversité γ (diversité d'un ensemble de stations est la diversité sectorielle ou totale).

2.4.1.1. Diversité α

a. Richesse spécifique

Le terme de richesse spécifique utilisé largement depuis Jaccard (1902) et McIntosh (1967) donne le nombre de taxons dans un assemblage donné. C'est la mesure la plus vieille et la plus intuitive de la diversité biologique mais elle n'est pas sans poser certains problèmes. Il est rarement possible d'obtenir une richesse spécifique absolue hormis pour des espèces de grande taille. Il faut donc se contenter d'une estimation de la richesse spécifique obtenue via des inventaires (Blondel, 1975). La richesse spécifique est définie comme le nombre de différentes espèces identifiées dans un échantillon (Soudant & Belin, 2011). En revanche, il est influencé par l'effort d'échantillonnage, c'est-à-dire que plus le nombre d'échantillons est important, plus les espèces rares seront nombreuses et plus la richesse spécifique sera élevée. La richesse spécifique (S) s'exprime comme suit :

$$\boxed{S = \Sigma \text{ espèces}} \quad (3)$$

b. Indices de diversité α

- Indice de diversité de Shannon

Marcon *et al.* (2011) montrent que la diversité de Shannon peut être définie et décomposée de façon à recouvrir ces trois concepts. La valeur de l'indice de Shannon (H') selon Shannon (1948) dépend de la taille de l'échantillon mais a l'avantage de représenter la structure spécifique de l'échantillon. Cet indice n'a en théorie pas de limite supérieure. Seule son interprétation relative (dans le temps ou dans l'espace) est euristique.

L'indice de diversité de Shannon (H'), est la quantité d'information apportée par un échantillon sur les structures du peuplement dont provient l'échantillon et sur la façon dont les individus y sont répartis entre diverses espèces (Daget, 1976). Selon Dajoz (1975), la diversité est fonction de la probabilité ni/N de présence d'individus. L'expression mathématique de l'indice de diversité de Shannon-Weaver est la suivante :

$$H' = -\sum (ni/N) \ln (ni/N) \quad (4)$$

ni/N est l'abondance proportionnelle ou le pourcentage d'importance de l'espèce ;

ni est le nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon;

N est le nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon ;

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces (Lobry *et al.*, 2003). Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un indice moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont co-dominantes. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominant très largement toutes les autres) à H' max (lorsque toutes les espèces ont une même abondance). Cet indice de diversité nous a permis de déterminer si le nombre d'individus d'une espèce est largement supérieur à ceux des autres espèces du site d'échantillonnage. Dans ces conditions, la formule de la diversité devient :

$$H'_{\max} = \log_2 (S) \quad (5)$$

Avec S la richesse spécifique totale

L'indice de diversité de Shannon H' doit être avantageusement accompagné d'un autre indice (Grall & Coïc, 2005) : l'indice d'équitabilité et l'indice de Simpson

- Indice d'équitabilité de Pielou (E)

L'indice d'équitabilité (E) (Pielou, 1966) permet de mesurer l'équitabilité ou encore la répartition équitable des espèces du peuplement par rapport à une répartition théorique égale pour l'ensemble des espèces (Barbault, 1992). Celui-ci est le rapport entre l'indice de Shannon de l'échantillon et la valeur maximale que cet indice pourrait atteindre si toutes les espèces qui constituent l'échantillon y étaient également représentées. Il varie donc entre 0 et 1. Plus cet indice tend vers 1 plus les espèces sont équitablement réparties au sein du peuplement, plus il tend vers zéro, plus les espèces sont réparties de manière variée au sein du peuplement. L'équitabilité (E) s'exprime comme suit :

$$E = H' / H'_{\max} \quad (6)$$

2.4.1.2. Indice de diversité β

-Indice de diversité de Simpson

L'indice de Simpson mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce. Il est calculé par la formule suivante :

$$1-D = \frac{\sum ni \sum (ni-1)}{N \sum (N-1)} \quad (7)$$

L'indice de diversité de Simpson varie de 0 à 1.

Si D tend vers 0, la diversité est forte ;

Si D tend vers 1, la diversité est faible ;

ni représente l'effectif de l'espèce i ;

\sum la somme des résultats obtenus pour chacune des espèces présentes ;

N le nombre d'individus de l'échantillon.

2.4.2. Abondance

-Abondance relative

L'abondance relative (A_r) renseigne sur l'importance de chaque espèce par rapport à l'ensemble des espèces présentes dans un habitat (Damerdji, 2008 ; Béné *et al.*, 2012 ; Kouakou, 2019). Elle a servi à calculer la proportion de chaque espèce afin de déterminer son abondance par rapport aux autres espèces du site d'étude. La formule mathématique de cette abondance est la suivante :

$$Ar = \frac{ni}{N} \times 100 \quad (8)$$

ni est le nombre d'individus de l'espèce **i** et **N** est le nombre total d'individus de toutes les espèces de l'habitat.

2.4.3. Indice de variation saisonnière de *Oecophylla longinoda*

La fluctuation en pourcentage de chaque indice a été calculée en considérant la valeur de l'abondance la plus élevée moins la valeur de l'abondance la plus basse divisée par la valeur de l'abondance la plus basse multipliée par 100. L'indice de la variation saisonnière (**Is**) a été calculé selon la formule suivante :

$$\% Is = [(Ae - Af) / Af] \times 100 \quad (9)$$

Avec **Ae** l'abondance la plus élevée et **Af**, l'abondance la plus basse.

2.4.4. Evaluation de l'abondance moyenne des mouches par pièges et par jour (FTD)

Le FTD est un indice de population qui estime le nombre moyen de mouches capturées dans un piège par jour. La fonction de cet indice de population est d'avoir une mesure relative de la taille de la population de mouches des fruits dans l'espace et dans le temps (Minhibo *et al.*, 2018).

La formule de la fonction est :

$$F.T.D = F/TxD \quad (10)$$

F= Nombre total de mouches des fruits

T=Nombre de pièges

D=Nombre moyen de jours où les pièges ont été exposés au champ

Le FTD a également permis de déterminer le niveau d'infestation des mouches dans les vergers choisis pour le piégeage selon les critères suivants :

-**FTD** ≤ **5** : faible niveau infestation ;

-**5** < **FTD** < **10** : infestation moyen ;

-**FTD** > **10** : forte infestation ;

Ces critères ont été initiés par la cellule de coordination du Projet de Lutte contre les Mouches des Fruits (SPRMF) mis en place par la Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO).

2.4.5. Evaluation des paramètres de protection sur la mangue

❖ Incidence des dégâts

Le taux d'attaque (**Ta**) est le rapport entre le nombre de fruits infestés (**Mi**) et le nombre total de fruits collectés (**Me**) par traitement. Il est exprimé en pourcentage. Des fruits sont prélevés de manière aléatoire dans les différentes parcelles traitées et parcelles témoins (N'Dépo, 2010). Le taux d'attaque a été calculé selon la formule ci-dessous :

$$\mathbf{Ta\ (\%) = (Mi\ x\ 100) / Me} \quad (11)$$

Mi désigne le nombre de mangues infestées dans l'échantillon

Me est le nombre total de mangues collectées

❖ Niveau d'infestation (**Ni**)

Il mesure l'importance des pontes des mouches de la famille des Tephritidae dans les fruits et s'exprime en nombre de pupes par unité de poids (Vayssières *et al.*, 2009). La formule ci-dessous a été utilisée pour le calcul de **Ni** :

$$\mathbf{Ni = Np / Pt} \quad (12)$$

Np est le nombre de pupes collectées à partir des fruits infestés dans l'échantillon

Pt est le poids moyen des fruits infestés dans l'échantillon en kg.

❖ Le pourcentage de Protection (**Pp**)

Il permet d'estimer en pourcentage le niveau de protection du traitement. Il sert à montrer si les traitements appliqués ont protégé les mangues. La formule ci-dessous a été utilisée pour le calcul de **Pp** (Minhibo *et al.*, 2019b).

$$\mathbf{Pp\ (\%) = (NT - T) / NT \times 100} \quad (13)$$

NT est le nombre de pupes de la parcelle non traitée

T est le nombre de pupes de la parcelle traitée.

2.4.6. Analyses statistiques

La comparaison des moyennes a été réalisée avec le test paramétrique ANOVA à un facteur au seuil de 5 % lorsque la distribution suit une loi normale et l'homogénéité des variances est établie ; c'est le cas des paramètres relatifs à l'abondance des mouches. Le test de Newman-Keuls a servi à

classer les moyennes en cas de différence significative pour distinguer les groupes homogènes au seuil de 5 %. Pour les cas où les variances ne sont pas homogènes, les moyennes ont été comparées avec le test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Des tests de corrélations de Pearson au seuil de 5 % ont été également réalisés pour étudier l'influence des facteurs climatiques sur l'abondance des mouches des fruits. Pour étudier les relations entre les facteurs climatiques suivis (Température, Humidité Relative et Pluviométrie), les valeurs moyennes hebdomadaires de la température et de l'humidité relative ont été calculées à partir des minimales et maximales journalières enregistrées.

Ces différents tests ont été réalisés à l'aide des logiciels *Past version 2.17* et le logiciel *Statistica version 7.1*.

TROISIEME PARTIE:
RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1. Résultats

1. Fluctuation des populations des mouches des fruits dans les vergers de manguiers du nord de la Côte d'Ivoire

1.1. Communauté de mouches de la famille des Tephritidae capturée dans les pièges Tephri trap

1.1.1. Diversité alpha

1.1.1.1. Richesse spécifique (S)

Les pièges contenant les attractifs sexuels et les insecticides ont permis d'identifier seize (16) espèces de mouches des fruits réparties en 4 genres. Il s'agit notamment de deux (2) espèces du genre *Bactrocera* à savoir *Bactrocera dorsalis* Schultz *et al* et *Bactrocera sp*, neuf (9) espèces du genre *Ceratitis* qui sont *Ceratitis anonae* Graham, *Ceratitis breinii* Guérin-Méneville, *Ceratitis capitata* (Wiedemann), *Ceratitis cosyra* (Walker), *Ceratitis ditissima* (Munro), *Ceratitis fasciventris* (Bezzi), *Ceratitis punctata* (Wiedemann), *Ceratitis silvestrii* Bezzi, *Ceratitis sp*, quatre (4) espèces de genre *Dacus* dont *Dacus bivittatus* (Bigot), *Dacus ciliatus* (Loew), *Dacus punctatifrons* (Karsch) et *Dacus sp* et enfin, une (1) espèce de genre *Zeugodacus* qui est *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillet).

Le genre *Ceratitis* présente la plus grande richesse spécifique avec 9 espèces identifiées (60 % de la diversité α) contre 3 pour le genre *Dacus* (20 % de la diversité α) et 2 pour le genre *Bactrocera* (13,33 % de la diversité α). Quant à l'espèce *Zeugodacus cucurbitae*, un seul représentant soit 6,66 % de la diversité α . En ce qui concerne la richesse spécifique (Figure 29a), l'analyse statistique ($p > 0,05$) a montré qu'il n'existe pas de différence significative de la richesse spécifique entre les différents sites d'étude.

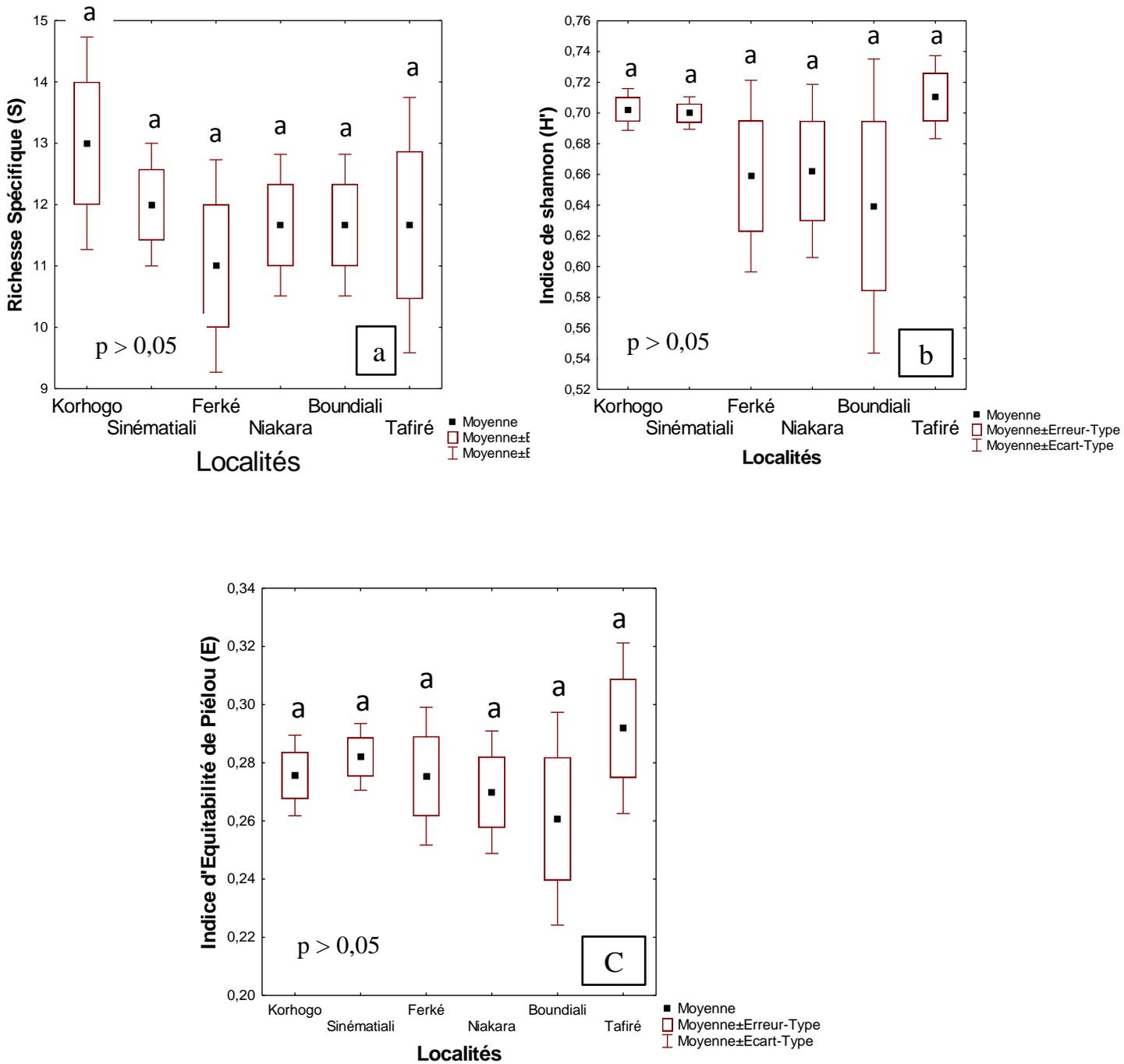
1.1.1.2. Indices de diversité α

a. Indice de diversité de shannon

Les analyses statistiques ($p > 0,05$) ont montré qu'il n'existe pas de différence significative de l'indice de Shannon entre les différentes localités (Figure 29b).

b. Indice d'équitabilité

Les analyses statistiques ($p > 0,05$) ont montré qu'il n'existe pas de différence significative de l'indice d'Équitabilité entre les différentes localités (Figure 29c).



Anova 1, Les moyennes affectées des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%

Figure 29 : Diversité α des Tephritidae dans les sites d'études

a : Richesse spécifique

b : Indice de Shannon

c : Indice d'Equitabilité

1.1.2. Indice de diversité β

- Indice de diversité de Simpson

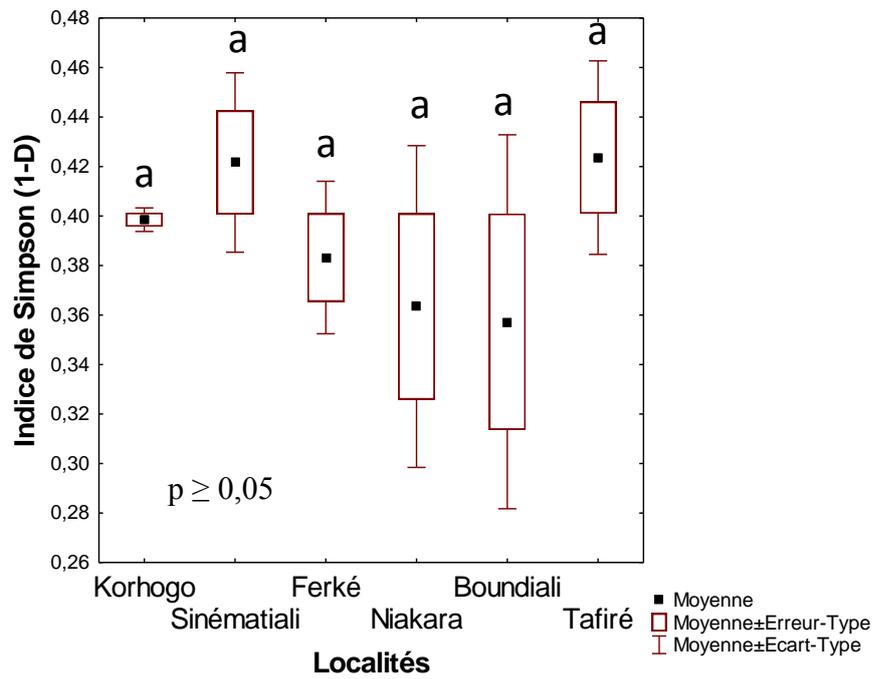
Les analyses statistiques ($p > 0,05$) ont montré qu'il n'existe pas de différence significative de l'indice de Simpson entre les différentes localités (Figure 30).

1.1.3. Abondance des espèces dans l'ensemble des vergers de manguier

Les pièges contenant les attractifs sexuels et les insecticides ont permis de capturer plusieurs groupes d'insectes (Tableau VIII). Parmi ces insectes, les mouches des fruits ont été les plus abondantes (1 039 987 individus) soit 99,98 % avec deux espèces dominantes qui représentent environ 97 % des mouches. Il s'agit notamment de *B. dorsalis* estimé à 766 200 individus soit 73,65 % et *C. cosyra* à 246 406 individus soit 23,68 %.

Les autres espèces composées de *Dacus punctatifrons*, *D. punctatifrons*, *D. bivittatus*, *D. Ciliatus*, *Ceratitis anonae*, *C. breinii*, *C. capitata*, *C. ditissima*, *C. fasciventris*, *C. punctata*, *C. silvestrii* et *Zeugodacus cucurbitae* ont été minoritaires (moins de 2 %).

Certains insectes et Acariens n'appartenant pas à la famille des Tephritidae ont été capturés. Il s'agit d'insectes appartenant aux groupes taxonomiques suivants : Coléoptère, Diptère, Hyménoptère et Lépidoptère qui représentent 0,02 %.



Anova 1, Les moyennes affectées des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%

Figure 30 : Indice de diversité de Simpson

Tableau VIII : Abondance des insectes et des acariens dans les pièges dans l'ensemble des sites

Famille	Espèce	Effectif	Fréquence relative (%)	Fréquence Total (%)
Tephritidae	<i>Bactrocera dorsalis</i>	765046	73,65	
	<i>Bactrocera sp</i>	1	$9,61.10^{-5}$	
	<i>Ceratitis anonae</i>	147	0,01	
	<i>C. breinii</i>	1097	0,13	
	<i>C. capitata</i>	2783	0,27	
	<i>C. cosyra</i>	246601	23,69	
	<i>C. ditissima</i>	1	$9,61.10^{-5}$	
	<i>C. fasciventris</i>	2680	0,26	99,98
	<i>C. punctata</i>	24	2.10^{-3}	
	<i>C. silvestrii</i>	1	$9,61.10^{-5}$	
	<i>Ceratitis sp</i>	24	2.10^{-3}	
	<i>Dacus punctatifrons</i>	17975	1,72	
	<i>D. bivittatus</i>	1578	0,15	
	<i>D. ciliatus</i>	8	7.10^{-4}	
	<i>Dacus sp</i>	2	2.10^{-4}	
<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	1019	0,09		
Non Tephritidae	Acariens	4	4.10^{-4}	
	Coléoptère	38	4.10^{-3}	
	Drosophile	83	8.10^{-3}	0,02
	Hyménoptère	3	3.10^{-4}	
	Lépidoptère	3	3.10^{-4}	
	Total	1039118	100	100

1.1.4. Abondance des insectes par pièges Tephri trap selon les attractifs sexuels dans les différents sites

1.1.4.1. Abondances des insectes dans les pièges contenant le Méthyl eugénol

Les pièges contenant le Méthyl eugénol ont permis de capturer 757 108 individus (Tableau IX). Parmi ces insectes, *Bactrocera dorsalis* est l'espèce majoritaire (99,78 %). Il est suivi de l'espèce *Ceratitis breyii* avec 0,14% d'individus. Quant aux autres insectes, ils sont faiblement représentés (0,22%).

1.1.4.2. Abondances des insectes dans les pièges contenant le Terpinyl acetate

Les pièges contenant le Terpinyl acetate ont enregistré 253 499 individus (Tableau IX). Parmi ces espèces, *Ceratitis cosyra* est l'espèce majoritaire (96,25 %). Quant aux autres insectes, ils sont faiblement représentés (3,75 %).

1.1.4.3. Abondances des insectes dans les pièges contenant le Cuelure

Les pièges contenant le Cuelure ont enregistré 22 182 individus (Tableau IX) dont l'espèce *Dacus punctatifrons* est majoritaire avec 75,70 %. Cependant, les autres insectes ont été faiblement représentés (24,3 %).

1.1.4.4. Abondances des insectes dans les pièges contenant le Trimedlure

Un total de 6 339 individus a été capturé dans les pièges contenant le Trimedlure (Tableau IX). Parmi les insectes capturés, *Ceratitis capitata* et *C. fasciventris* ont été les deux espèces fortement représentées avec respectivement 43,44 % et 35,85 %. Les autres insectes ont été faiblement représentés.

Tableau IX : Abondance des insectes et des acariens dans les sites d'études selon les attractifs

Résultats et discussions

Paraphéromones	Espèces	Boundiali	Korhogo	Sinématiali	Ferkessédougou	Niakara	Tafiré	Total	Fréquence relative (%)
Méthyl eugenol	<i>Bactrocera dorsalis</i>	117976	128778	124711	88896	132113	162992	755466	99,78
	<i>Ceratitis anonae</i>	0	0	0	1	0	0	1	1.10 ⁻⁴
	<i>C. breinii</i>	249	215	206	71	268	79	1088	0,14
	<i>C. capitata</i>	1	0	0	0	0	0	1	1.10 ⁻⁴
	<i>C. cosyra</i>	6	0	6	16	5	267	300	0,04
	<i>C. fasciventris</i>	84	1	0	0	0	0	85	0,01
	<i>Dacus bivittatus</i>	1	0	0	0	1	0	2	3.10 ⁻⁴
	<i>D. punctatifrons</i>	132	0	0	1	1	0	134	0,02
	<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	0	0	0	0	2	4	6	8.10 ⁻⁴
	Drosophile	8	11	0	0	0	0	19	3.10 ⁻³
	Acariens	0	0	0	2	0	0	2	4.10 ⁻⁴
	Hyménoptères	1	0	0	0	0	1	2	3.10 ⁻⁴
	Lépidoptères	1	0	0	1	0	0	2	3.10 ⁻⁴
	Sous total	118459	129005	124923	88988	132390	163343	757108	100
Terpinyl acetate	<i>Bactrocera dorsalis</i>	7933	51	189	472	46	49	8740	3,45
	<i>B. sp</i>	0	1	0	0	0	0	1	4.10 ⁻⁴
	<i>Ceratitis anonae</i>	3	7	23	12	1	0	46	0,02
	<i>C. breinii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>C. capitata</i>	1	12	12	0	2	1	28	0,01
	<i>C. cosyra</i>	18606	37563	65359	23909	16948	81816	244201	96,33
	<i>C. fasciventris</i>	105	142	41	3	2	4	297	0,12
	<i>C. punctata</i>	0	0	0	0	2	0	2	8.10 ⁻⁴
	<i>C. silvestrii</i>	1	0	0	0	0	0	0	0,01
	<i>C. sp</i>	0	1	0	0	0	0	1	4.10 ⁻⁴
	<i>Dacus bivittatus</i>	7	0	0	0	0	0	7	3.10 ⁻³
	<i>D. punctatifrons</i>	13	0	1	3	59	0	76	0,03
	Drosophiles	29	0	33	0	0	0	62	0,02
	Coléoptères	0	0	0	0	0	38	38	0,01
Sous total	26697	37777	65658	24399	17060	81908	253499	100	

Tableau IX (suite)

Paraphéromones	Espèces	Boundiali	Korhogo	Sinématiali	Ferkessédougou	Niakara	Tafiré	Total	Fréquence relative (%)
Cuelure	<i>Ceratitis capitata</i>	4	1	0	1	0	5	11	0,05
	<i>C. cosyra</i>	1204	0	578	2	3	26	1813	7,77
	<i>C. fasciventris</i>	18	1	2	1	2	1	25	0,11
	<i>C. punctata</i>	0	0	0	0	3	0	3	0,01
	<i>C. sp</i>	2	0	0	0	0	0	2	8.10 ⁻³
	<i>Dacus bivittatus</i>	253	273	176	98	549	213	1562	6,69
	<i>D. punctatifrons</i>	2320	1585	1184	910	7278	4465	17742	76,03
	<i>D. sp</i>	0	0	0	0	1	1	2	9.10 ⁻³
	<i>D. ciliatus</i>	1	1	4	2	0	0	8	0,03
	<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	65	283	76	53	498	34	1009	4,32
	Drosophiles	2	0	0	0	0	0	2	9.10 ⁻³
	Acariens	0	0	0	1	0	1	2	9.10 ⁻³
	Hyménoptères	0	0	0	0	0	1	1	4.10 ⁻³
	Sous total	3869	2144	2020	1068	8334	4747	22182	100
Trimedlure	<i>Bactrocera dorsalis</i>	29	148	355	230	8	70	840	13,25
	<i>Ceratitis anonae</i>	11	22	37	25	4	1	100	1,58
	<i>C. breinii</i>	0	0	8	0	0	1	9	0,14
	<i>C. capitata</i>	25	2567	26	14	67	55	2754	43,45
	<i>C. cosyra</i>	51	59	22	18	48	89	287	4,53
	<i>C. ditissima</i>	0	1	0	0	0	0	1	0,02
	<i>C. fasciventris</i>	166	878	254	190	301	484	2273	35,86
	<i>C. punctata</i>	0	4	15	0	0	0	19	0,30
	<i>C. sp</i>	18	0	2	0	0	1	21	0,33
	<i>Dacus bivittatus</i>	4	2	0	0	1	0	7	0,11
	<i>D. punctatifrons</i>	9	8	0	0	4	2	23	0,36
	<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	0	3	0	0	1	0	4	0,06
	Lépidoptères	1	0	0	0	0	0	1	0,02
	Sous total	314	3692	719	477	434	703	6339	100

1.2. Effet des directions cardinales des pièges contenant les attractifs sexuels sur l'abondance des mouches des fruits

Les analyses se sont portées sur la population de *Bactrocera dorsalis* et *Ceratitis cosyra* en raison de leurs fortes abondances dans les sites d'études.

1.2.1. *Bactrocera dorsalis*

Les analyses statistiques ($p > 0,05$) ont montré qu'il n'y a pas de différence significative entre l'abondance moyenne de *B. dorsalis* selon les directions cardinales (Tableau X).

1.2.2. *Ceratitis cosyra*

Les analyses statistiques ($p > 0,05$) ont montré qu'il n'y a pas de différence significative entre l'abondance moyenne de *Ceratitis cosyra* selon les directions cardinales (Tableau XI).

1.3. Variation spatiale des populations des mouches des fruits

1.3.1. *Bactrocera dorsalis*

La Figure 31 montre que les mouches ont été abondantes dans le verger de manguier de la localité de Tafiré ($374,17 \pm 31,05$ individus) et faible dans le verger de Ferkessédougou ($218,57 \pm 29,26$ individus). Quant aux autres localités Korhogo ($286,81 \pm 23,69$ individus), Boundiali ($280,73 \pm 23,18$ individus), Niakara ($308,85 \pm 26,86$ individus) et Sinématiali ($288,31 \pm 28,64$ individus), elles ont enregistré une abondance intermédiaire de mouches. Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) ont montré qu'il existe une différence significative de l'abondance de l'espèce *Bactrocera dorsalis* selon les localités.

1.3.2. *Ceratitis cosyra*

La Figure 32 montre que les mouches ont été abondantes dans les vergers de manguiers de la localité de Sinématiali ($259,70 \pm 22,52$ individus) et Tafiré ($253,69 \pm 21,81$ individus) et faibles dans ceux de Boundiali ($82,30 \pm 6,42$ individus) et Niakara ($78,72 \pm 12,17$ individus). Quant aux vergers de la localité de Ferkessédougou ($106 \pm 8,19$ individus) et de Korhogo ($143,04 \pm 13,39$ individus), ils ont enregistré une abondance intermédiaire de mouches. Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) ont montré qu'il existe une différence significative de l'abondance de l'espèce *Ceratitis cosyra* selon les localités.

Tableau X : Abondance moyenne de *B. dorsalis* dans les localités en fonction des quatre (4) points cardinaux

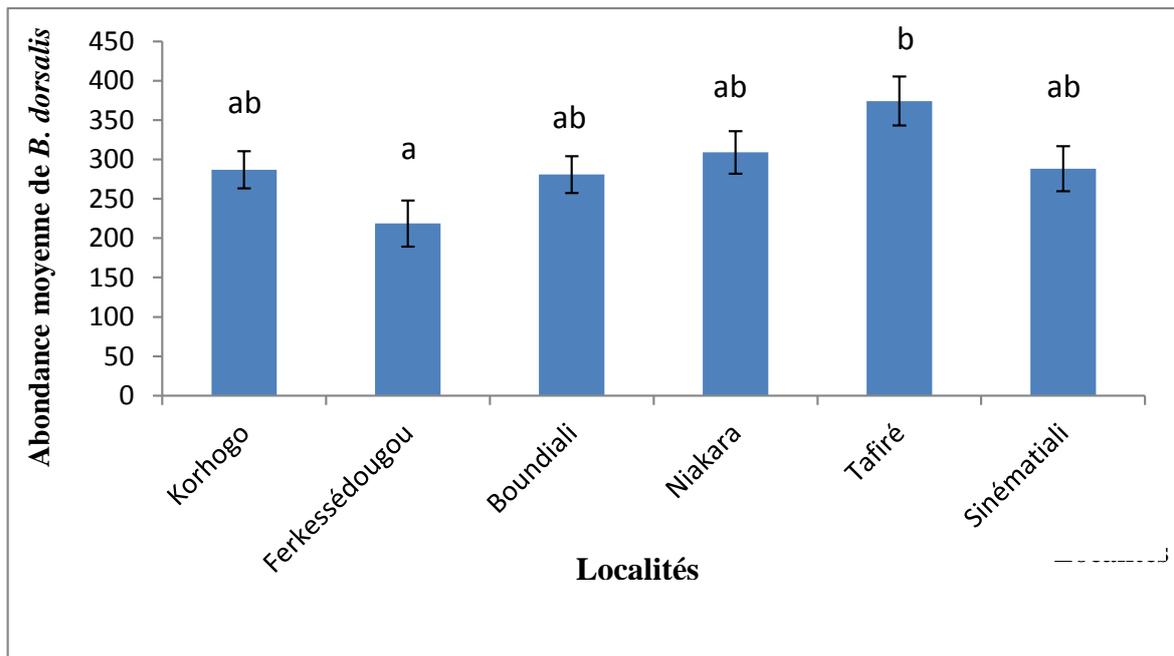
Position	Boundiali	Ferkessédougou	Korhogo	Niakara	Sinématiali	Tafiré	Moyenne
Nord	281,12 ± 42,35a	193,71 ± 41,40a	284,22 ± 45,87a	322,86 ± 50,62a	341,9 ± 67,54a	422,75 ± 64,13a	308,01 ± 21,68a
Sud	274,43 ± 50,01a	296,05 ± 87,87a	255,30 ± 44,34a	322,68 ± 52,08a	259,59 ± 49,37a	337,9 ± 62,03a	290,57 ± 24,09a
Est	321,54 ± 54,92a	192,02 ± 43,39a	319,82 ± 53,15a	248,75 ± 52,14a	287,46 ± 58,51a	310,26 ± 50,62a	281,09 ± 21,42a
Ouest	248,25 ± 38,37a	189,26 ± 45,56a	286,66 ± 45,42a	340,94 ± 59,74a	264,55 ± 51,81a	426 ± 70,17a	294,38 ± 21,75a
F	0,4208	0,80919	0,3157	0,5801	0,4329	0,9045	0,2545
p	0,738145	0,489303	0,814043	0,628366	0,729523	0,438832	0,858173

Les moyennes sur les mêmes colonnes portant les mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Newman Kauls : $\alpha = 0,05$)

Tableau XI : Abondance moyenne de *C. cosyra* dans les localités en fonction des quatre (4) points cardinaux

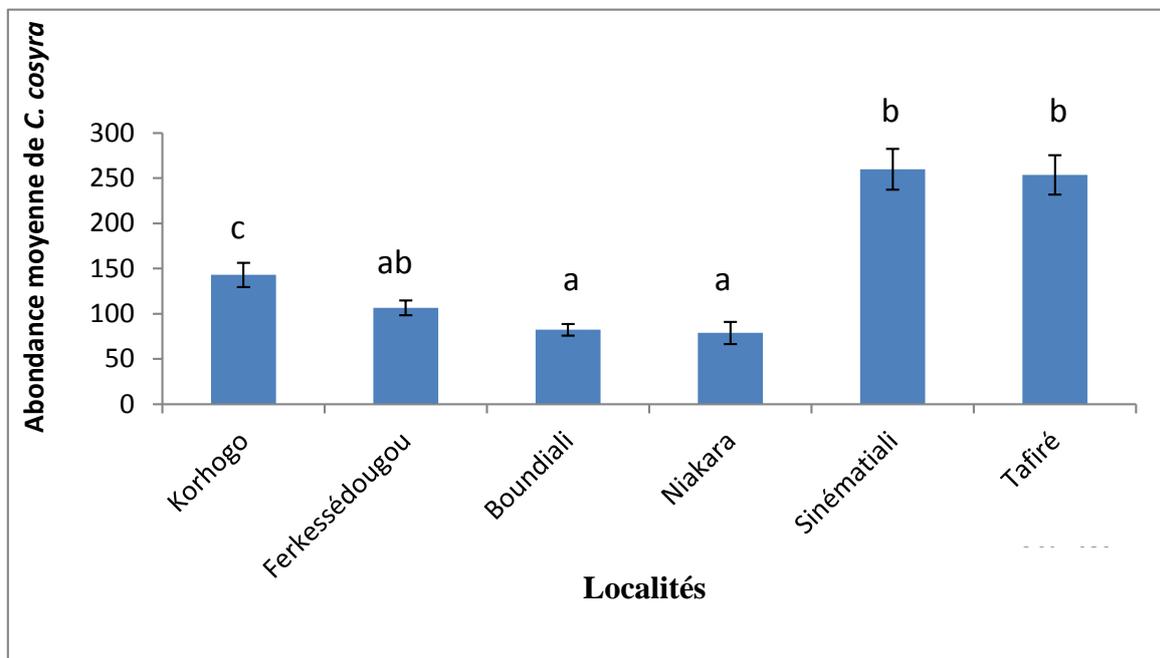
Position	Boundiali	Ferkessédougou	Korhogo	Niakara	Sinématiali	Tafiré	Moyenne
Nord	71,43 ± 10,86a	108,26 ± 16,56a	114,6 ± 21,93a	60,26 ± 14,42a	250,08 ± 44,25a	294,43 ± 48,10ab	161,77 ± 14,60a
Sud	95,75 ± 15,31a	146,38 ± 21,41a	144 ± 30,11a	99,84 ± 29,81a	233,49 ± 44,95a	153,13 ± 28,88a	146,67 ± 12,56a
Est	70,62 ± 10,66a	92,94 ± 13,81b	185,39 ± 32,41a	74,18 ± 23,92a	277,51 ± 43,00a	254,63 ± 40,19ab	165,64 ± 13,63a
Ouest	91,48 ± 13,86a	80,19 ± 11,91b	131,69 ± 22,80a	80,48 ± 26,85a	285,2 ± 49,45a	312,82 ± 51,98b	175,06 ± 15,87a
F	1,0538	3,0819	1,2660	0,47818	0,253931	2,7414	0,6782
p	0,369520	0,028271	0,286492	0,697800	0,907097	0,043342	0,565423

Les moyennes sur les mêmes colonnes portant les mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Newman Kauls : $\alpha = 0,05$)



Anova 1, les moyennes affectées des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%

Figure 31 : Variation spatiale de l'abondance de *B. dorsalis*



Anova 1, les moyennes affectées des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%

Figure 32 : Variation spatiale de l'abondance de *C. cosyra*

1.4. Variation saisonnière des populations des principales espèces de Tephritidae

Le relevé hebdomadaire des pièges contenant les attractifs sexuels et les insecticides a permis de suivre les variations de l'abondance des populations de *Bactrocera dorsalis* et de *Ceratitis cosyra* qui constituent 96, 34 % de l'ensemble des captures réalisées. Quel que soit le site étudié, la population de *Ceratitis cosyra* précède celle de *B. dorsalis*.

Dans la localité de Boundiali, la population de *B. dorsalis* a été abondante au stade maturité de la mangue qui se situe entre la dernière semaine de mai et la première semaine de juillet de l'année 2017. En ce qui concerne l'année 2018, elle a été abondante à la dernière semaine de juin 2018 avec un pic de 353 individus. Quant à l'espèce *Ceratitis cosyra*, elle a été abondante dans le mois de mai de l'année 2018 (Figure 33).

Dans la localité de Sinématiali, la population de *B. dorsalis* a été abondante au début du stade développement de la mangue de l'année 2017 avec un pic de 253 individus. En 2018, elle a été abondante au stade maturité de la mangue avec deux pics de croissance dont l'un au mois de juin (400 individus) et l'autre au mois de juillet (350 individus) pour *B. dorsalis*. Quant à l'espèce *Ceratitis cosyra*, sa population a été abondante dans les mois d'avril et mai des années 2017 et 2018 (Figure 34).

Dans la localité de Ferkessédougou, la population de *Ceratitis cosyra* a été abondante au stade floraison du manguier et développement de la mangue dans les mois de janvier, février, mars, avril et mai de l'année 2017 et de février à mars puis en juillet de l'année 2018. Quant à *B. dorsalis*, elle a été abondante au stade maturité de la mangue avec un pic de 348 individus à la première semaine de juillet 2017 et un pic de 400 individus à la dernière semaine de juin 2018 (Figure 35).

Dans la localité de Korhogo, la population de *Ceratitis cosyra* a été abondante au stade développement de la mangue avec un pic à la 2^{ème} semaine de mai 2017. Quant à *B. dorsalis*, elle a été abondante à la dernière semaine de juin 2017 avec un pic de 255 individus au début du stade végétatif du manguier et à la 1^{ère} semaine de juillet 2018 avec un pic de 450 individus (Figure 36).

Dans les localités de Niakara et Tafiré, la population de *B. dorsalis* a été abondante au stade développement du manguier et maturité de la mangue durant les périodes 2017 et 2018. Tandis que la population de *C. cosyra* a été abondante au stade développement de la mangue pour ces mêmes périodes (Figures 37 et 38).

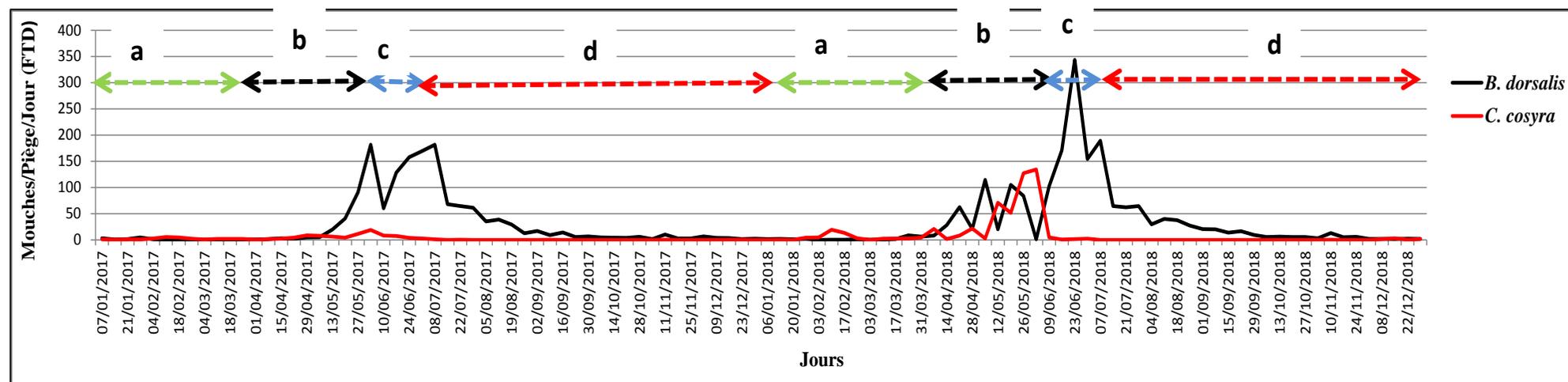


Figure 33 : Abondance journalière de *B. dorsalis* et de *C. cosyra* dans la localité de Boundiali

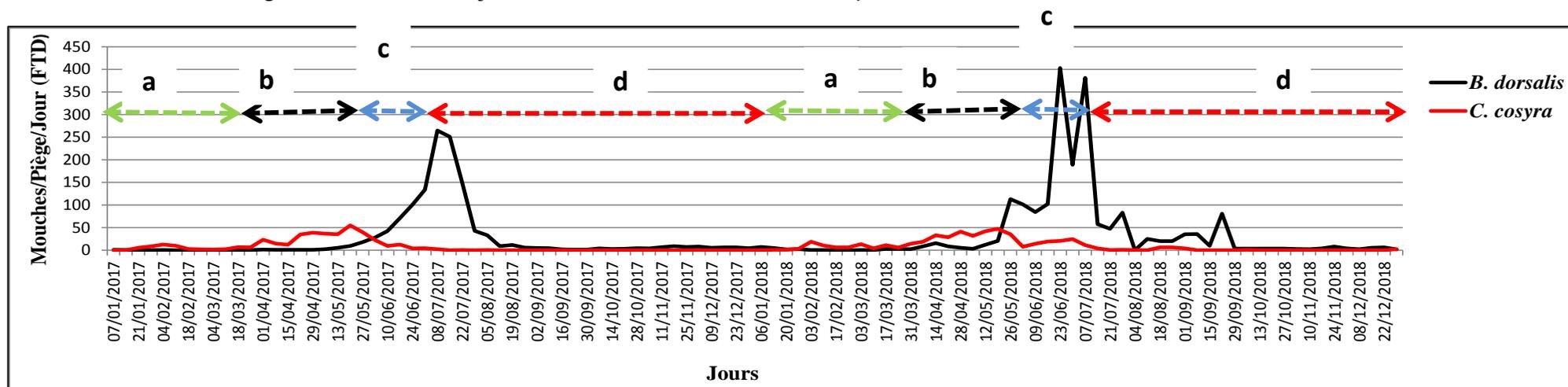


Figure 34 : Abondance journalière de *B. dorsalis* et de *C. cosyra* dans la localité de Sinématiali

- a : Stade floraison du manguier
- b : Stade développement de la mangue
- c : Stade maturité de la mangue
- d : Stade végétatif du manguier

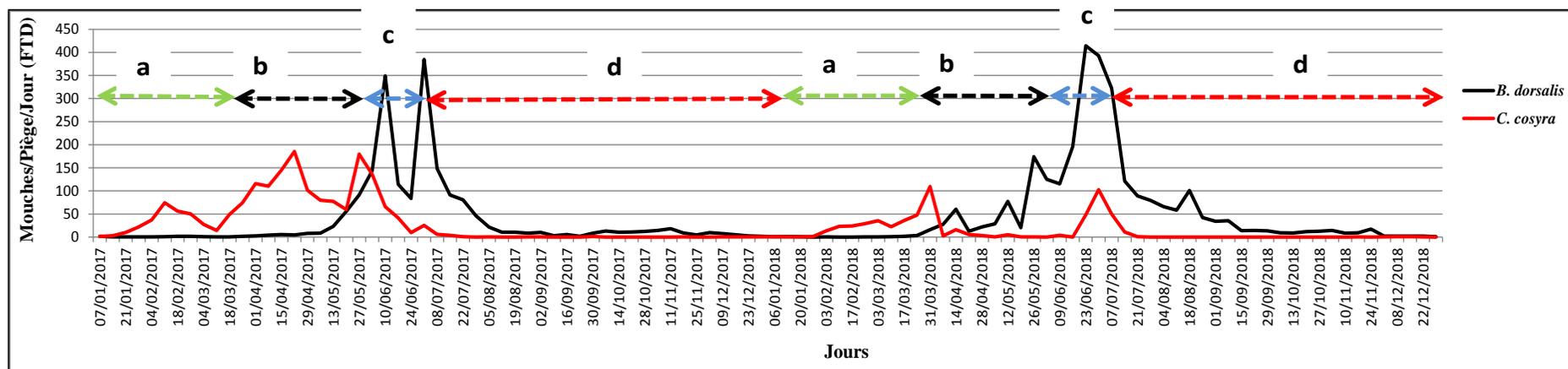


Figure 35 : Abondance journalière de *B. dorsalis* et de *C. cosyra* dans la localité de Ferkessédougou

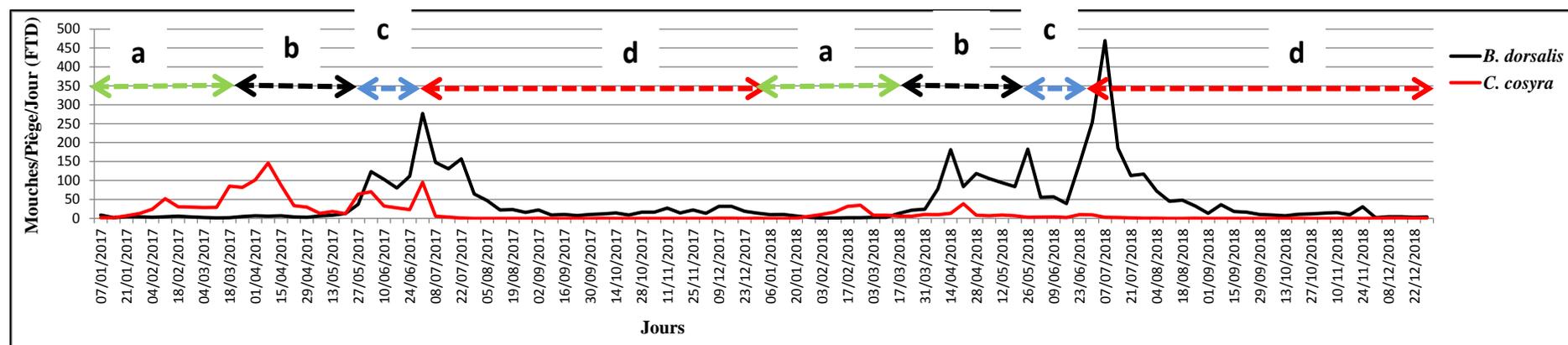


Figure 36 : Capture journalière de *B. dorsalis* et de *C. cosyra* dans la localité de Ferkessédougou

- a : Stade floraison du mangouier
- b : Stade développement de la mangue
- c : Stade maturité de la mangue
- d : Stade végétatif du mangouier

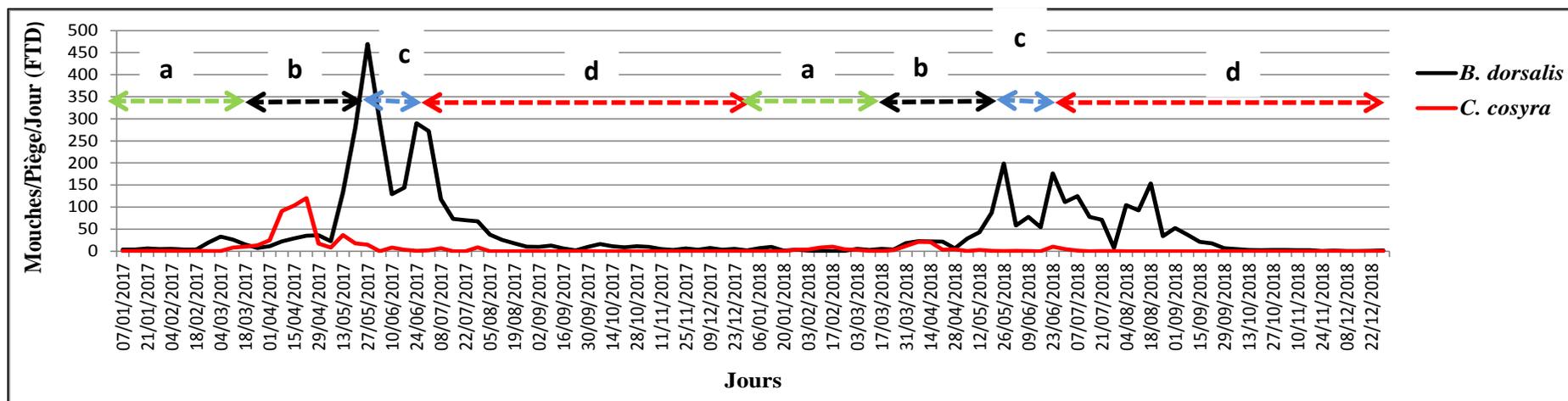


Figure 37 : Abondance journalière de *B. dorsalis* et de *C. cosyra* dans la localité de Niakara

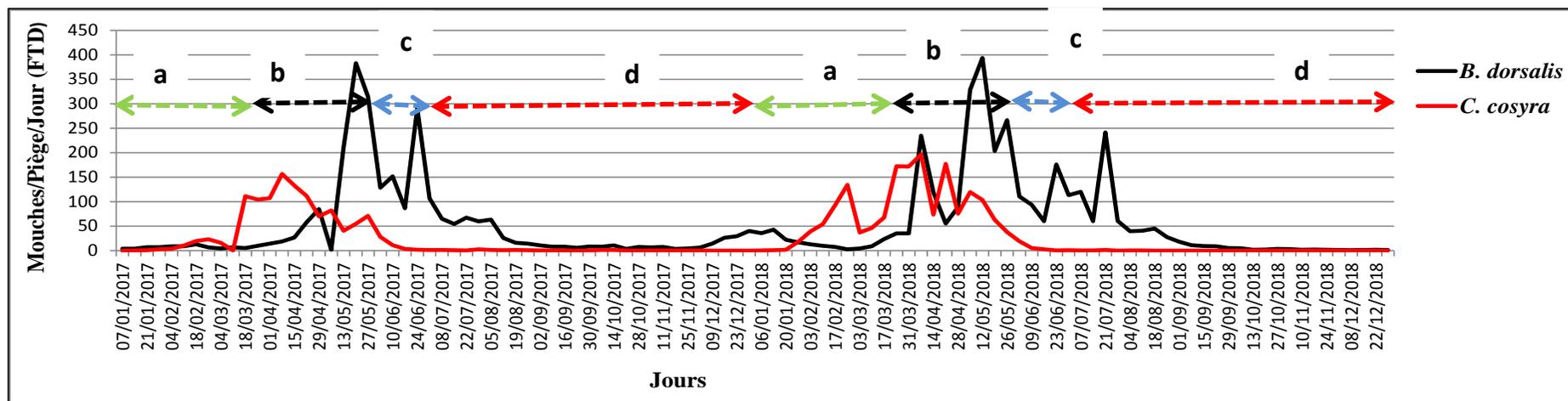


Figure 38 : Capture journalière de *B. dorsalis* et de *C. cosyra* dans la localité de Niakara

- a : Stade floraison du manguier
- b : Stade développement de la mangue
- c : Stade maturité de la mangue
- d : Stade végétatif du manguier

2. Effet des facteurs climatiques et des stades phénologiques du manguiers sur la population des mouches des fruits dans les vergers de manguiers

2.1. Effet des facteurs climatiques sur la population des mouches des fruits

2.1.1. Température

Les valeurs des températures sont comprises entre 12,38°Celsius et 24,36°Celsius pour les températures minimales, 29,27°Celsius et 41,49°Celsius pour les températures maximales et entre 23,45 °Celsius et 32,39 °Celsius pour les températures moyennes.

Les corrélations sont significatives entre la population de *B. dorsalis* et les températures minimales ($r= 0,99$; $p= 0,00$) et maximales ($r= -0,31$; $p= 0,000$) (Figures 39a et 39b). Quant à la température moyenne, la corrélation n'est pas significative ($r= 0,03$; $p= 0,76$) (Figure 39c).

Pour l'espèce, *C. cosyra*, les corrélations sont significatives entre les températures minimales ($r= 0,25$; $p= 0,003$), les températures maximales ($r= 0,43$; $p= 0,000$) et les températures moyennes ($r= 0,46$; $p= 0,000$) (Figures 39d, 39e et 39f).

2.1.2. Humidité relative

Les valeurs des humidités relatives sont comprises entre 0,38 % et 73,47 % pour les humidités minimales, 29,56 % et 100 % pour les humidités maximales et entre 23,01 % et 86,74 % pour les humidités moyennes.

La corrélation est significative entre la population de *B. dorsalis* et l'humidité relative minimale ($r= 0,21$; $p= 0,010$) (Figure 40a) tandis qu'elle n'est pas significative entre l'humidité relative maximale ($r= -0,09$; $p= 0,29$) (Figure 40b) et l'humidité relative moyenne ($r=0,08$; $p= 0,36$) (Figure 40c). Quant à l'espèce *C. cosyra*, la corrélation n'est pas significative entre l'humidité relative minimale ($r= 0,12$; $p= 0,15$), maximale ($r= -0,02$; $p= 0,79$) et moyenne ($r= -0,02$; $p= 0,85$) (Figures 40d, 40e et 40f).

2.1.3. Pluviométrie

Les valeurs de la pluviométrie sont comprises entre 0 mm et 35229 mm de pluies.

La corrélation entre la pluviométrie et la fluctuation de la population de *B. dorsalis* montre que les précipitations induisent une augmentation de la population de *B. dorsalis* ($r= 0,55$ et $p= 0,000$) tandis qu'elles n'ont aucune influence significative sur la fluctuation de la population de l'espèce *C. cosyra* ($r= 0,10$; $p= 0,21$) (Figures 41a et 41b).

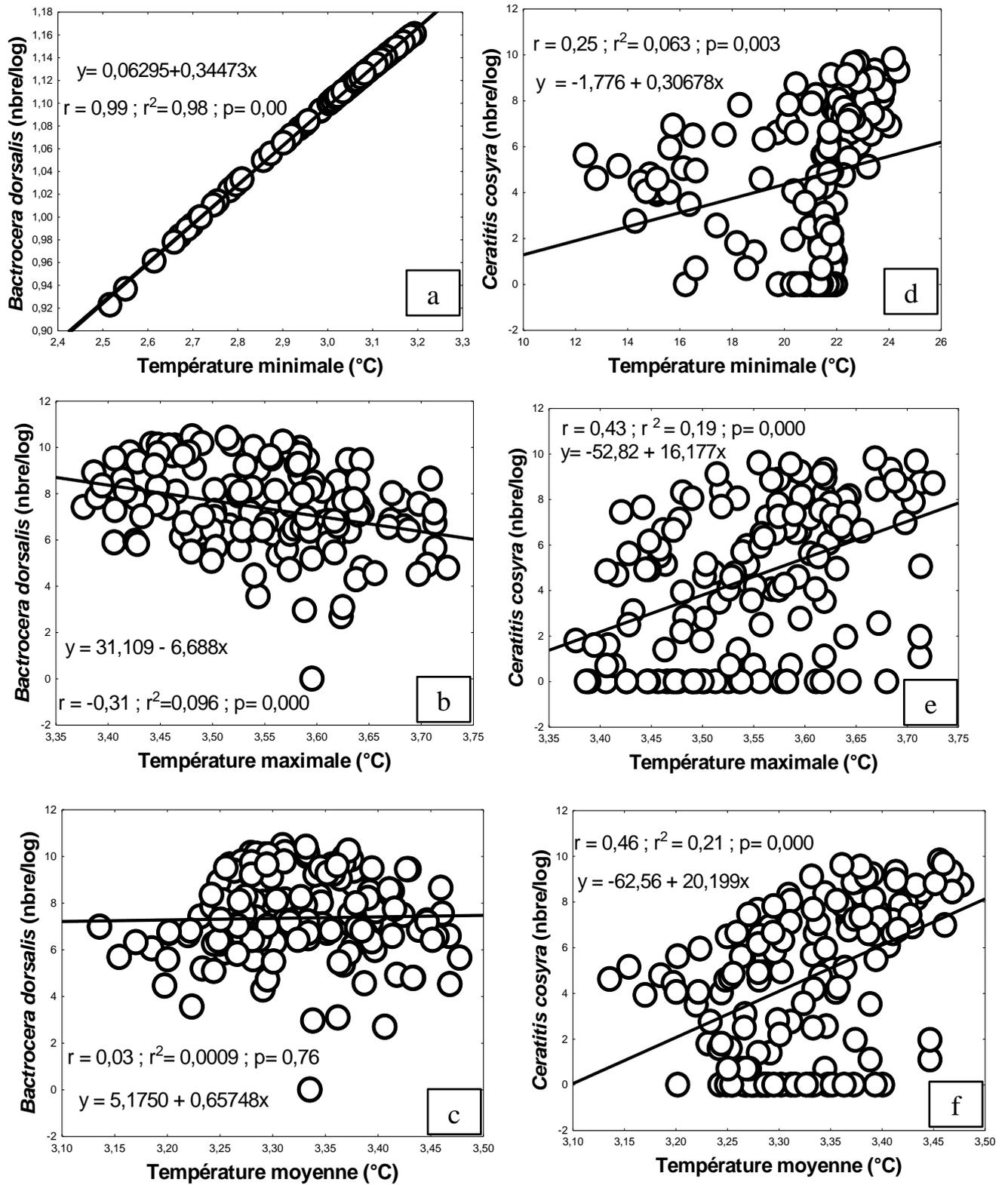


Figure 39 : Corrélation entre la température minimale, moyenne et maximale et l'abondance de *Bactrocera dorsalis* et de *Ceratitis cosyra*

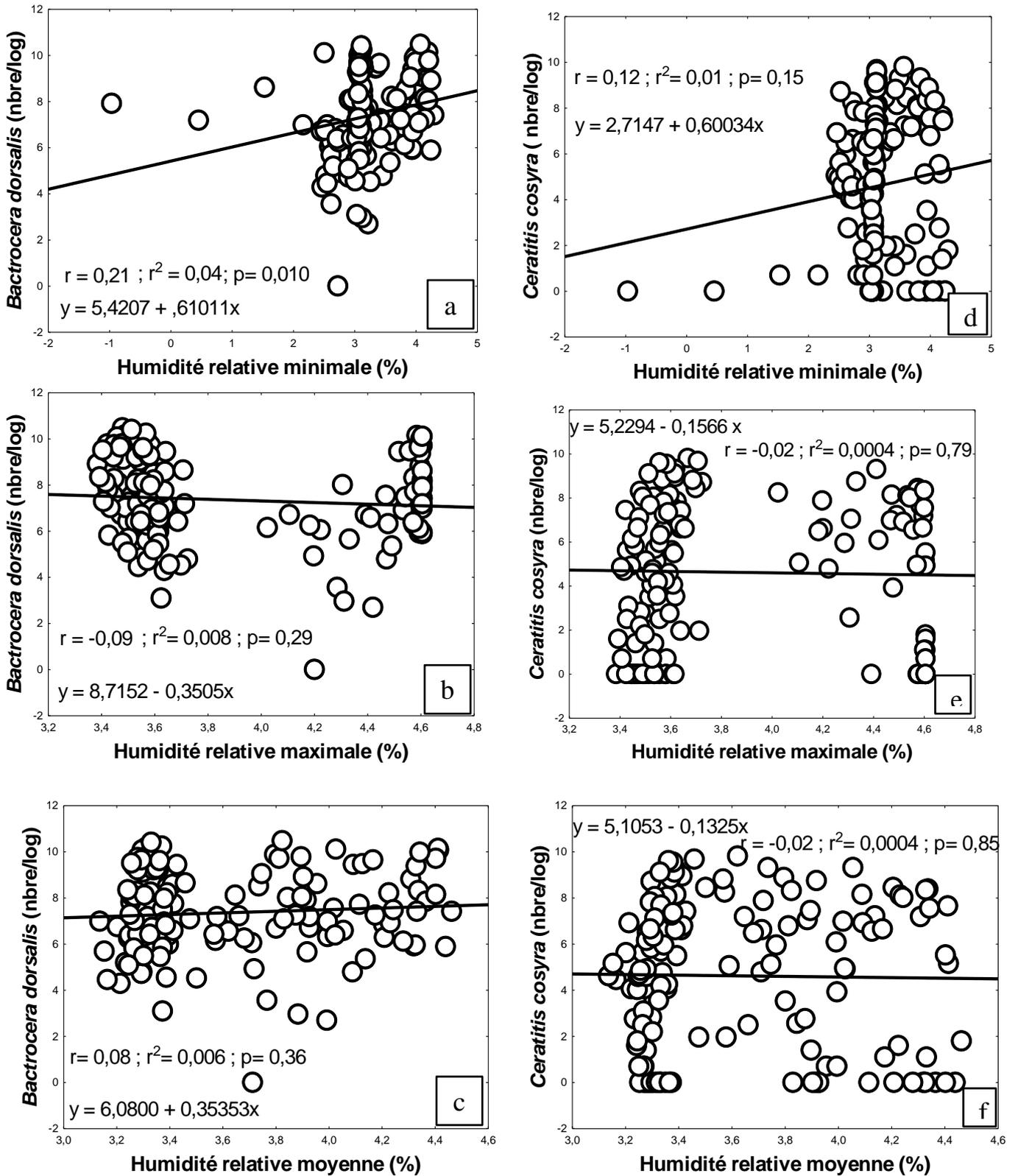


Figure 40 : Correlation entre l'humidité relative minimale, moyenne et maximale et l'abondance de *Bactrocera dorsalis* et de *Ceratitis cosyra*

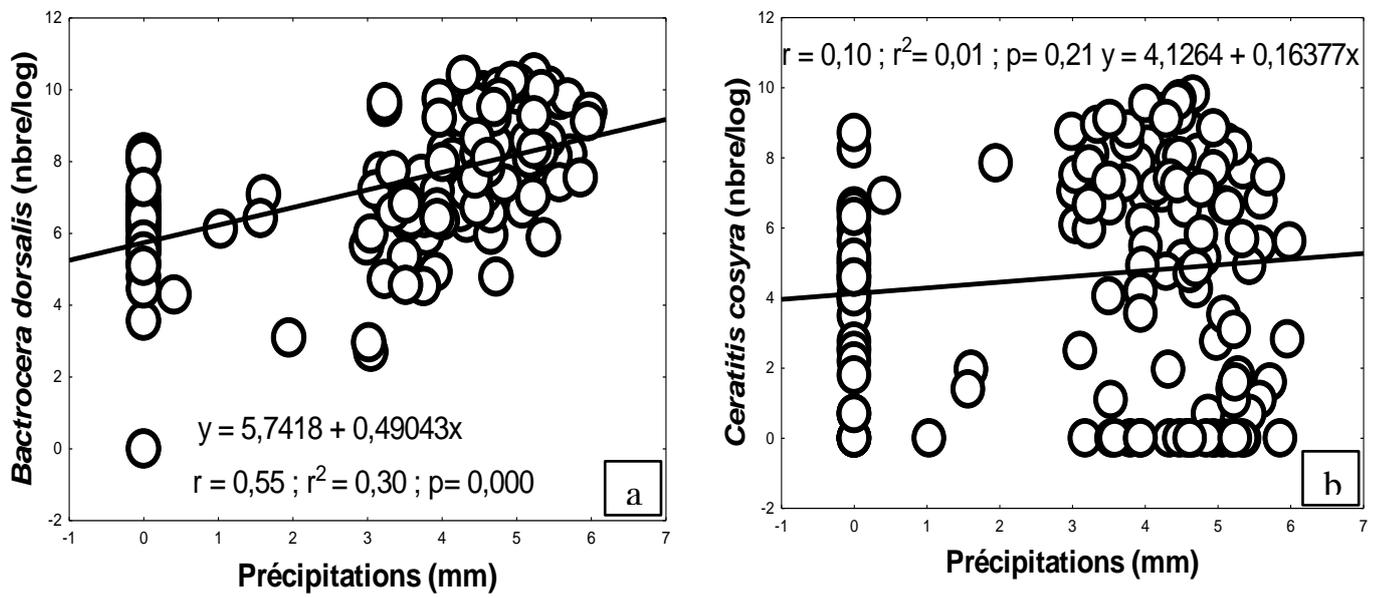


Figure 41 : Correlation entre la précipitation et l'abondance de *Bactrocera dorsalis* et de *Ceratitis cosyra*

2.2. Effet de la phénologie du manguiier sur les populations des mouches des fruits dans les vergers de manguiers

2.2.1. *Bactrocera dorsalis*

Les stades phénologiques du manguiier influencent l'abondance de *Bactrocera dorsalis* dans les localités et dans l'ensemble des localités (Tableau XII). En effet, quel que soit la localité, *B. dorsalis* a été abondante à la phase 'maturité de la mangue'. Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) révèlent une différence significative de l'abondance de *B. dorsalis* selon les stades phénologiques du manguiier. Dans l'ensemble des localités, *B. dorsalis* a été abondante à la 'phase de maturité de la mangue' ($685, 18 \pm 29,62$ individus). Elle est suivie de la phase 'végétative du manguiier' ($146,93 \pm 6,73$ individus). Quant à la phase 'floraison du manguiier' ($42,35 \pm 5,03$ individus) et 'développement de la mangue' ($55,78 \pm 5,30$ individus), l'abondance de *B. dorsalis* a été faible. Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) révèlent une différence significative de l'abondance de *B. dorsalis* selon les stades phénologiques du manguiier dans l'ensemble des localités.

2.2.2. *Ceratitis cosyra*

Les stades phénologiques du manguiier influence l'abondance de *Ceratitis cosyra* dans les localités et dans l'ensemble des localités (Tableau XIII). Dans les localités de Boundiali, Tafiré et Sinématiali, *Ceratitis cosyra* a été abondante aux phases 'développement de la mangue' et 'maturité de la mangue'. Dans les localités de Ferkessédougou et Niakara, *Bactrocera dorsalis* a été abondante à la phase 'maturité de la mangue' tandis que dans la localité de Korhogo, elle a été abondante au 'stade développement de la mangue.' Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) révèlent une différence significative de l'abondance de *C. cosyra* selon les stades phénologiques du manguiier. Dans l'ensemble des sites, *Ceratitis cosyra* a été abondante aux phases 'développement de de la mangue' ($201,88 \pm 15,99$ individus) et 'maturité de la mangue' ($239,09 \pm 12,68$ individus). Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) révèlent une différence significative de l'abondance de *C. cosyra* selon les stades phénologiques du manguiier dans l'ensemble des localités.

Tableau XII : Effet de la phénologie du manguier sur la population de *B. dorsalis* sur les sites

Stades phénologiques	Boundiali	Ferkéssedougou	Korhogo	Niakara	Sinématiali	Tafiré	Moyenne
Floraison	25,3 ± 3,18 a	13,65 ± 5,53 a	30,23 ± 3,63 a	28,41 ± 4,51 a	5,04 ± 0,61 a	111,95 ± 18,18 a	42,35 ± 5,03 a
Développement	57,84 ± 10,82 a	5,04 ± 1,35 a	90,38 ± 21,61 a	70,55 ± 12,55 a	17,79 ± 5,05 a	73,86 ± 8,65 a	55,78 ± 5,30 a
Maturité	646,73 ± 55,39 b	512,58 ± 79,59 b	613,26 ± 60,51 b	757,83 ± 74,96 b	653,04 ± 72,51 b	1040,08 ± 93,25 b	685,18 ± 29,62 c
Végétatif	111,07 ± 10,15 a	90,51 ± 11,13 a	158,81 ± 13,35 a	166,96 ± 17,49 a	139,01 ± 14,33 a	212,99 ± 25,92 a	146,93 ± 6,73 b
F	61,2	19,87	40,91	51,71	36,17	71,98	246,18
p	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05

Les moyennes sur les mêmes colonnes portant les mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Newman Kauls : $\alpha = 0,05$)

Tableau XIII : Effet de la phénologie du manguier sur la population de *C. cosyra* sur les sites.

Stades phénologiques	Boundiali	Ferkéssedougou	Korhogo	Niakara	Sinématiali	Tafiré	Moyenne
Floraison	42,14 ± 6,03 a	44,76 ± 8,04 a	108,18 ± 15,73 a	23,38 ± 5,83 a	151,64 ± 25,97 c	49,97 ± 16,87 a	77,45 ± 7,62 c
Développement	106,84 ± 12,20 b	58,95 ± 7,26 a	235,86 ± 33,57 b	37,11 ± 8,87 a	295,77 ± 47,54 a	446,23 ± 51,99 b	201,88 ± 15,99 a
Maturité	110,21 ± 11,10 b	160,94 ± 12,98 b	164,15 ± 22,81 ab	141,02 ± 24,65 b	388,96 ± 39,70 a	474,59 ± 43,94 b	239,09 ± 12,68 a
Végétatif	10,61 ± 1,74 a	6,52 ± 2,03 a	6,07 ± 0,98 c	9,36 ± 3,67 a	4,63 ± 0,73 b	4,89 ± 0,51 a	6,40 ± 0,55 b
F	15,53	22,54	10,41	8,3	16,91	51,81	65,07
p	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05

Les moyennes sur les mêmes colonnes portant les mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Newman Kauls : $\alpha = 0,05$)

3. Utilisation de *Oecophylla longinoda* en lutte biologique dans les vergers de manguiers

3.1. Abondance moyenne de *Oecophylla longinoda* par localité

La figure 42 montre que les fourmis oecophylles ont été plus abondantes dans les vergers de manguiers de la localité de Korhogo ($63,88 \pm 2,51b$) que les vergers de manguiers de la localité de Ferkessédougou ($62,78 \pm 3,04ab$) et de Ouangolodougou ($55,31 \pm 2,66a$). Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) ont montré une différence significative de l'abondance des fourmis suivant les localités.

3.2. Abondance moyenne de *Oecophylla longinoda* suivant les indices Peng 1, Peng 2, Offenberg et le nombre de nid

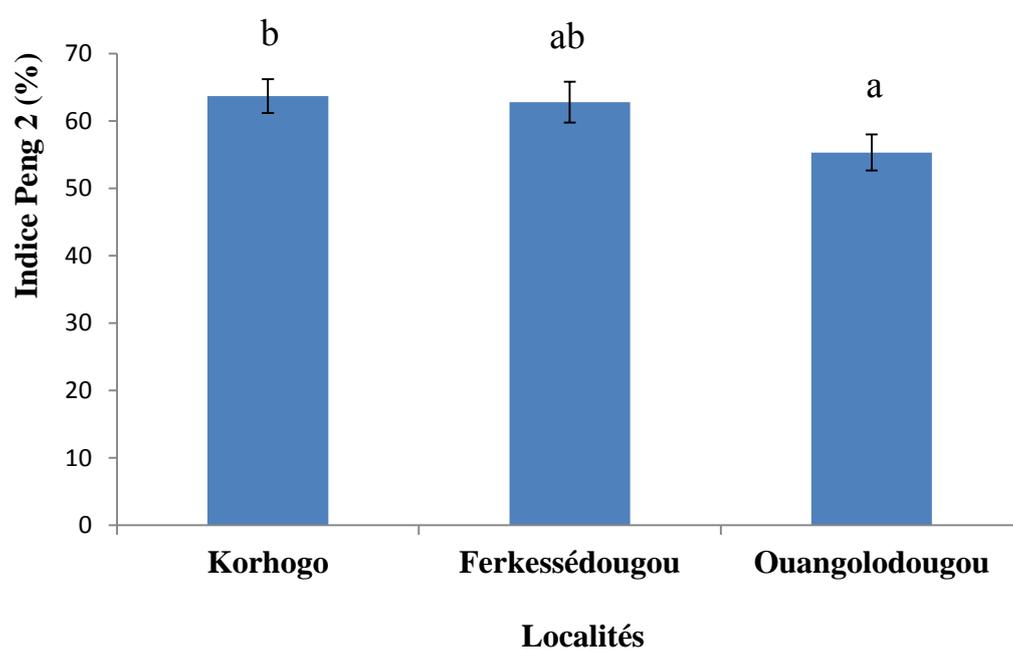
Dans les localités de Ferkessédougou, Ouangolodougou, Korhogo et dans l'ensemble des localités, la moyenne de l'indice d'abondance Peng 1 a été supérieure à celle de l'indice Peng 2, de l'indice Offenberg et du nombre de nids (Tableau XIV). Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) ont montré une différence significative des indices d'abondances suivant les localités.

3.3. Indice de variation saisonnière de *Oecophylla longinoda* dans les vergers de manguiers.

La figure 43 montre que quelque soit la localité, l'abondance des fourmis par l'indice Peng 2 (50, 69 %) et l'indice Offenberg (57,08%) varient plus dans le temps et dans l'espace que l'abondance des fourmis par l'indice Peng 1 (23,32%) et le nombre de nid (34, 98%).

3.4. Relation entre le nombre de branches et l'abondance de *Oecophylla longinoda*

Les corrélations sont significatives entre l'abondance des fourmis par l'indice Peng 1 ($r=-0,13$; $p= 0,05$), l'indice Peng 2, ($r=-0,14$; $p= 0,037$), le comptage de nids ($r=0,14$; $p= 0,0036$) et le nombre de branches principales (Figures 44a, 44b et 44c) tandis qu'il n'existe pas de corrélation entre l'abondance des fourmis par l'indice Offenberg ($r= -0,13$; $p= 0,063$) et le nombre de branches principales (Figure 44d).



Anova 1, les moyennes affectées des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (*test de Newman Kauls* : $\alpha = 0,05$)

Figure 42 : Abondance moyenne par l'indice Peng 2 dans les sites de lutte utilisant *Oecophylla longinoda*

Tableau XIV : Indices d'abondances de *Oecophylla longinoda* selon les localités

Localités	Indices d'abondances (%)			
	Indice Peng 1	Indice Peng 2	Indice Offenbergh	Nombre de nids
Ferkessédougou	76,83 ± 3,75 c	59,83 ± 3,70 b	46,63 ± 3,30 a	43,85 ± 4,90 a
Ouangolodougou	76,63 ± 3,37 d	52,14 ± 3,20 c	36,65 ± 2,35 b	24,10 ± 3,05 a
Korhogo	92,39 ± 1,75 d	73,75 ± 2,49 c	52,23 ± 2,08 b	20,87 ± 1,54 a
Tous les sites	82,19 ± 1,82 d	62,23 ± 1,91 c	45,40 ± 1,75 b	29,56 ± 2,09 a

Anova 1, au seuil de 5% les moyennes affectées des mêmes lettres suivant les lignes ne sont statistiquement différents

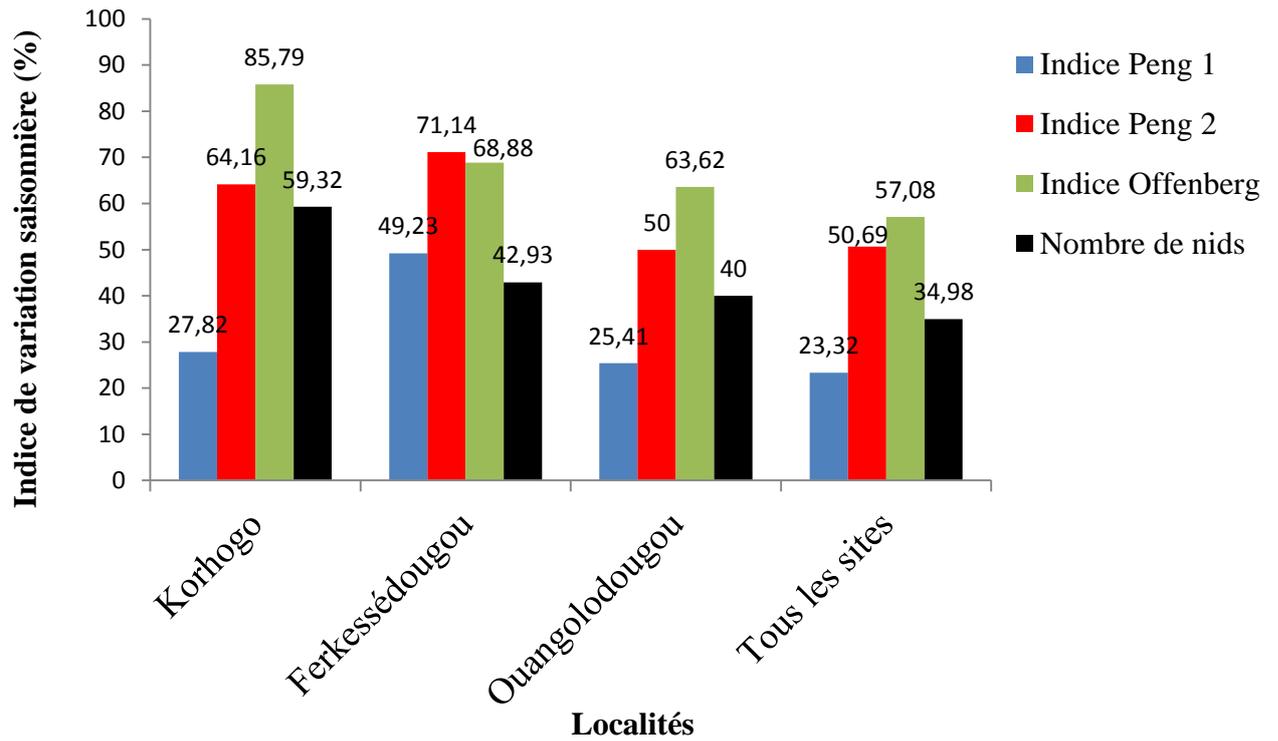


Figure 43 : Indice moyen de variation saisonnière de l'abondance de *Oecophylla longinoda* dans les vergers de manguiers selon les indices et le nombre de nids

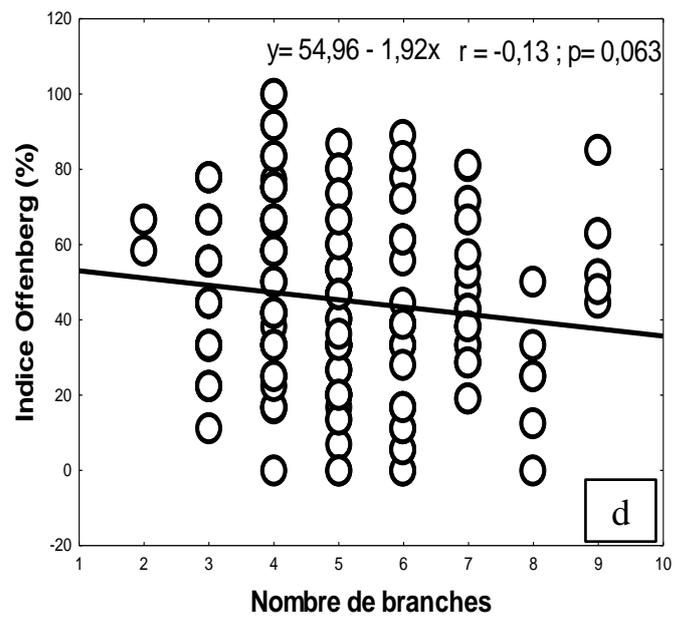
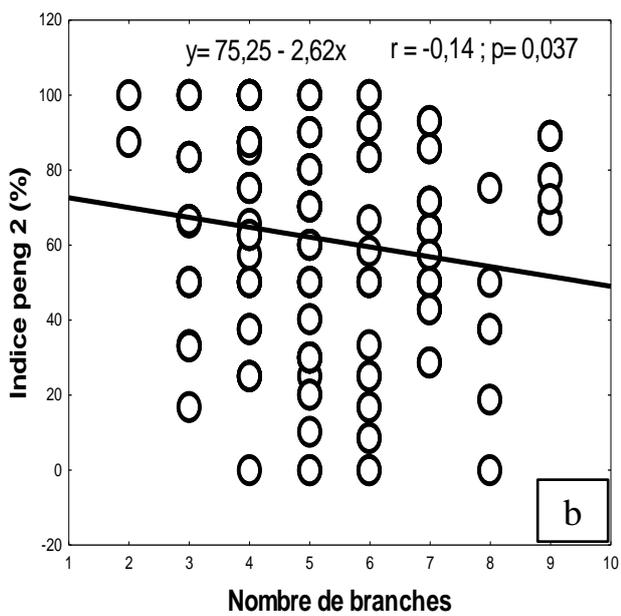
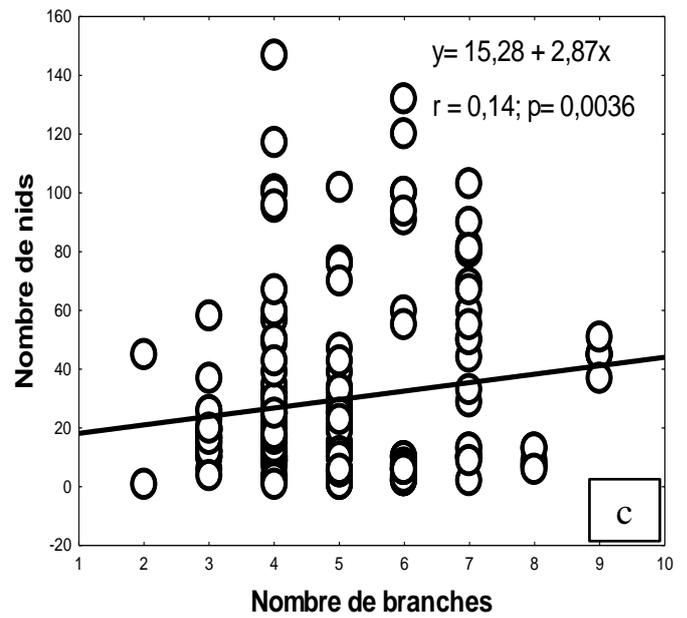
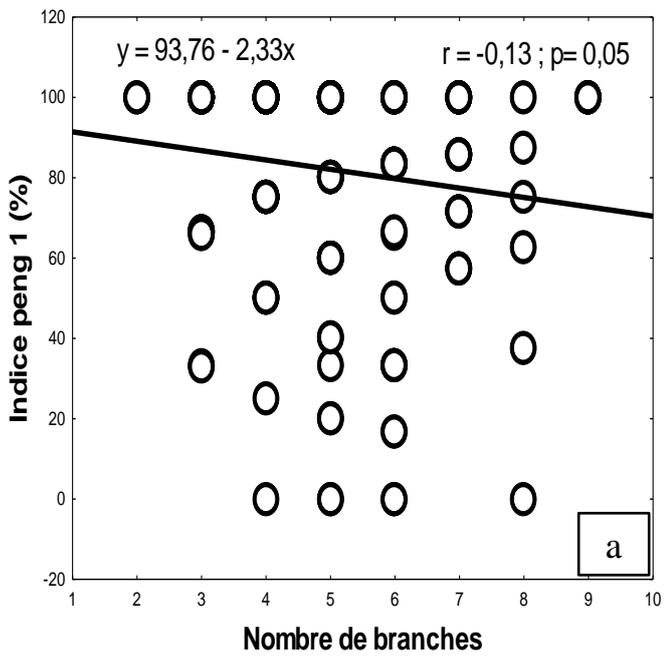


Figure 44 : Corrélation entre les méthodes de comptages de *Oecophylla longinoda* et le nombre de branches principales du manguier

3.5. Effet des traitements sur l'abondance de *Oecophylla longinoda*

Dans les vergers de manguiers de Ferkessédougou et de Korhogo (Figures 45a et 45b), on note une plus forte colonisation des arbres par les oecophylles où l'huile de neem a été appliquée. Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) ont montré une différence significative de l'abondance des fourmis oecophylles suivant les traitements.

Dans les vergers de manguiers de Ouangolodougou (Figure 45c), on note une plus forte colonisation des arbres par les oecophylles où l'huile de neem et le GF-120 ont été appliqués. Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) ont montré une différence significative de l'abondance des fourmis oecophylles suivant les traitements.

Dans l'ensemble des vergers de manguiers (Figure 45d), on note une plus forte colonisation des arbres par les oecophylles où l'huile de neem a été appliquée. Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) ont montré une différence significative de l'abondance des fourmis oecophylles suivant les traitements.

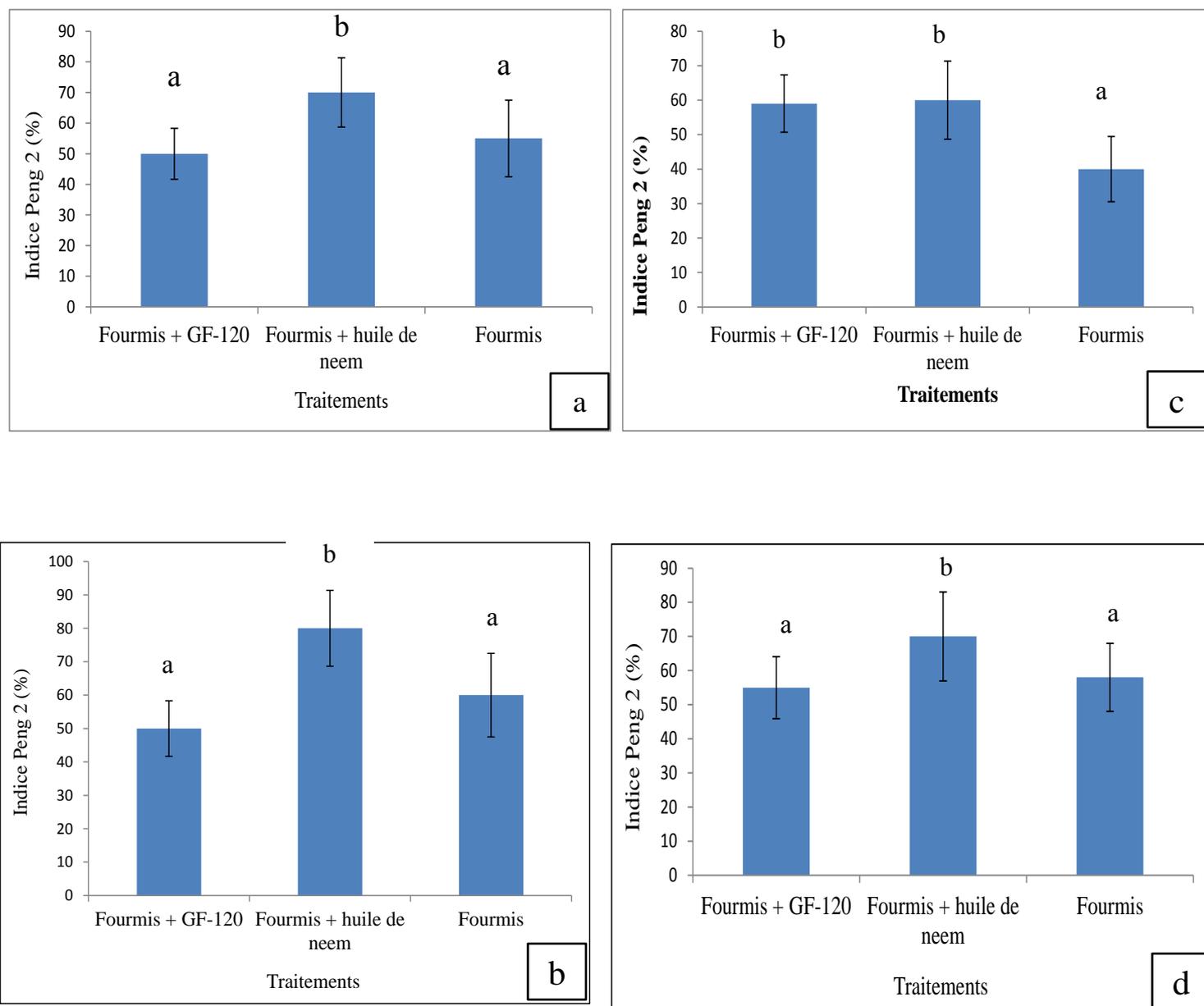
3.6. Effet des traitements sur les infestations des mouches des fruits

3.6.1. Taux d'attaque des mouches des fruits

Dans les vergers de manguiers des localités de Ferkessédougou et de Ouangolodougou (Tableau XV), les analyses statistiques ($p > 0,05$) ont montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les traitements pour le taux d'attaques.

Dans le verger de manguiers de la localité de Korhogo (Tableau XV), le taux d'attaques a été faible dans les parcelles traitées, oecophylles + huile de neem ($6,75 \pm 2,19$ %), oecophylles + GF-120 ($7,52 \pm 2,47$ %), oecophylles seul ($19,23 \pm 6,45$ %) que la parcelle témoin ($45,12 \pm 15,95$ %). Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) ont montré une différence significative entre les traitements pour le taux d'attaques.

Sur l'ensemble des sites des vergers de manguiers (Tableau XV), le taux d'attaques des mouches a été faible dans les parcelles traitées, oecophylles + huile de neem ($2,25 \pm 1,29$ individus), oecophylles + GF-120 ($2,95 \pm 1,41$ individus), oecophylles seul ($8,41 \pm 3,44$ individus) que la parcelle témoin non traitée ($23,04 \pm 8,28$ individus). Les analyses statistiques ($p \leq 0,05$) ont montré une différence hautement significative du taux d'attaque entre les traitements.



Anova 1, au seuil de 5%, les moyennes affectées des mêmes lettres ne sont pas statistiquement significative

Figure 45 : Influence des traitements sur l'abondance de *Oecophylla longinoda* par l'indice Peng 2

- a : Verger de Fekessédougou
- b : Verger de Korhogo
- c : Verger de Ouangolodougou
- d : Tous les vergers

Tableau XV : Taux d'attaques des vergers par les mouches des fruits dans les sites d'études après traitement

Traitements	Ferkessédougou	Ouangolodougou	Korhogo	Tous les sites
Oecophylles	3,33 ± 0,8 a	2,66 ± 1,33 a	19,23 ± 6,45 ab	8,41 ± 3,44 a
Oecophylles + huile de neem	0 ± 0 a	0 ± 0 a	6,75 ± 2,19 a	2,25 ± 1,29 a
Oecophylles + GF-120	0 ± 0 a	1,33 ± 0,33 a	7,52 ± 2,47 a	2,95 ± 1,41 a
Témoin	5,00 ± 2,54 a	4,00 ± 2,30 a	45,12 ± 15,95 b	23,04 ± 8,28 b
F	2,53	1,33	4,18	4,43
p	0,12	0,32	0,04	0,01

Les moyennes dans les mêmes colonnes portant les mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Newman Kauls : $\alpha = 0,05$)

3.6.2. Niveau d'infestation des vergers de manguiers

Dans les vergers de manguiers des localités de Ferkessédougou et de Ouangolodougou (Tableau XVI), les analyses statistiques ont montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les traitements pour le niveau d'infestation ($p > 0,05$).

Dans le verger manguiier de la localité de Korhogo (Tableau XVI), le niveau d'infestation a été faible dans les parcelles traitées, oecophylles + huile de neem ($3,13 \pm 0,37$ pupes/kg), oecophylles + GF-120 ($4,10 \pm 0,74$ pupes/kg), oecophylles seul ($11,27 \pm 0,43$ pupes/kg) et chez la parcelle témoin, il est estimé à $123,04 \pm 44,57$ pupes/kg. Les analyses statistiques ont montré une différence hautement significative entre les traitements ($p \leq 0,01$).

Sur l'ensemble des sites (Tableau XVI), le niveau d'infestation a été plus faible dans les parcelles traitées, oecophylles + huile de neem ($1,04 \pm 0,53$ pupes/kg), oecophylles + GF-120 ($1,48 \pm 0,69$ pupes/kg), oecophylles seul ($4,24 \pm 1,78$ pupes/kg) comparativement à la parcelle témoin ($47,97 \pm 22,91$ pupes/kg). Les analyses statistiques ont montré une différence hautement significative entre les traitements ($p \leq 0,01$).

3.6.3. Pourcentage de protection des vergers de manguiers

Dans les vergers de manguiers, le pourcentage de protection des vergers contre les mouches a été plus élevé dans les parcelles traitées que dans les parcelles non traitées (Tableau XVII).

A Ferkessédougou, le traitement oecophylles + huile de neem et le traitement oecophylles + GF-120 ont conféré une meilleure protection (100 %) que le traitement oecophylles seul (99,17%).

A Ouangolodougou, le traitement oecophylle + huile de neem a protégé les manguiers à 100 % que le traitement oecophylles + GF-120 (97,22 %) et le traitement oecophylles seul (88,61 %).

A Korhogo, le traitement oecophylles + huile de neem a protégé les manguiers (95,89 %) que le traitement oecophylles + GF-120 (95,47 %) et le traitement oecophylles seul (84,89 %).

Dans l'ensemble des localités, le traitement oecophylles + huile de neem a protégé les manguiers (98,63 %) que le traitement oecophylles + GF-120 (98,49 %) et le traitement oecophylles seul (90,89 %).

Tableau XVI : Niveau d'infestation des vergers par les mouches des fruits sur les sites d'études après traitement

Traitements	Ferkessédougou	Ouangolodougou	Korhogo	Tous les sites
Oecophylles	0,22 ± 0,05 a	1,24 ± 0,77 a	11,27 ± 0,43 a	4,24 ± 1,78 a
Oecophylles + huile de neem	0 ± 0 a	0 ± 0 a	3,13 ± 0,37 a	1,04 ± 0,53 a
Oecophylles + GF-120	0 ± 0 a	0,33 ± 0,08 a	4,10 ± 0,74 a	1,48 ± 0,69 a
Témoin	14,73 ± 7,67 a	6,14 ± 3,10 a	123,04 ± 44,57 b	47,97 ± 22,91 b
F	3,64	3,15	6,89	3,96
p	0,06	0,08	0,01	0,01

Les moyennes dans les mêmes colonnes portant les mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Newman Kauls : $\alpha = 0,05$)

Tableau XVII : Pourcentage de protection des vergers sur les sites d'études après traitement

Traitements	Ferkessédougou	Ouangolodougou	Korhogo	Tous les sites
Oecophylles	99,17	88,61	84,89	90,89
Oecophylles + huile de neem	100	100	95,89	98,63
Oecophylles + GF-120	100	97,22	95,47	98,49

III.2. Discussion

Les pièges de type Tephri trap contenant les attractifs et les insecticides mis en place dans l'ensemble des vergers de manguiers du nord de la Côte d'Ivoire ont permis de capturer quatorze espèces des mouches des fruits. La plupart d'entre elles telle que *Bactrocera dorsalis* et *Ceratitis cosyra* ont été signalées dans d'autres régions d'Afrique (Mwatawala *et al.*, 2006). Parmi les espèces capturées, *Bactrocera dorsalis* et *Ceratitis cosyra* ont été plus abondantes. La forte abondance de ces deux espèces serait d'une part liée à la présence des vergers de manguiers autour des sites et d'autre part à la présence des plantes hôtes alternatives à l'intérieur et à proximité des sites. Selon N'dépo *et al.* (2010), la mangue est le fruit le plus apprécié par les mouches des fruits en particulier *Bactrocera dorsalis*. En outre selon Ivan *et al.* (2008), *Bactrocera dorsalis* et *Ceratitis cosyra* sont des espèces polyphages qui s'attaquent à une grande variété de fruits.

La faible abondance de *Ceratitis cosyra* par rapport à *Bactrocera dorsalis* dans les pièges Tephri trap pourrait s'expliquer par une intense compétition interspécifique entre *B. dorsalis* et *C. cosyra*. En effet, selon Ekessi *et al.* (2009), il existerait une compétition alimentaire interlarvaire de *Bactrocera dorsalis* envers *Ceratitis cosyra*.

Les pièges Tephri trap contenant les attractifs sexuels ont montré que *B. dorsalis* a été abondante dans les pièges contenant le méthyl eugénol, *Ceratitis cosyra* dans les pièges contenant le Terpinyl acetate et *Dacus punctatifrons* dans les pièges contenant le Cuelure. Quant à *Ceratitis capitata* et *Ceratitis fasciventris*, elles ont été abondantes dans les pièges contenant le Trimedlure. La forte abondance de ces espèces dans les pièges contenant lesdits attractifs sexuels serait due à la spécificité de ces attractifs vis à vis des espèces capturées. En effet, selon Coulibaly (2016), le Méthyl eugénol s'est montré le plus efficace des attractifs fournissant ainsi des informations sur l'abondance de *Bactrocera dorsalis* sur une grande distance. Aussi, il a été le seul attractif capable d'attirer les mâles de *Ceratits breinii*. Nos résultats sont similaires à ceux de Vayssières *et al.* (2004) qui ont montré que le Méthyl eugénol était le seul attractif sexuel capable d'attirer les mâles de *C. breinii*. Aussi, l'abondance des espèces *Zeugodacus cucurbitae* et *Dacus punctatifrons* dans les pièges contenant le Cuelure serait due à la présence des cucurbitaceae autour des sites. Selon De Meyer (2001), les mouches des fruits du genre *Dacus* et *Zeugodacus* sont essentiellement inféodées aux légumes fruits de la famille des cucurbitaceae. En outre, les pièges contenant les attractifs sexuels ont attiré des insectes qui ne sont pas des mouches des fruits et même des acariens. L'attractivité de ces insectes serait due à la présence des mouches mortes dans les

pièges et la couleur jaune des pièges. En effet, selon Vergas *et al.* (2013), la présence des drosophiles est due aux mouches mortes dans les pièges. Aussi, selon Ndayizeye *et al.* (2017), l'humidité dans les pièges et la couleur jaune des pièges ont elles également attiré les espèces qui ne sont pas des mouches des fruits.

Dans les vergers de manguiers du nord de la Côte d'Ivoire, le pic de *C. cosyra* précède celui de *B. dorsalis*. La première espèce atteint un pic de populations pendant la saison sèche tandis que la deuxième atteint le sien en période des pluies. En effet, le décalage de la période d'apparition des pics d'abondances des deux espèces serait lié à leur statut et période d'apparition. L'espèce, *Ceratitis cosyra* est précoce et apparaît entre mi mars et début avril qui coïncide avec période des Amelie. Quant à l'espèce *Bactrocera dorsalis*, elle est semi-tardive et apparaît à mi avril qui est le début de la campagne mangue et des premières pluies. A cette période de l'année, la mangue a atteint sa maturité physiologique et serait donc exposée aux piqûres des mouches. Selon Vayssières *et al.* (2008 ; 2009), les espèces de cératites sont plus adaptées aux conditions sèches alors que *B. dorsalis* préfère des conditions plus humides.

La forte abondance de l'espèce *C. cosyra* aux stades floraison et développement de la mangue serait due à l'entrée en production de certaines variétés précoces telles que la variété Amélie et la présence de certaines plantes autour des vergers de manguiers. Selon, Vayssières *et al.* (2005), le genre *Ceratitis* est présent en mars sur les variétés précoces. Aussi, selon Ouédraogo (2011), l'importance des dégâts des Tephritidae sur la mangue augmente avec le nombre des plantes ligneuses hôtes de ces insectes autour du verger. La grande diversité des ligneux fruitiers autour des vergers traduit la disponibilité de ressources alimentaires potentielles utilisables par ces ravageurs. Quant à l'abondance de l'espèce *B. dorsalis* aux stades maturité de la mangue et végétatif du manguiers, elle serait due aux caractéristiques de la mangue Kent qui est un fruit charnu à la différence des autres qui sont pour la plupart des fruits secs (gousses, siliques, samares, akènes). Selon Fletcher (1987) la prédisposition des fruits des plantes hôtes pour l'oviposition et le développement des larves des mouches des fruits explique l'attraction des mouches vers elles. Aussi, la diversité des caractéristiques physico-chimiques de ces fruits peut expliquer les différences d'incidence des dégâts et de taux d'infestation notées pour ces différentes espèces (Metcalf, 1990).

La position des pièges suivant les quatre directions cardinales a montré que les mouches n'ont pas d'entrées de prédilection dans les vergers de manguiers. Quelque soit la direction cardinale, les mouches ont été abondantes dans les pièges. Cette forte abondance des mouches serait d'une part due au fait que les vergers choisis sont situés dans les grandes zones de

production de mangue de la région nord et d'autre part, il s'agirait de l'effet d'actions élevées des attractifs sexuels pour les mâles des différentes espèces. En effet, selon Vayssières *et al.* (2009), les attractifs sexuels attirent les mouches des fruits sur une longue distance contrairement aux appâts alimentaires qui diffusent sur une petite distance. Outre, les caractéristiques biologiques de ces espèces, leur odorat bien développé permet de sentir l'odeur des paraphéromones à distance. En effet, les espèces polyphages, multivoltines tropicales et subtropicales, sont d'excellents voiliers et ont une forte mobilité. La distance maximale enregistrée pour des individus marqués sont de 200 km pour *Zeugodacus cucurbitae* (Miyahara & Kawai, 1979), 65 km pour *Bactrocera dorsalis* (Steiner *et al.*, 1962), 90 km pour *Dacus tryoni* (Macfarlane *et al.*, 1986) et 40 km pour *Bactrocera zonata* (Qureshi *et al.*, 1975).

L'abondance des mouches dans les localités de Tafiré et Sinématiali serait dû au fait que ces localités en plus d'être les grandes zones de production de mangues sont constituées de fermes pour l'élevage, de plantations d'agrumes et de vergers d'anacardiens autour du champ. Les facteurs climatiques tels que la température minimale, l'humidité relative minimale et les fortes pluviométries ont contribué à l'abondance de *B. dorsalis* dans les vergers de manguiers. En effet, au cours de cette période de l'année, il y'a une abondante source de nourriture (les mangues tombées et la disponibilité d'autres plantes hôtes) ainsi que l'humidité relative de l'air et les pluies à cette période de l'année, contribuent-elles à l'incubation des œufs et une importante émergence des mouches adultes des pupes dans le sol. Ces résultats sont conformes avec ceux de Minhobo *et al.* (2019) qui ont montré que les fortes précipitations augmentent la population de *B. dorsalis*. Selon Bateman (1972), la température joue un rôle positif et négatif sur l'abondance des Tephritidae à travers ses effets sur les taux de développement, de mortalité et de fécondité de ces insectes. *B. dorsalis* est une nouvelle espèce invasive originaire du Sri Lanka qui vit dans des conditions plus humides que *C. cosyra* dans son milieu naturel (Drew *et al.*, 2005). En effet, cette espèce serait abondante en saison pluvieuse ou les conditions sont plus favorables pour son développement. Quant à l'espèce *C. cosyra*, elle a résisté aux différentes températures et humidités relatives. En effet, cette espèce a été découverte en Afrique et serait habituée aux conditions climatiques. Selon Carolle *et al.* (2002), *C. cosyra* est une espèce endémique en Afrique et est adaptée aux conditions sèches de l'environnement (Vayssières *et al.*, 2009).

La forte variation de l'abondance des fourmis oecophylles en utilisant l'indice Peng 2 et l'indice Offenberg serait due à une repartition hétérogène des fourmis oecophylles dans le temps contrairement à l'abondance des fourmis par l'indice Peng 1 et le nombre de nids qui

ont évolué de manière constante. En effet, nos résultats sont presque similaires à ceux de Wargui *et al.* (2015) qui ont montré que l'indice Peng 2 et l'indice Offenbergl pouvaient être utilisés pour suivre la dynamique de *Oecophylla longinoda* dans les vergers d'anacardiens du fait de leur indice de variation saisonnière élevés.

Le nombre de branches influence l'abondance des fourmis oecophylles avec l'indice Peng 1 et l'indice Peng 2. En effet, pour ces indices, les manguiers avec de nombreuses branches principales, diminuent l'abondance des fourmis oecophylles sur les arbres. Selon Wargui *et al.* (2015), les manguiers disposant de plusieurs branches principales pourraient influencer la présence des fourmis oecophylles. Le nombre de branches influence le nombre de nids de *Oecophylla longinoda*. Les arbres avec beaucoup de branches principales portent de nombreux nids. En effet, les manguiers avec beaucoup de branches principales pourraient avoir de nombreuses feuilles qui permettraient la construction des nids. Selon, Lokker (1990), l'apparition des jeunes feuilles flexibles et de nectar à certaines phases de développement des plantes hôtes, par exemple, l'anacardier peuvent influencer temporairement l'abondance des fourmis oecophylles.

Nos résultats ont montré que les fourmis oecophylles ont été abondantes dans les vergers de manguiers du nord de la Côte d'Ivoire à plus de 50 %. Cette abondance pourrait assurer une bonne protection des vergers de manguiers. Selon Peng *et al.* (2008), l'abondance des fourmis oecophylles par arbre doit excéder 50 % afin d'avoir une protection efficace des vergers d'anacardiens. La forte abondance des fourmis oecophylles dans les différentes localités pourrait être due aux facteurs climatiques favorables, à la disponibilité des plantes-hôtes et à la forte présence de proies dans ces vergers. Selon Lokker (1990) les facteurs climatiques (la température, la pluviométrie et l'humidité relative) peuvent influencer l'abondance des fourmis oecophylles. En Outre, le manguiers s'avère être une plante hôte privilégiée des fourmis oecophylles grâce à ces feuilles jeunes et légères pour la construction des nids mais aussi à cause de la prédation que mènent ces fourmis dans le manguiers. La présence de beaucoup de proies et de sécrétions des aphidiens (pucerons et cochenilles) sur les pousses respectives des hôtes est considérée promouvoir la stabilité et l'augmentation des colonies de fourmis oecophylles (Van Mele & Cuc, 2007). En effet, les aphidiens produisent du miellat sucré et de la protéine servant de nourriture pour les oecophylles qui en retour assurent leur protection contre des prédateurs, dont les coccinelles (Van Mele & Cuc, 2007).

Les traitements à l'huile de neem et au success appât (GF-120) ont joué un rôle positif sur la population des fourmis oecophylles dans les vergers de manguiers. Les traitements ont

maintenu l'équilibre des fourmis sur l'arbre en augmentant leurs populations. Selon Peng & Christian (2005a), la combinaison de fourmis oecophylles et de substance chimique à faible dose à base de potassium liquide et d'huile blanche n'a pas d'effet sur les fourmis oecophylles mais sont nuisibles sur les insectes ravageurs. En effet, la dose de 1 litre/ha à la fréquence de traitement de 10 jours a joué un rôle positif sur l'abondance des fourmis oecophylles. Après chaque traitement, les fourmis oecophylles s'approchaient et suçaient les fines gouttelettes d'appât alimentaire et de substance naturelle. Cependant elles étaient plus concentrées sur les gouttelettes de la substance naturelle que sur l'appât alimentaire. En Outre, les fourmis oecophylles ont été plus abondantes dans le traitement neem que le traitement Success appât. Ceci serait la preuve que l'huile de neem est une substance naturelle non nocive pour les oecophylle. Selon Faye (2010), l'azachdirachtine est un insecticide naturel de la famille des terpénoides qui lui confère des propriétés intrinsèques non toxique. Quant au Success appât, il a été moins apprécié par les fourmis oecophylles que l'huile de neem. En effet, l'appât alimentaire contient un insecticide (dont le principe actif est le spinosad) à faible concentration qui tue les mouches lentement une fois après ingestion de l'aliment (Dow Agrosiences, 2001). Selon Peng & Christian (2006), la combinaison de fourmis oecophylles et des produits chimiques non nocifs réduits le nombre de larves des mouches des fruits dans les mangues et de cette façon diminue significativement le niveau de rejet des fruits.

La présence des fourmis oecophylles dans les vergers de manguiers a permis de réduire de façon considérable les dégâts des mouches des fruits. Le niveau d'infestation dans le traitement oecophylles a été faible protégeant ainsi les vergers de manguiers. Selon Peng & Christian (2005b), les fourmis oecophylles ont augmenté de 70 % les revenus des producteurs comparés aux programmes de traitement conventionnel dans les vergers de manguiers du nord de l'Australie. L'efficacité des fourmis oecophylles à protéger les cultures est comparable à celle des pesticides chimiques (Offenberg, 2015). *Oecophylla longinoda* est un agent de control biologique efficace pour un programme de gestion à long terme et comparable à l'insecticide Dudumida (Imidaclopride) dans la lutte contre *Sternochetus mangifera* et peut être appliqué dans les plantations de manguier (Abdulla *et al.*, 2016). Au Benin, il a été montré que les fourmis oecophylles ont amélioré la qualité et la durée de conservation de la mangue (Sinzogan *et al.*, 2008). *Oecophylla smaragdina* a augmenté le profit net des producteurs dans les vergers de citron (Offenberg *et al.*, 2013) et de mangue (Peng & Christian, 2005a ; Offenberg *et al.*, 2013) dans le nord de l'Australie comparé aux parcelles traitées aux pesticides chimiques (Peng *et al.*, 2004). Pareillement, Peng & Christian (2013)

ont rapporté que les taches des fourmis oecophylles sur les fruits sont positivement corrélées avec la qualité intérieur du fruit, ces taches ne provoquent pas la pourriture du fruit et peuvent être utilisées comme indicateur de sécurité et de bonne qualité de fruit. En Côte d'Ivoire, des études similaires sur le cocotier ont montré que *Oecophylla longinoda* a réduit les dégâts de la punaise *Pseudotheraptus devastans* Distant (Allou *et al.*, 2006).

La lutte intégrée utilisant les fourmis oecophylles a réduit considérablement les dégâts des mouches des fruits comparés à *Oecophylla longinoda* seul. En effet, en plus des actions qu'exercent les fourmis sur les mouches par la predation et la sécrétion de substance chimique, les biopesticides (l'huile de neem et le Succes appât) ont contribué à la réduction des mouches des fruits dans les vergers de manguiers par leurs actions repulsives pour l'huile de neem et d'aliment empoisonné pour le Success appât. Selon Vayssière *et al.* (2009), la réduction des infestations est due aux nombre d'applications et à la date du premier traitement. L'huile de neem a présenté une activité insecticide sur les adultes des mouches des fruits. Ces activités insecticides des extraits de neem sont attribuées à la présence dans différentes parties de la plante de plusieurs composés de la famille des terpénoïdes tels que l'azadirachtine, la nimbine, la salanine, la déacétylnimbine et la déacétylsalanine (Faye, 2010). En effet, selon Schmitterer (1995), la capacité du neem à repousser les insectes a été signalée pour la première fois dans la littérature scientifique en 1928 et 1929 par deux chercheurs indiens qui ont utilisé 0,001 % d'une suspension aqueuse de graine de neem pour repousser des criquets pèlerins. Les effets toxique et répulsif du neem pourraient dépendre de leur composition chimique et du niveau de sensibilité des insectes. Selon Mouffok *et al.* (2008), l'azadirachtine s'est révélée efficace sur le charançon du pin blanc qui est un Coléoptère. Ainsi de cette expérimentation, les analyses ont-elles révélé des différences significatives entre les traitements avec un nombre élevé des mouches des fruits dans le témoin qui n'a pas été pulvérisé. Ainsi, l'azadirachtine provoquerait plus de 90 % des effets de la plupart des insecticides conventionnels. Ce principe actif naturel ne tue pas les insectes, du moins pas immédiatement, mais agit comme répulsif (anti appétant), perturbe leur croissance et leur reproduction. En effet, L'azadirachtine semblerait bloquer l'ecdysone, la sécrétion de ces hormones vitales et la croissance des insectes. Les insectes ne peuvent pas muer, et c'est ce qui freine leur cycle de vie (Mouffok *et al.*, 2008). Quant au Success appât, c'est un appât alimentaire à base d'insecticide (le spinosad) à faible dose qui tue les mouches après ingestion. Cet appât alimentaire est beaucoup utilisé dans la lutte contre les mouches des fruits dans les vergers de manguiers. En Côte d'Ivoire, les études conduites par N'Dépo (2010) ont

montré que le success appât a réduit les infestations des mouches des fruits dans les vergers de manguiers. Vayssière *et al.* (2009) ont montré que le niveau d'infestation des mouches des fruits dans les vergers de manguiers au Bénin était de 81 % en 2006 après 7 semaines d'application et 89 % en 2007 après 10 semaines d'application. La combinaison entre les fourmis, la substance naturelle et l'appât alimentaire renforce efficacement la lutte contre les insectes ravageurs de cultures. Par exemple, Peng & Christian (2005a) ont signalé que les fourmis oecophylles utilisées dans un programme de lutte intégré avec les produits chimiques non toxiques (huile blanche et potassium liquide) pouvaient s'avérer plus efficace qu'en utilisant les fourmis oecophylles seules car utilisées seules, celle-ci étaient incapables de réduire la population entière des insectes nuisibles. Selon Anato *et al.* (2015), le traitement Fourmis + GF-120 a permis d'obtenir le rendement le plus élevé de noix de cajou que les autres traitements comparés aux témoins.

La combinaison de fourmis oecophylles et de l'huile de neem a plus protégé la mangue que la combinaison de fourmis oecophylles et du GF-120 car l'huile de neem a favorisé l'abondance des fourmis oecophylles dans les vergers de manguiers contrairement aux Success appât (GF-120).

**CONCLUSION, PERSPECTIVES ET
RECOMMANDATIONS**

Ce travail a permis de mettre en évidence la méthode de lutte intégrée incluant l'utilisation de *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera: Formicidae), de l'huile de neem, et de Success appât dans la lutte contre les mouches des fruits du manguier au nord de la Côte d'Ivoire. Les résultats obtenus ont montré que dans les pièges contenant les attractifs sexuels, 1 039 118 individus adultes repartis en 16 espèces de la famille des Teplitidae et 3 insectes appartenant à l'ordre des Coleoptères, des Diptères et des Hyménoptères ainsi que des Acariens ont été capturés. Parmi ces espèces, *B. dorsalis* et *C. cosyra* ont été les plus abondantes dans tous les sites. La surveillance des mouches a montré que *B. dorsalis* a été abondante dans les pièges contenant le Méthyl eugénol, *C. cosyra* dans les pièges contenant le Terpinyl acétate, *D. punctatifrons* dans les pièges contenant le Cue lure et *C. capitata* et *C. fasciventris* dans les pièges contenant le Trimedlure.

La variation saisonnière des populations des mouches a montré que les mouches ont été présentes à presque toutes les périodes de l'année avec les fortes infestations de *C. cosyra* aux stades 'développement de la mangue' et 'maturité de la mangue' et de *B. dorsalis* aux stades 'maturation de la mangue' et 'développement végétatif du manguier'.

Les facteurs climatiques n'ont pas eu d'effet sur la population de *C. cosyra* mais plutôt sur celle de *B. dorsalis*. En effet, les températures basses et les faibles humidités relatives ainsi que les fortes pluies ont augmenté sa population.

Les méthodes utilisées pour évaluer l'abondance des fourmis oecophylles ont montré une forte abondance de ces fourmis dans les vergers de manguiers du nord de la Côte d'Ivoire. En effet, ces méthodes doivent être utilisées pour évaluer l'abondance des fourmis oecophylles dans les vergers de manguier. En plus de déterminer l'abondance, l'indice Peng 2 et l'indice Offenberg doivent être utilisés pour suivre la dynamique de *Oecophylla longinoda* dans les vergers de manguier. En Outre, les fourmis ont été compatibles avec le Success appât et l'huile de neem.

La lutte intégrée combinant les fourmis oecophylles, l'huile de neem et du Success appât a réduit considérablement les dégâts des mouches de fruits comparés aux fourmis oecophylles seul. Dans la recherche des stratégies alternatives de contrôle des insectes respectant l'environnement, il serait utile d'intégrer la combinaison de fourmis oecophylles et de Success appât (GF-120) ou de fourmis oecophylles et de l'huile de neem dans les vergers de manguier pour lutter plus efficacement contre les mouches des fruits.

La problématique de la lutte intégrée utilisant *Oecophylla longinoda* dans la lutte contre les mouches des fruits est loin d'être cernée. Cependant, les points suivants permettraient de compléter la présente étude :

- étudier l'impact de *Odontomachus troglodytes* dans la lutte contre les mouches des fruits ;
- identifier toutes les plantes-hôtes des mouches des fruits ;
- étudier plusieurs combinaisons de lutte intégrées incluant *Oecophylla longinoda* ;
- étudier l'attractivité des aliments locaux en tant que appât alimentaire pour maintenir la population de *Oecophylla longinoda* sur les arbres ;

Il s'avère nécessaire de faire des recommandations à l'endroit des partenaires de la filière mangue afin de protéger et adopter les fourmis oecophylles dans les vergers de manguiers.

A l'égard des producteurs et exportateurs

- préserver les fourmis oecophylles dans les vergers de manguiers.
- privilégier les fourmis oecophylles en lieu et place des insecticides chimiques dans la lutte contre les mouches des fruits dans les vergers de manguiers.
- considérer les mangues protégées par les fourmis oecophylles comme des mangues saines.
- combiner les fourmis oecophylles avec le Success appât (GF-120) ou l'huile de neem pour mieux lutter contre les mouches des fruits dans les vergers de manguiers.

A l'égard des pouvoirs publics et de l'Etat

- adopter une législation sur l'adoption des fourmis oecophylles dans les vergers de manguiers.
- sensibiliser les producteurs sur l'utilisation et l'importance des fourmis oecophylles dans les vergers de manguiers par l'utilisation des fiches techniques et la projection de film.

RÉFÉRENCES

- Abdulla N.R., Rwegasira G.M., Vagn Jensen K.M., Mwatawala M.W. & Offenberg J. (2016). Control of mango seed weevils (*Sternochetus mangiferae*) using the african weaver ant *Oecophylla longinoda* latreille (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Applied Entomology*, 140 (7) : 128-149.
- Adandonon A., Vayssières J.-F., Sinzogan A. & Van Mele P. (2009). Density of pheromone sources of the weaver ant *Oecophylla longinoda* affects oviposition behaviour and damage by mango fruit flies (Diptera: Tephritidae). *International Journal of Pest Management*, 55 : 285-292.
- Akasey R.P. & Daubrey A. (1992). Le guide de l'agriculteur en Côte-d'Ivoire. Edition PRAT/EUROPA, 3 : 282 p.
- Aketarawong N., Bonizzoni M. & Thanaphum S. (2007). Inference on the population structure and colonization process of the invasive oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Molecular Ecology*, 16 : 3522-3532.
- Allou K., Doumbia M. & Diallo H.A. (2006). Influence de trois facteurs sur le peuplement d'oecophylles dans la lutte biologique contre la punaise du cocotier en basse Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 18 : 33-40.
- Anato F., Wargui R., Sinzogan A., Offenberg J., Adandonon A., Kossou D. & Vayssières J. F. (2015). Reducing losses inflicted by insect pests on cashew, using weaver ants as efficient biological control agent. *Agricultural and Forest Entomology*, 7 p.
- Anonyme (1983). Index phytosanitaire : France, Afrique méditerranéenne et tropicale. Dix-neuvième édition française, Association de Coordination Technique Agricole, Paris, (France), 576 p.
- Anonyme (2015). Les politiques agricoles à travers le monde. [http:// agriculture.gouv.fr/politiques-agricoles-fiches-pays](http://agriculture.gouv.fr/politiques-agricoles-fiches-pays). Consulté le 11 février 2020.
- Appiah E.F., Ekesi S., Afreh-Nuamah K., Obeng-Ofori D. & Mohamed S.A. (2014). African weaver ant-produced semiochemicals impact on foraging behavior and parasitism by the Opiine parasitoid, *Fopius arisanus* on *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae). *Biological Control*, 79 : 49-57.
- Arbonnier M. (2000). Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Edition CIRAD, 539 p.
- Assunção M.A., Torezan-Silingardi H.M. & Del-Claro K. (2014). Do ant visitors to extrafloral nectaries of plants repel pollinators and cause an indirect cost of mutualism? *Flora Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 209 : 244-249.

- Ativor I.N., Afreh-Nuamah K., Billah M.K. & Obeng-Ofori D. (2012). Weaver Ant, *Oecophylla longinida* (Latreille) (Hymenoptera: Formicidae) Activity Reduces Fruit Fly Damage in Citrus Orchards. *Journal of Agriculture and Technology*, A (2) : 449-458.
- Atlas du Sénégal (2000). Les Editions J.A. Paris (France), 16-19.
- Barbet A. (2000). Suivi des populations de *Ceratitis* spp. (Diptera: Tephritidae) au nord de la Côte d'Ivoire dans la perspective d'une lutte raisonnée en verger de manguiers. Mémoire d'Ingénieur des Techniques Agricoles, Montpellier (France), 52 p.
- Barbault R. (1992). Écologie des peuplements, structure, dynamique et évolution. Masson, Paris (France), 273 p.
- Bateman M.A. (1968). Determinants of abundance in a population of the Queensland fruit fly. *Symposium of the Royal Entomological Society of London*, 4 : 119-31.
- Bateman M.A. (1972). The ecology of fruit flies. *Annual Review of Entomology*, 17 : 493-518.
- Béné J.C.K., Koné I., Gonédélé Bi S., Bitty E.A., Ouattara K., Akpatou K.B., N'Guessan K.A. & Koffi D.A. (2012). The diurnal primate community of the Tanoé Forest : species composition, relative abundance, distribution, polyspecific associations and conservation status International. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 6 (1) : 51-64.
- Blondel J. (1975). L'analyse des peuplements d'oiseaux, éléments d'un diagnostic écologique . La méthode des Echantillonnages Fréquentiels Progressifs (E. F. P.). *La Terre et la Vie*, 29 : 533-589.
- Bompard J.M. (2009). Taxonomy and Systematics. In : Litz RE, ed. *The Mango: Botany, Production and Uses*, 2nd edition. Wallingford, UK : Centre for Agricultural Bioscience International (CABI), 19-41.
- Boulahia-Kheder S., Trabelsi I. & Aouadi N. (2012). From chemicals to IPM against the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). In: Soloneski, S. (Ed.), *Integrated Pest Management and Pest Control- Current and Future Tactics*. IntechOpen, Rijeka, Croatia, pp. 301-320.
- Brévault T., Duyck P.F. & Quilici S. (2008). Life-history strategy in an oligophagous Tephritid : the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. *Ecological Entomology*, 33 : 529-536.

- Butterworth J.H. & Morgan E.D. (1968). Isolation of a substance that suppresses feeding in locusts. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, 23-24.
- Carroll L.E., White I.M., Freidberg A., Norrbom A.L., Dallwitz M.J. & Thompson F.C. (2002). *Pest Fruit Flies of the World : Identification, Descriptions, Illustrations, and Information Retrieval*, Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS). Available online, 196 p.
- Castillo M-A., Moya P., Hernández E. & Primo-Yufera E. (2000). Susceptibility of *Ceratitidis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) to entomopathogenic fungi and their extracts. *Biological Control*, 19 : 274-282.
- Chailleux A., Bearez P., Pizzol J., Amiens-Desneux E., Ramirez-Romero R. & Desneux N. (2013a). Potential for combined use of parasitoids and generalist predators for biological control of the key invasive tomato pest *Tuta absoluta*. *Journal of Pest Science*, 86 : 533-541.
- Chailleux A., Biondi A., Han P., Tabone E. & Desneux N. (2013b). Suitability of the pest-plant system *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) tomato for *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitoids and insights for biological control. *Journal of Economic Entomology*, 106 : 2310-2321.
- Chouibani M., Ouizbouben A. & Kaack H. (2001). *Ceratitidis capitata* Wied (Diptera: Tephritidae). In : Direction de la Protection des Végétaux et des Contrôles Techniques et de la Répression des Fraudes GT (édition) Protection intégrée en agrumiculture, Rabat (Maroc), 23-71.
- Chueca P., Montón H., Luís Ripollés J., Castañera P., Moltó E. & Urbaneja A. (2007). Spinosad bait treatments as alternative to malathion to control the Mediterranean fruit fly *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) in the Mediterranean Basin. *Journal of Pesticide Science*, 32 : 407-411.
- CIRAD (2010). La mangue, sa culture, le chutney de mangue Importations. *FruiTrop*, 15 p.
- Clausen C.P., Clancy D.W. & Chock Q. (1965). Biological control of the oriental fruit fly (*Dacus dorsalis* Hendel) and other fruit flies in Hawaii. US Government Print Office.
- Coulibaly A. (2016). Evaluation des différents systèmes de pièges à appâts alimentaires et attractifs sexuels pour la capture des mouches des fruits au nord de la Côte d'Ivoire. Mémoire de Master en Sécurité Alimentaire, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, 53 p.

- Coulibaly A., Minhobo M.Y., Soro S., N'Dépo O.R, N'Goran A. & Hala N.F. (2019). Effectiveness of Weather ants (*Oecophylla longinoda*), bait application (GF-120) and neem oil (*Azadirachta indica*) combination in the control of fruit flies in mango orchards in Northern Côte d'Ivoire. *Journal of Entomology and Zoology Studies*; 7(6) : 01-07.
- CRFG (1996). Mango Fruits Facts Mango, <http://www.crfg.org/pub/ff/mango/html>. Consulté le 19 mars 2019.
- Daget J. (1976). Les modèles mathématiques en écologie. Masson, Paris (France), 172 p.
- Dajoz R. (1975). Précis d'écologie. Troisième édition, collection Sciences Sup, Dunod, Paris (France), 549 p.
- Damerdji A. (2008). Contribution à l'étude écologique de la malacofaune de la zone Sud de la région de Tlemcen (Algérie). *Afrique Science*, 04 (1) : 138-153.
- David K.J. & Ramani S. (2011). An illustrated key to fruit flies (Diptera: Tephritidae) from Peninsular India and Andaman and Nicobar Islands. *Zootaxa*, 3021 : 1-31.
- De Candolle A. (1885). Origin of cultivated plants. *D. Appleton & Cie*, New York (USA), 64 p.
- Déguénon J.M. (2009). Inventaire, estimation d'abondance et interactions entre différentes espèces de fourmis dans un grand verger de manguiers à Korobororou (Commune de Parakou). Mémoire d'Ingénieur Agronome de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou, Bénin, 79 p.
- Deguine J.P., Ferron P. & Russell D. (2008). Protection des cultures : De l'agrochimie à l'agroécologie. Editions Quad, Paris. 187pp.
- Dejean A. (1991). Adaptation d'*Oecophylla longinoda* (Formicidae-Formicinae) aux variations spatio-temporelles de proies. *Entomophaga*, 36 : 29-54.
- Delvare G. & Aberlenc H.P., 1989. Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Clé pour la reconnaissance des familles. PRIFAS, CIRAD-GERDAT, 298 p.
- De Laroussilhe F. (1980). Le manguier. Technique Agricole et Productions Tropicales. Paris (France), 310 p.
- De Meyer M. (1996). Revision of the subgenus *Ceratitidis* (*Pardalaspis*) Bezzi, (Diptera: Tephritidae, Ceratitini). *Systematic Entomology*, 21 : 15-26.
- De Meyer M. (1998). Revision of the subgenus *Ceratitidis* (*Ceratalaspis*) Hancock (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*, 88 : 257-290.

- De Meyer M. (2000). Systematic revision of the subgenus *Ceratitis Macleay*. (Diptera: Tephritidae). *Zoological journal of Linnean Society*, 128 : 439-467.
- De Meyer M. (2001). On the identify of the natal fruit fly *Ceratitis rosa* Karsch (Diptera: Tephritidae). *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Entomologie*, 71 : 55-62.
- Diame L. (2016). Relations entre le fonctionnement des agroécosystèmes à base de fruitiers et les fourmis (Hymenoptera: Formicidae). Impacts sur le développement des mouches des fruits (Diptera: Tephritidae). Mémoire de thèse en Ecologie et Gestion des Ecosystèmes de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 162 p.
- Diatta P. (2016). Relations entre la typologie des agroécosystèmes fruitiers et les fluctuations de la population de la mouche des fruits : *Bactrocera dorsalis* (Hendel) dans les régions de Dakar et Thiès (Sénégal). Mémoire de thèse en Ecologie et Gestion des Ecosystèmes, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 136 p.
- Diomandé I. (2002). Les pesticides utilisés dans la production des mangues. Mémoire de Diplôme Universitaire de Technologie (DUT), option: Gestion agro-pastorale, Université de Bouaké/ URES de Korhogo, Côte d'Ivoire, 65 p.
- Dow Agrosciences. (2001). Spinosad technical bulletin. Dow AgroSciences LLC, Indianapolis, IN. <http://www.cdms.net/ldat/ld67P008.pdf>. Consulté le 3 octobre 2019.
- Drew R.A.I. & Hancock D. (1994). The *Bactrocera dorsalis* complex of fruit flies (Diptera: Tephritidae: Dacinae) in Asia. *Bulletin of Entomological Research*, 1-68.
- Drew R.A.I. & Romig M.C. (1997). Overview Tephritidae in the Pacific and South east Asia. Management of Fruit Flies in the Pacific : A Regional Symposium, Naji (Océanie), *ACIAR*, 74-100.
- Drew R.A.I. & Romig M.C (2013). Tropical Fruit Flies of South-East Asia (Tephritidae: Dacinae). *Centre for Agricultural Bioscience International*, Wallingford, 1-21.
- Drew R.A.I., Tsuruta K. & White I.M. (2005). A new species of pest fruit fly (Diptera: Tephritidae: Dacinae) from Sri Lanka (Océan indien) and Africa. *African Entomology*, 13 (1) : 149-154.
- Dwomoh E.A., Afun J.V.K., Acknor J.B. & Agene V.N. (2009). Investigations on *Oecophylla longinida* (Latreille) (Hymenoptera: Formicidae) as biocontrol agents in the protection of cashew plantations. *Pest Management Science*, 65 : 41-46.
- Dyck V.A., Hendrichs J. & Robinson A.S. (2005). Sterile Insect Technique : Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management. Hardcover, 14 : 787 p.

- Ekesi S. (2010). Combating fruit flies in Eastern and Southern Africa (COFESA) : Elements of a strategy and action plan for a regional cooperation program. World Bank, 9-11.
- Ekesi S. & Billah M.K. (2007). A field guide to the management of economically important Tephritid fruit flies in Africa. *ICRPE Science Press*, 2nd edition, Nairobi (Kenya), 34 p.
- Ekesi S., Billah M.K., Nderitu P.W., Lux A.S. & Ivan R. (2009). Evidence for competitive displacement of *Ceratitidis cosyra* by the invasive fruit fly *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) on mango and mechanisms contribution to the displacement. *Journal of Economic Entomology*, 102 (3) : 981-991.
- Eubanks M.D. (2001). Estimates of the direct and indirect effects of red imported fire ants on biological control in field crops. *Biological Control*, 21 : 35-43.
- FAO (1999). Guidelines For Pest Risk Analysis. Food and Agriculture Organisation. <http://www.fao.org/docrep/x5585e/x5585eOg.htm>. Consulté le 2 avril 2018.
- Faye M. (2010). Nouveau procédé de fractionnement de la graine de Neem (*Azadirachta indica* A JUSSSI) Sénégalais : Production d'un biopesticide d'huile et de tourteau. Mémoire de thèse des Sciences des Agrossources de l'Institut National Polytechnique de l'Université de Toulouse (France), 267 p.
- Fletcher B.S. (1987). The biology of Dacine fruit flies. *Annual Review of Entomology*, 32 : 115-144.
- Funasaki G.Y., Lai P-Y., Nakahara L.M., Beardsley J.W. & Ota A.K. (1988). A review of biological control introductions in Hawaii. *Proceedings, Hawaiian Entomological Society*, 28 : 105-160.
- Gerbaud P. (2018). Bilan mangue 2017 sur le marché européen. *FruiTrop*, 255 : 48-74.
- Gerson U. & Cohen E. (1989). Resurgences of spider mites (Acari: Tetranychidae) induced by synthetic pyrethroids. *Experimental and Applied Acarology*, 6 : 29-46.
- Gilmore J. (1989). Sterile insect technique (SIT). In : Robinson A, Hooper G (eds) Fruit flies; their biology, natural enemies and control. Elsevier, Amsterdam. University of Amsterdam, 353-363.
- Gonzálvez F.G., Santamaría L., Corlett R.T. & Rodríguez-Gironés M.A. (2013). Flowers attract weaver ants that deter less effective pollinators. *Journal of Ecology*, 101 : 78-85.
- Grall J. & Coïc N. (2005). Synthèse des méthodes d'évaluation de la quantité du benthos en milieu côtier. Institut Universitaire de la Mer Université de Bretagne Occidentale,

- Laboratoire des Sciences de l'Environnement MARin. Ifremer DYNECO/VIGIES/06613/REBEN, 91 p.
- Guenther E. (1948). The Essential Oils - Vol 1: History - Origin In Plants - Production – *Analysis. Jepson Press*, New York USA 452 p.
- Guichard C. (2009). Europe interceptions rising in 2009. *In: Fighting fruit flies in SSA, COLEACP/CIRAD*. Vol (4) : 4 p.
- Guillén L., Aluja M., Equihua M. & Sivinski J. (2002). Performance of two fruit fly (Diptera: Tephritidae) pupal parasitoids (*Coptera haywardi* [Hymenoptera: Diapriidae] and *Pachycrepoideus vindemiae* [Hymenoptera: Pteromalidae]) under different environmental soil conditions. *Biological Control*, 23 : 219-227.
- Hafsi A., Abbes K., Harbi A., Rahmouni R. & Chermiti B. (2015). Comparative efficacy of Malathion and spinosad bait sprays against *Ceratitis capitata* Wiedmann (Diptera: Tephritidae) in Tunisian citrus orchards. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3: 246-249.
- Haramoto F.H & Bess H.A. (1970). Recent studies on the abundance of the Oriental and Mediterranean fruit flies and the status of their parasites. *Proceeding of the Hawaiian Entomological Society*, 20 : 551-66.
- Hala N.F. (2001). Acquis de la recherche dans le domaine des ravageurs du manguier en zone nord de la Côte d'Ivoire. *In : Lutte contre les ravageurs et les maladies du manguier en zone nord Côte d'Ivoire. Projet de recherche*. Hala N., Kéhé M., Coulibaly F., Dembélé A., Doumbia M., Akamou F., Sery Z. H., Barro A. (Eds), CNRA : 11-12.
- Hala N.F., Quilici S., Gnago A.J., N'dépo O.R., Kouassi K.P. & Allou K.R. (2006). Status of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Côte-d'Ivoire and implications for mango exports. *Proceeding of 7th International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance, Salvadore, Bahia, Brazil*: 233-239.
- Hölldobler B. & Wilson E.O. (1978). The Multiple Recruitment Systems of the African Weaver Ant *Oecophylla longinoda* (Latreille) (Hymenoptera: Formicidae). *Behavioral Ecology and Sociobiolog*, 3 : 19-60.
- Hölldobler B. & Wilson E.O. (1990). The ants. Cambridge MA: Harvard University (USA) Press 46 p.
- Ivan R., Ekesi S., Gordon I. & Callistus K.P.O.O. (2008). Host plants and Host plant preference studies for *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) *In : Kenya, a new invasive fruit fly species in Africa. Annual Entomological Society of America*, 101 (2) : 331-340.

- Iyer C.P.A. & Schnell R.J. (2009). Breeding and genetics. In: *The Mango: Botany, Production and Uses*, 2nd edition Litz RE, Wallingford, UK: CABI, 67-96.
- Jaccard P. (1902). Lois de distribution florale dans la zone alpine. *Bulletin de la Société, Vaudoise des Sciences Naturelles*, 38 (144) : 69-130.
- Janssen A., Montserrat M., Hille Ris Lambers R., de Roos A.M., Pallini A. & Sabelis M.W. (2006). Intraguild predation usually does not disrupt biological control. *Springer Netherlands*, 21- 44.
- Kadio E.A.A.B. (2008). Inventaire et quelques aspects de la biologie des parasitoïdes des mouches des fruits en Côte d'Ivoire. Mémoire de diplômés d'Etudes Approfondies, Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 55 p.
- Kamali S., Karimi J., Hosseini M., Campos-Herrera R. & Duncan L. W. (2013). Biocontrol potential of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema carpocapsae* on cucurbit fly, *Dacus ciliatus* (Diptera: Tephritidae). *Biocontrol Science and Technology*, 23 : 1307-1323.
- Khamis F.M., Karam N. & Ekesi S. (2009). Uncovering the tracks of a recent and rapid invasion : the case of the fruit fly pest *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) in Africa. *Molecular Ecology*, 18 : 4798-4810.
- Knipling E.F (1955). Possibilities of Insect Control or Eradication Through the Use of Sexually Sterile Males. *Journal of Economic Entomology*, 48 (4) : 459-462.
- Kouakou C.V. (2019). Importance des fragments de forêt dans la conservation des primates non-humains en Côte d'Ivoire : cas de la forêt sacrée et des forêts villageoises à Gbétitapéa dans la région du Haut-Sassandra. Thèse de Doctorat, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (Côte d'Ivoire), 132 p.
- Leski R. (1969). Populations Studies of the cherry fruit fly, *Rhagoletis cerasi*, Insect Ecology and the Sterile-male Technique. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1-7 : 102 p.
- Levan K.E., Lou-Keng H.J., Mccann K.R., Ludka J.T. & Holway D.A. (2014). Floral visitation by the Argentine ant reduces pollinator visitation and seed set in the coast barrel cactus, *Ferocactus viridescens*. *Oecologia*, 174 : 163-171.
- Lindgren J. E. & Vail P. V. (1986). Susceptibility of Mediterranean fruit fly, melon fly, and oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) to the entomogenous nematode *Steinernema feltiae* in laboratory tests. *Environmental Entomology*, 15 : 465-468.

- Lobry J., Gascuel D. & Domain F. (2003). La biodiversité spécifique des ressources démersales du plateau continental guinéen : utilisation d'indices classiques pour un diagnostic sur l'évolution de l'écosystème. *Aquatic Living Resources*, 16 : 59-68.
- Lokkers C. (1990). Colony dynamics of the green tree ant (*Oecophylla smaragdina* Fabricius) in a seasonal tropical climate. Thesis for award of PhD degree at James Cook University of North Queensland (Australie), 322 p.
- Lux S.A., Copeland R.S. & White I.M. (2003). A new invasive fruit fly species from the *Bactrocera dorsalis* (Hendel) group detected in East Africa. *Insect Science and its Application*, 23 : 355-361.
- MacFarlane J.R., East R.W., Drew R.A.I. & Betlinski G. A. (1986). The dispersal of irradiated Queensland fruit fly *Dacus tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae) in south-easter Australia. *Australian Journal of Zoology*, 35 : 275-281.
- Magaña C, Hernández-Crespo P, Ortego F. & Castañera P (2007) Resistance to malathion in field populations of *Ceratitis capitata*. *Journal of Economic Entomology*, 100 :1836-1843.
- Marcon E., Héroult B., Baraloto C. & Lang G. (2011). The decomposition of Shannon's entropy and a test for beta diversity. No claim to original US government works. <https://www.ecofog.gf/en/perso/Baraloto/publications/Marcon%20et%20al%20Icos11.pdf>. Consulté le 14 juin 2018.
- Mauny R. (1953). Notes historiques autour des principales plantes cultivées d'Afrique de l'Ouest, *Bulletin Ifan*, 15 (2) : 684-730.
- Mbaye N. (2006). Situation et gestion extensive intégrée des mouches des fruits. Fiche technique, Dakar (Sénégal), 13 p.
- McIntosh R.P. (1967). An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. *Ecology*, 48 (3) : 392-404.
- McPhail M. (1939). Protein lures for fruit flies. *J. Econ. Entomol*, 32 : 758-761.
- McPherson B.A. & Steck G.J. (1996). Fruit fly pests : A world assessment of their biology and management. *St Lucie Press*, Florida, USA. 587 p.
- Menezes E., Sivinski J., Holler T., Aluja M., Jeronimo F. & Ramirez E. (1998). Development of *Coptera haywardi* (Hymenoptera: Diapriidae) in irradiated and unirradiated pupae of the Caribbean fruit fly and the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist*, 81 : 567-570.
- Metcalf R.L. (1990). Chemical ecology of dacinae fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Annals of Entomological Society of America*, 83 (6) : 1017-1030.

- Metcalf R.L. & Luckmann W.H. (1994). Introduction to insect pest management, III edn. John Wiley & Sons, New York (Etat Unis), 661 p.
- Michaud J. (2003). Toxicity of fruit fly baits to beneficial insects in citrus. *Journal of Insect Science*, 3 : 1-9.
- Michaud J. & Grant A. (2003). IPM compatibility of foliar insecticides for citrus : Indices derived from toxicity to beneficial insects from four orders. *Journal of Insect Science*, 3 : 1-10.
- Mieu B. (2017). Côte d'Ivoire : le gouvernement veut restructurer la filière mangue. www.Jeuneafrique.com. 12 p. Consulté le 19 juin 2020.
- Mille C. & Mademba S.F. (1999). Les mouches des fruits (Diptera: Tephritidae). Institut Agronomique néo-calédonien (IAC). Fiche technique CIRAD, 2 p.
- MINADER, 2020. Campagne de la filière mangue en Côte d'Ivoire. Communiqué du gouvernement. Agence Ivoirienne de Presse (AIP).aip.ci/campagne-2020
- Minhibo Y.M., Akpessa A.A.M., Coulibaly T., Koua K.H. & Coulibaly A. (2019a). Dynamics of fruit flies populations in two mango production zones (Korhogo and Ferké) in northern Côte d'Ivoire. *International Journal of Research GRANTHAALAYAH*, 7 (7) : 256-264.
- Minhibo Y.M., Akpessa A.A.M., Diby Y.K.S. & Koua K.H. (2019b). Effectiveness of prophylactic methods in fruit fly management in northern Côte d'Ivoire. *European Journal of Biotechnology and Bioscience*. 7 (3) : 84-87.
- Minhibo Y.M., N'Dépo O.R., Hala N., Koua H., Tuo Y., N'Goran A., Coulibaly A., Doumbia S., Djaha A.J.B., Kouakou C. K., Adopo A.N., N'da A. H. & Djidji H. (2018). Assessment of Fruit Fly Trapping System in Mango Orchards in Northern Côte d'Ivoire. *Journal of Agricultural Science and Technology*, A (8) : 18-27.
- Miyahara Y. & Kawai A. (1979). Move-ment of sterilized melon fly from Kume Islands to the Amani Islands. *Journal of Applied Entomology and Zoology*, 14 : 496-977.
- Mouffok B., Raffy E., Urruty N. & Zjcola J. (2008). Le Neem, un insecticide biologique efficace. Université Paul-Sabatier-IUT S2, Toulouse (France), 16 p.
- Mukherjee S.K. (1997). Introduction, Botany and importance. In : The mango Botany, production and uses. Litz R. E (ed). *CAB International*, Wallingford, UK, 1-20.
- Mwatawala M.W., White I.M., Maerere A.P., Senkondo F.J. & De Meyer M. (2004). A new invasive *Bactrocera* species (Diptera: Tephritidae) in Tanzania. *African Entomology*, 12 (1) : 154-156.

- Nannou S. (2001). Pratiques paysannes en matière de lutte contre les ravageurs de manguier dans la sous-préfecture de Korhogo. Mémoire de Diplôme Universitaire de Technologie (DUT), option : Gestion Agro-pastoral, université de Bouaké/ URES de Korhogo, Côte d'Ivoire, 53 p.
- Ndayizeye L., Nzigidahera B. & Dawn Theron C. (2017). Effect of Parapheromones on the Capture of Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) in Burundi. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 7 : 413-425.
- N'Dépo O.R. (2010). Biologie et Ecologie de *Bactrocera invadens* Drew, Tsuruta et White, 2005 (Diptera: Tephritidae), principal déprédateur des vergers fruitiers en Côte d'Ivoire: possibilité de lutte chimique raisonnée contre les mouches des fruits. Mémoire de Thèse Unique de Zoologie et Biologie Animale (option Entomologie Agricole), Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 177 p.
- N'Dépo O.R., Hala N.F., Allou K., Aboua L.R., Kouassi K.P., Vayssières J.F. & De Meyer M. (2009). Abondance des mouches des fruits dans la zone de production fruitière de Côte d'Ivoire: dynamique des populations de *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae). *Fruits*, 64 (5) : 313-324.
- N'Dépo O.R., Hala N.F., Gnago A., Allou K., Kouassi K.P., Vayssières J.F. & De Meyer M. (2010). Inventaire des mouches des fruits de trois régions Agro-écologiques et des plantes hôtes associées à l'espèce nouvelle *Bactrocera (Bactrocera) invadens* Drew *et al.* (Diptera: Tephritidae) en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 46 (1) : 63-72.
- Neilson W.T.A. (1964). Some effects of relative humidity on development of pupae of the apple maggot, *Rhagoletis pomonella* (Walsh). *Canadian Entomologist*, 96: 810–811.
- Neilson W.T.A. & Wood F.A. (1966). Natural source of food of the apple maggot. *Journal of Economic Entomology*, 59 : 997-998.
- Newell J.M. & Haramoto F.H. (1968). Biotic factors influencing populations of *Dacus dorsalis* in Hawaii. *Proceeding of Hawaiian Entomology Society*, 20 : 81-139.
- Nishida T. (1963). Zoogeographical and ecological studies of *Dacus cucurbitae* in India. *Hawaii Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin*, 54 : 28 p.
- Nishida T. & Bess H.A. (1957). Studies on the ecology and control of the melon fly *Dacus (Strumeta) cucurbitae*. *Hawaii Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin*, 34 : 44 p.
- Norrbom A. (2004). Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Classification and diversity. *In* : 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. Mémoire de Thèse d'Ecophysiologie (option Science de la Vie et de la Santé) de l'Université de Paris Est (France), Ouédraogo N.S. (Ed), 184 p.
- Offenberg J. (2007). The distribution of weaver ant pheromones on host trees. *Insectes Sociaux*, 54 : 248-250.
- Offenberg J. (2014). Pest repelling properties of ant pheromones. *IOBC-WPRS Bulletin*, 99 : 173-176.
- Offenberg J. (2015). Ants tools in sustainable agriculture. *Journal of Applied Ecology*, 52 (5) : 1197-1205.
- Offenberg J., Cuc N.T.T. & Wiwatwitaya D. (2013). The effectiveness of weaver ant (*Oecophylla smaragdina*) biocontrol in Southeast Asian citrus and mango. *Asian Myrmecology*, 5 : 139-149.
- Offenberg J. & Wiwatwitaya D. (2010). Sustainable weaver ant (*Oecophylla smaragdina*) farming: harvest yields and effects on worker ant density. *Asian Myrmecology*, 3 : 55-62.
- Ohm J.R. & Miller T.E.X. (2014). Balancing anti-herbivore benefits and anti-pollinator costs of defensive mutualists. *Ecology*, 95: 2924-2935.
- Ollé D., Lozano Y.F. & Brillouet J.M. (1996). Isolation and characterisation of soluble polysaccharides and insolubles cell wall material of the pulp from four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Journal of Agricultural Science and Food Chemistry*, 44 : 2658-2662.
- Ollé D., Baumes R.L., Bayonove C.L., Lozano Y.F., Sznaper C. & Brillouet J.M. (1998). Comparison of free and glycosidically linked volatile components from polyembryonic and monoembryonic mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 (3) : 1094-1100.
- Olotu M.I., Du Plessis H., Seguni Z.S.K. & Maniania N.K. (2013). Efficacy of the African weaver ant *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera: Formicidae) in the control of *Helopeltis* spp. (Hemiptera: Miridae) and *Pseudotheraptus wayi* (Hemiptera: Coreidae) in cashew crop in Tanzania. *Pest Management Science*, 69 : 911-918.
- Ouattara M. (1998). Fluctuation des populations des mouches des fruits (Diptera: Tephritidae) dans la région de Korhogo. Mémoire de l'Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA) de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), 46 p.
- Ouédraogo N.S. (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. Mémoire de Thèse d'Ecophysiologie (option Science de la Vie et de la Santé) de l'Université de Paris -Est (France), 184 p.
- Parrot L., Klaver., Biard Y., Kabré E. & Vannière H. (2017). Analyse de la chaîne de valeur Mangue au Burkina Faso. Direction Générale pour la Coopération Internationale et le Développement, 2 : 6 p.
- Parrot L., Klaver D., Biard Y., Kabré E. & Vannière H. (2018). Analyse de la chaîne de valeur Mangue au Burkina Faso. Rapport final, Montpellier (France) : CIRAD-Wageningen University, 249 p.
- Peng R. & Christian K. (2004). The weaver ant, *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae), an effective biological control agent of the red-banded thrips, *Selenothrips rubrocinctus* (Thysanoptera: Thripidae) in mango crop in the Northern Territory of Australia. *International Journal of Pest Management*, 50 : 107-114.
- Peng R. & Christian K. (2005a). Integrated pest management in mango orchards in the Northern Territory Australia, using the weaver ant, *Oecophylla smaragdina*, (Hymenoptera: Formicidae) as a key element. *International Journal of Pest Management*, 51 : 149-155.
- Peng R.K. & Christian K. (2005b). Integrated pest management for mango orchards using green ants as a major component. A manual for conventional and organic mango growers in Australia. 53 p.
- Peng R.K. & Christian K. (2006). Effective control of Jarvis's fruit fly, *Bactrocera jarvisi* (Diptera: Tephritidae), by the weaver ant, *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae), in mango orchards in the Northern Territory of Australia. *International Journal of Pest Management*, 52 (4) : 275-282.
- Peng R. & Christian K. (2007). The effect of the weaver ant, *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae), on the mango seed weevil, *Sternochetus mangiferae* (Coleoptera: Curculionidae), in mango orchards in the Northern Territory of Australia. *International Journal of Pest Management*, 53 : 15-24.
- Peng R.K & Christian K. (2008). The dimpling bug, *Campylomma austrina* Malipatil (Hemiptera: Miridae): the damage and its relationship with ants in mango orchards in the Northern Territory of Australia. *International Journal of Pest Management*, 54 : 173-179.
- Peng R. & Christian K. (2010). Ants as biological-control agents in the horticultural industry, *Ant Ecology*, Oxford University Press (Angleterre), 123-124.

- Peng R. & Christian K. (2013). Do weaver ants affect arthropod diversity and the natural-enemy-to-pest ratio in horticultural systems? *Journal of Applied Entomology*, 137 : 711-720.
- Peng R.K., Christian K. & Gibb K. (1995). The effect of the green ant, *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae), on insect pests of cashew trees in Australia. *Bulletin of Entomological Research*, 85 : 279-284.
- Peng R.K, Christian K. & Gibb K. (1997a). Control threshold analysis for the tea mosquito bug, *Helopeltis pernicialis* (Hemiptera: Miridae) and preliminary results concerning the efficiency of control by the green ant, *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae) in northern Australia. *International Journal of Pest Management*, 43 : 233-237.
- Peng R.K., Christian K. & Gibb K. (1997b). Distribution of the green ant, *Oecophylla smaragdina* (F.) (Hymenoptera: Formicidae), in relation to native vegetation and the insect pests in cashew plantations in Australia. *International Journal of pest management*, 43 : 203-211.
- Peng R.K., Christian K. & Gibb K. (2004). Implementing ant technology in commercial cashew plantations and continuation of transplanted green ant colony monitoring. W04/088. Australian Government. Rural Industries Research and Development Corporation, 72 p.
- Peng R.K., Christian K., Lan L.P. & Binh N.T. (2008). Integrated cashew improvement program using weaver ants as a major component. *Manual for ICI program trainers and extension officers in Vietnam*. Charles Darwin University and Institute of Agricultural Science for South Vietnam, 90 p.
- Philpott S.M. & Armbrecht I. (2006). Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Ecological Entomology*, 31 : 369-377.
- Piélou E.C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13 : 131-144.
- Pierre E.M. & Idris A.H. (2013). Studies on the predatory activities of *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae) on *Pteroma pendula* (Lepidoptera: Psychidae) in oil palm plantations in Teluk Intan, Perak (Malaysia). *Asian Myrmecology*, 5 : 163-176.
- Quilici S., Duyck P.F., Rousse P., Courdon F., Simiand C. & Franck A. (2005). La mouche de la pêche sur mangue, goyave etc. *Phytoma. La Défense des Végétaux*, 584 : 44-47

- Quilici S. & Franck A. (1999). La mouche du natal *Ceratitis (Pterandrus) rosa* Karsk (Diptera: Tephritidae). Fiche technique, CIRAD, 4 p.
- Quilici S. & Jeuffrault E. (2001). Plantes hôtes des mouches des fruits : Maurice, Réunion, Seychelles. PRMF/ COI, Imp. Graphica, La Réunion, 227 p.
- Quilici S., Jeuffrault E., Ryckewaert P. & Rolet A. (2006). Les mouches des légumes. Fiche technique programme régional de protection des végétaux, CIRAD, 4p. <http://www.prpv.org/>. Consulté le 17/04/2007.
- Quilici S., Vincenot D. & Franck A. (2003). Les auxiliaires des cultures fruitières à l'île de la Réunion. (eds) CIRAD, 168 p.
- Qureshi Z.A., Ashraf M., Bughio A.R. & Siddiqui Q.H. (1975). Population fluctuation and dispersal studies of the fruit fly, *Dacus zonans* (Saunders), *International Atomic Energy Agency*, 7-201.
- RES. (2014). Synonymization of key species within the *Bactrocera dorsalis* species complex (Diptera: Tephritidae) : taxonomie changes based on a review of 20 years of integration morphological, molecular, cytogenic, behavioural and chemoecological data. *Systematic Entomology*, Queensland University of Technology (Australia), 16 p.
- Rey J.Y., Thierno M.D., Vannière H., Christian D., Sidiki K. & Morodjan S. (2004a). La mangue en Afrique de l'Ouest francophone. *Fruits*, 59 : 121-129.
- Rey J.Y., Thierno M.D., Vannière H., Christian D., Sidiki K. & Morodjan S. (2004b). La mangue en Afrique de l'Ouest francophone : variété et composition variétale des vergers. *Fruits*, 59 (3) : 191-208.
- Robinson A.S. & Hooper G. (1989). Fruit flies, their Biology, Natural enemies and control. *Elsevier science publishers B.V.*, Amsterdam Oxford (New York), 3A : 372 p.
- Rodríguez-Girones M.A., González F.G., Llandres A.L., Corlett R.T. & Santamaría L. (2013). Possible role of weaver ants, *Oecophylla smaragdina*, in shaping plant pollinator interactions in South-East Asia. *Journal of Ecology*, 101 : 1000-1006.
- Roy D.P., Lewis P.E. & Justice C.O. (2002). Burned area mapping using multitemporal moderate spatial resolution data-A bi-directional reflectance model base expectation approach. *Remote sensing of environment*, 83 (1-2) : 263-286.
- Salgado V.L. (1998). Studies on the mode of action of spinosad: insect symptoms and physiological correlates. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 60 : 91-102.
- Salgado V.L., Sheets J.L., Watson G.B. & Schmidt A.L. (1998). Studies on the mode of action of spinosad : the internal effective concentration and the concentration dependence of neural excitation. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 60 : 103-110.

- Schatz B., Proffit M., Rakhi B.V., Borges R.M. & Hossaert-McKey M. (2006). Complex interactions on fig trees : ants capturing parasitic wasps as possible indirect mutualists of the fig-fig wasp interaction. *Oikos*, 113 : 344-352.
- Schmutterer H. (1995). The Neem Tree, *Azadirachta indica* A. Juss and other Meliaceae plants. *Weinheim*, 1-3.
- Sébire A. (1899). Les plantes utiles du Sénégal, J.B. *Baillière et fils*, Paris (France), 79-80.
- Seguini Z.S.K., Way M.J. & Van Mele P. (2011). The effect of ground vegetation management on competition between the ants *Oecophylla longinoda* and *Pheidole* in relation to *Oecophylla* cues (Hymenoptera: Formicidae) as compared to natural conditions without ant cues. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 7 : 447-456.
- Shannon C.E. (1948). A mathematical theory for communication. *Bell System Technical Journal*, 27 : 623-656.
- Siderhurst M.S. & Jang E.B. (2010). Cucumber volatile blend attractive to female melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett). *Journal of Chemical Ecology*, 36 : 699-708.
- Sinzogan A.A.C., Van Mele P. & Vayssières J.F. (2008). Implications of on-farm research for local knowledge related to fruit flies and the weaver ant *Oecophylla longinoda* in mango production. *International Journal of Pest Management*, 54 : 241-246.
- Soudant D. & Belin C. (2011). Note sur l'approche statistique de la diversité en écologie. Centre de Nantes ; Ifremer 02 2011 - DYNECO/VIGIES/11-02/DS, 21 p.
- Sookar P., Bhagwant S. & Awuor Ouna E. (2008). Isolation of entomopathogenic fungi from the soil and their pathogenicity to two fruit fly species (Diptera: Tephritidae). *Journal of Applied Entomology*, 132 : 778-788.
- Sporleder M. & Rapp G. (1998). The effect of *Oecophylla longinoda* (Latr.) (Hymenoptera: Formicidae) on coconut palm productivity with respect to *Pseudotheraptus wayi* Brown (Hymenoptera: Coreidae) damage in Zanzibar. *Journal of Applied Entomology*, 122 : 475-481.
- Srivastava H.C. (1967). Grading, storage and marketing. The mango, an handbook. In: Le Manguier. Techniques agricoles et productions tropicales. Maisonneuve et Larose (Ed), Paris (France), 312 p.
- Steiner LF. (1952). Fruit fly control in Hawaii with poison-bait sprays containing protein hydrolysates. *Journal of Economic Entomology*, 45 : 838-843.

- Steiner L.F., Mitchell W.C. & Baumliover A.H. (1962). Progress of fruit fly control by irradiation sterilization in Hawaii and the Mariana Islands. *International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 13 : 427-34
- Stephens A.E.A., Kriticos D.J. & Leriche A. (2007) The current and future potential geographical distribution of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*, 97 : 369-378.
- Tinkeu L.N., Ladang D., Vayssieres J.F. & Lyannaz J.P. (2010). Diversité des espèces de mouches des fruits (Diptera: Tephritidae) dans un verger mixte dans la localité de Malang (N°Gaoundéré, Cameroun). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4 (5) : 1425-1434.
- Toledo J., Rojas R. & Ibarra J.E. (2006). Efficiency of *Heterorhabditis bacteriophora* (Nematoda: Heterorhabditidae) on *Anastrepha serpentina* (Diptera: Tephritidae) larvae under laboratory conditions. *Florida Entomologist*, 89 : 524-526.
- Touré S. (2012). Etude nationale de la filière mangue en Côte d'Ivoire. Centre du Commerce Internationale, Genève (Suisse), 27 p.
- Tsuji K., Hasyim A., Harlion. & Nakamura K. (2004). Asian weaver ants, *Oecophylla smaragdina*, and their repelling of pollinators. *Ecological Research*, 19 : 669-673.
- Urbaneja A., Chueca P., Montón H., Pascual-Ruiz S., Dembilio O., Vanaclocha P., Abad-Moyano R. & Pina T. (2009). Chemical alternatives to malathion for controlling *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), and their side effects on natural enemies in Spanish citrus orchards. *Journal of Economic Entomology*, 102 : 144-151.
- Vanderplank F.L. (1960). The bionomics and ecology of the red ant tree, *Oecophylla sp* its relationship to the coconut bug *Pseudotheraptus wayi* Brown (Coreidae). *Journal of Animal Ecology*, 29 : 15-33.
- Van Mele P. & Cuc N.T.T. (2003). Ants as Friends : Improving your tree crops with weaver ants. Egham, UK: CABI Bioscience, 67 p.
- Van Mele P. & Cuc N.T.T. (2007). Ant as friend. Improving your tree cops with weaver ants. CAB International, 69 p.
- Van Mele P. & Cuc N.T.T. (2008). Nos Amis les fourmis, Améliorons la qualité de nos arbres fruitiers. *CAB International*, 68 p.
- Van Mele P., Cuc N.T.T. & Van Huis A. (2002). Direct and indirect influence of the weaver ant *Oecophylla smaragdina* on citrus farmer's pest perceptions and management practices in Mekong Delta, Vietnam. *International Journal of Pest Management*, 48 : 225-232.

- Van Mele P. & Vayssières J.F. (2007a). West Africa's mango farmers have allies in the trees. *Biocontrol News and Information*, 28 : 56-58.
- Van Mele P. & Vayssières J.F. (2007b). Weaver ants help farmers to capture organic markets. *Alternatives. Pesticides News*, 75 : 9-11.
- Van Mele P., Vayssières J.F., Adandonon A. & Sinzogan A. (2009). Ant cues affect the oviposition behaviour of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Africa. *Physiological Entomology*, 34 : 256-261.
- Van Mele P., Vayssières J.F. & Esther V.T. (2007). Effects of an African weaver Ant *Oecophylla longinoda* in controlling mango fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Benin. *Journal of Economic Entomology*, 100 (3) : 695-701.
- Vannière H., Rey J.Y., Vayssières J.F. et Maraite H. (2013). PIP-Itinéraire technique Mangue (*Mangifera indica*). Edition COLEACP, Bruxelles, 87 p.
- Van Sauer-Muller A. (1991) An overview of the Carambola fruit fly *Bactrocera* species (Diptera: Tephritidae), found recently in Suriname. *Florida Entomologist*, 74 : 432-440.
- Vargas R.I., Haviland D., Faber B., Kabashima J., Grafton-Cardwell B. & Morse J.G. (2013). Improving Trapping Systems for Early Detection and Eradication of Fruit Flies in California (Etats Unis). *Citrograph*, 4 (4) : 28-34.
- Vasquez J., Delgado C., Couturier G. & Matile D.F. (2002). Les insectes nuisibles au goyavier (*Psidium guayava* L.: Myrtaceae) en Amazonie péruvienne. *Fruits*, 57 (5-6) : 267-351.
- Vayssières J.F., Sinzogan A., Adandonon A., Van Mele P. & Korie S. (2013). Ovipositional behaviour of two mango fruit fly species (Diptera: Tephritidae) in relation to *Oecophylla* cues (Hymenoptera: Formicidae) as compared to natural conditions without ant cues. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 7: 447-456.
- Vayssières J.F. (2012). Inter-relations entre les différents niveaux trophiques concernant les Tephritidae vis-à-vis des cultures horticoles en zone tropicale. Mémoire de Thèse, Université Paris-Est, France, HDR, 158p.
- Vayssières J.F., Fatogoma S. & Moussa N. (2004). Inventory of species of fruit flies (Diptera: Tephritidae) linked to the mango tree in Mali and testing of rational control. *Fruits*, 59 (1) : 1-14.

- Vayssières J.F., Georg G., Orphée L., Dossa P. & Akponon C. (2005). A new *Bactrocera* species in Benin among fruit fly (Diptera: Tephritidae) species. *Fruits*, 60 (6) : 371-377.
- Vayssières J.F. & Kalabane S. (2000). Inventory and fluctuations of the catches of Diptera Tephritidae associated with mangoes in coastal Guinea. *Fruits*, 55 : 259-270.
- Vayssières J.F., Korie S., Coulibaly T., Temple L. & Bouéyi S. (2008). The mango tree in northern Benin: cultivar inventory, yield assessment, early infested stages of mangos and economic loss due to the fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Fruits*, 63 (6) : 1-8.
- Vayssières J.F. & Sinzogan A. (2008). Utilisation des fourmis tisserandes (Hymenoptera: Formicidae) dans la lutte contre les mouches des fruits (Diptera: Tephritidae). Projet Régional de Lutte Contre les Mouches des Fruits en Afrique de l'Ouest. Fiche technique N°5, 4p.
- Vayssières J.F., Sinzogan A., Korie S., Ouagoussounon I. & Thomas-Odjo A. (2009). Effectiveness of Spinosad Bait Sprays (GF-120) in Controlling Mango-Infesting Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) in Benin. *Journal of Economic Entomology*, 102 : 515-521.
- Vayssières J.F., Sinzogan A.A.C., Korie S., Adandonon A. & Worou S. (2011). Field observational studies on circadian activity pattern of *Oecophylla longinoda* (Latreille) (Hymenoptera: Formicidae) in relation to abiotic factors and mango cultivars. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 : 790-802.
- Vayssières J.F., Ouagoussounon I., Adandonon A., Sinzogan A., Korie S., Todjihoundé R., Alassane S., Wargui R., Anato F. & Goergen G. (2015). Seasonal pattern in food gathering of the weaver ant *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera: Formicidae) in mango orchards in Benin. *Biocontrol Science and Technology*, 12 (25) : 1359-1387.
- Wargui R.B. (2016). Biological control of major insect pests in mango and cashew trees: The role of the weaver ant, *Oecophylla longinoda* Latreille (Hymenoptera: Formicidae). Mémoire de thèse en Ressources Phytogénétiques et Protection des Cultures Université d'Abomey-Calavi de Benin, 189 p.
- Wargui R.B., Anato F., Hougbo H., Didier C., De Bon H. & Goergen G. (2015). Seasonal Abundance of Mango Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) and Ecological Implications for Their Management in Mango and Cashew Orchards in Benin (Centre & North). *Journal of Economic Entomology*, 108 (5) : 2213-2230.
- Way M.J. & Khoo K.C. (1992). Role of ants in pest management. *Annual Review of Entomology*, 37 : 479-503.

- Wharton R. (1989). Biological control of fruit-infesting Tephritidae. *Fruit Flies Economic Importance*, 87 : 323-332.
- Whittaker R.H. (1960). Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon California. *Ecological Monographs*, 30 (3) : 279-338.
- White I.M. & Elson-Harris M.M. (1992). Fruit flies of economic significance, *Australian Centre for International Agricultural Research and Centre for Agricultural Bioscience International*, 601 p.
- Williams T., Valle J. & Viñuela E. (2003). Is the naturally derived insecticide Spinosad® compatible with insect natural enemies? *Biocontrol Sci Tech*, 13 : 459-475.
- Willmer P. & Stone G. (1997). Temperature and water in desert bees. *Journal of Thermal Biology*, 22 : 453-465.
- Wojtusiak J., Godzińska E. J. & Dejean A. (1995). Capture and retrieval of very large prey by workers of the African weaver ant, *Oecophylla longinoda* (Latreille). *Tropical Zoology*, 8 : 309-318.
- Yasamatsu K. & Nagatomi A. (1959). Studies on the control of *Dacus* (Tetradacus) *tsuneonis* I. Some fundamental and biological investigations essential for its control. *Science Bulletin of the Faculty of Agriculture Kyushu University*, 17 : 129-46.
- Youm O., Vayssières, J.F., Togola A., Robertson S.P. & Nwilene F.E. (2011). International trade and exotic pests: the risk for biodiversity and African economies. *Outlook on Agriculture*, 40 : 59-70.
- Zagbai H.S., Berti F. & Lebailly P. (2006). Impact de la dynamique cotonnière sur le développement rural. Etude de cas de la région de Korhogo au nord et au centre de la Côte d'Ivoire. *Biotechnologie, Agronomi, Société et Environnement*, 10 (4) : 325-334.

ANNEXES

Annexe 1 : Quelques variétés de mangues produites en Côte d'Ivoire



Kent



Amélie



Keitt



Mangue du Caméroun



Palmer



Valencia

Annexe 1 : (suite)



Galérie



Tête de chat



Bouche longue

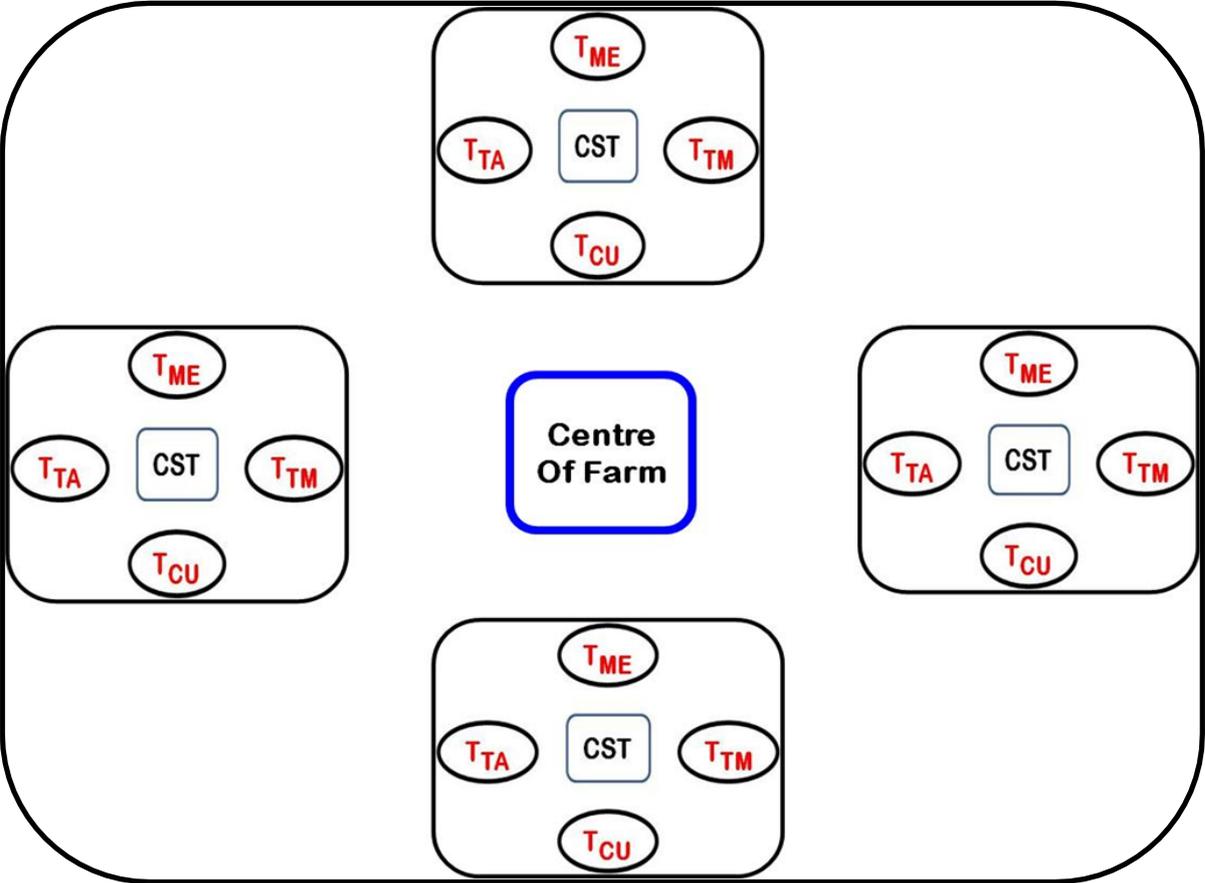
Annexe 2 : Vue aérienne d'un verger de manguiers de variété Kent à Korhogo



Annexe 3 : Fiche de relevé des mouches et des stades phénologiques du manguier

Date	Localité	Attractifs	Espèces	Effectifs	Stades phénologiques

Annexe 6 : Dispositif expérimental indiquant la position des pièges selon les 4 points cardinaux dans les vergers de manguiers



Annexe 7 : Fourmis oecophylles protégeant la mangue contre les mouches des fruits



PUBLICATIONS ISSUES DE LA THESE

Publication 1

Journal of Entomology and Zoology Species

E-ISSN: 2320-7078

P-ISSN: 2349-6800

JEZS 2019; 7(6): 01-07

Received: 01-09-2019

Accepted: 03-10-2019



E-ISSN: 2320-7078
P-ISSN: 2349-6800
JEZS 2019; 7(6): 01-07
© 2019 JEZS
Received: 01-09-2019
Accepted: 03-10-2019

A Coulibaly
Jean Lorougnon Guédé
University (UJLoG), Daloa P.O.
Box 150, Côte d'Ivoire

MY Minhibo
National Center for Agronomic
Research, Station of Korhogo-
Lataha, Korhogo P.O. Box 856,
Côte d'Ivoire

S Soro
Jean Lorougnon Guédé
University (UJLoG), Daloa P.O.
Box 150, Côte d'Ivoire

OR N Dépo
Jean Lorougnon Guédé
University (UJLoG), Daloa P.O.
Box 150, Côte d'Ivoire

AN Goran
National Center for Agronomic
Research, Station of Korhogo-
Lataha, Korhogo P.O. Box 150,
Côte d'Ivoire

NF Hala
National Center for Agronomic
Research, Station of La Mé,
Abidjan 13 P.O. Box 150,
Côte d'Ivoire

M Barnabas
National Agricultural Research
Organisation (NARO), P.O. Box
101, Hoima, Uganda

H Djidji
National Center for Agronomic
Research, Station of Korhogo-
Lataha, P.O. Box 150,
Côte d'Ivoire

Corresponding Author:
A Coulibaly
Jean Lorougnon Guédé
University (UJLoG), Daloa P.O.
Box 150, Côte d'Ivoire

Effectiveness of Weaver ants (*Oecophylla longinoda*), bait application (GF-120) and neem oil (*Azadirachta indica*) combination in the control of fruit flies in mango orchards in Northern Côte d'Ivoire

A Coulibaly, MY Minhibo, S Soro, OR N Dépo, AN Goran, NF Hala, M Barnabas and H Djidji

Abstract

Mango is Côte d'Ivoire's third most important export fruit after bananas and pineapples with a national production of 100,000 tons/year. Unfortunately, mango production, although flourishing in recent years, still faces various constraints, of which fruit flies are the most damaging. The objective of this work was to evaluate the effectiveness of Weaver ants (*Oecophylla longinoda*), biopesticide (Neem Oil) and bait food (GF-120) combination in the control of fruit flies in mango orchards. In each orchard, a 5 hectare plot was delimited into four sub-plots each 20 m apart with a treatment: Ants + Neem Oil, Ants + GF-120, Ants alone and a plot without ants. The treatments were repeated in three different locations (Korhogo, Ferké and Ouangolo). In each treatment, a sample of 100 mangoes was collected from ten trees. The harvested mangoes were weighed and incubated in the laboratory. Two weeks later, the mangoes were washed and the number of pupae was determined for each treatment. In all sites, the combination Ants + Nem protected mango orchards at 98.6%, followed by the combination Ants + GF-120 which is 98.43% and ants alone with a protection rate of 90.89%. The combination of control including Weaver ants effectively protects mango orchards than Weaver ants alone.

Keywords: Fruit flies, Weaver ants, biopesticides, combination, mango, Côte d'Ivoire.

1. Introduction

Mango (*Mangifera indica* L) is Côte d'Ivoire's third most important export fruit after banana and pineapple (Tchounand, 2017) [1]. Côte d'Ivoire is the third largest supplier of mangoes in the world on the European market with 32,600 t exported in 2017 compared to 10,179 t in 2011 after Brazil (100,000 t) and Peru (80,000 t) (Mieu, 2017) [2]. Mango production, although flourishing in recent years, continues to face various constraints, with fruit flies being the most damaging. These fruit flies damage mainly fruits that are close to maturity or in maturity (Quilici *et al.*, 2005) [3]. They lay eggs in shallow fruits and larvae (worms or maggots), feed on the pulp of the fruit and dig tunnels. Secondary rots develop in the fruit and fall, causing many losses (Quilici *et al.*, 2006) [4]. In Côte d'Ivoire, this damage is estimated at 17% at the beginning of the season; 69% in the middle of the season and 80% at the end of the season, and even 100% for some localities if there is no control (N'Dépo *et al.*, 2010) [5]. To address these yield losses, research efforts are being intensified worldwide to develop alternative pest control strategies that are environmentally friendly. These strategies include the use of biopesticides and biological control agents such as *Oecophylla longinoda* (Adandonon *et al.*, 2009) [6]. According to Vayssière *et al.* (2009) [7], the management and use of *Oecophylla* is a tool well adapted to the sustainable development of perennial cropping systems in Sub-Saharan Africa for their effectiveness in fruit fly management, improvement in fruit quality, and as a sustainable, economical and environmentally friendly fruit fly control method. It is with this mind that we conducted this study to show the effectiveness of *Oecophylla longinoda* in the control of fruit flies in mango orchards. Thus, in this work, we have combined weaver ant with food bait (GF-120) and natural substance (Neem oil) to better protect mango orchards because one method cannot effectively control fruit flies.

2. Materials and Methods

2.1. Study sites

The study was conducted in mango orchards in northern Côte d'Ivoire. These mango orchards are located in the localities of Korhogo (09°23'800"N ; 005°43'429"W), Ouangolo (09°50'838"N ; 005°03.852"W) and Ferkessedougou (09°44'803"N ; 05°15'668"W) (Figure 1). It is a vast mango production area characterized by a Sudanese type climate with two seasons, a dry season from November to April and a rainy season from May to October. The average annual rainfall is 1400 mm in a wet year and 1000 mm in a dry year. The natural vegetation consists of wooded savannah. Soils are ferrallitic, moderately to highly desaturated (Djaha *et al.*, 2014) [8]. The temperature is characterized by a maximum (41°C) in March, and a minimum (16.5 °C) in January. A plot of 5 ha of Kent mango variety, mostly aged about 30 years and spaced 10 m × 10 m (about 100 trees per ha), was selected from each orchard. The selected plots were mainly colonized by Weather ants. Each plot was subdivided into 04 sub-plots of 72 trees each with two rows of trees serving as borders. A subplot was used as a treatment site. The treatments were composed of: (i) Trees protected by Weather Ants + neem oil, (ii) Trees protected by Weather Ants + Bait application, (iii) Trees protected by Weather Ants and (iv) Trees not protected by Weather Ants.

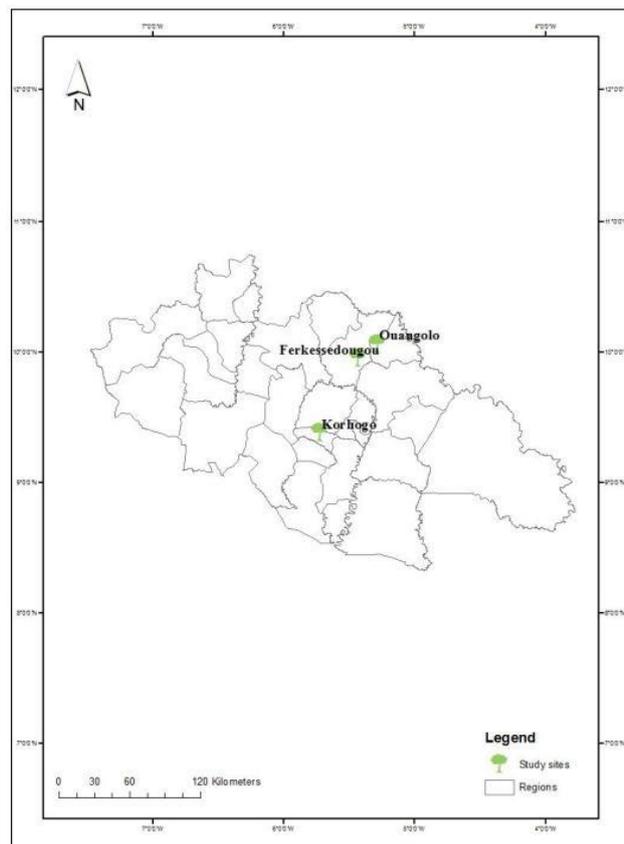


Fig 1: Study sites

2.2. Colonization of trees by *Oecophylla longinoda*

When transplanting Weather ants into orchards, trees that were not colonized by Weather ants were selected at the beginning of the experiment. Most of the trees sheltered the species *Pheidole megacephala*, a competitor of *Oecophylla longinoda* (Seguni *et al.*, 2011) [9]. To protect the introduction

of new colony into these trees, *P. megacephala* was controlled using chlorpyrifos ethyl 480g/l insecticide. Barriers were also established at the base of mango trees to prevent *Pheidole megacephala* and other ants from entering treated trees and plots. For trees containing Weather ants, a mapping was carried out to determine the ants colonies present because weaver ants from different colonies fight, aggression tests were used to identify individual colonies (Peng *et al.*, 2008). Ants of the same colonies were interconnected by twine and branches. Connecting trees between different colonies were pruned to avoid clashes between neighbouring ant colonies.

2.3. Distribution of Weather ant colonies

To determine the distribution of ant colonies, we used the cat food method described by Peng *et al.* (2008) as follow: One spoonful of cat food was placed on the main branch of each tree to attract and induce aggregation of weaver ants. After that one ant was picked with flexible forceps from one tree to an adjacent tree for ants' confrontation. If resident ants fight the introduced ants, then they belong to different colonies. Therefore, different color tapes were used to mark those two trees. In contrast if no fighting was observed on trees, then those ants belong to the same colony. In that case the same color tape was used to mark the two trees.

2.4. Ants Treatment +Bait application (GF-120)

GF-120 is a combination of spinosad (neurotoxin) and protein baits (Salgado, 1998; Salgado *et al.*, 1998) [10, 11] containing 0.02% spinosad (active ingredient) and 98.8% inert ingredients including water, sugars and attractants. It was applied at the recommended rate (1 L/ ha) as a foliar spray using an Apollo 16-AF hand-held sprayer (Berthoud Spayers Ltd, United Kingdom) with a conical nozzle (1 to 2 mm opening to deliver 2 to 6 mm droplets) (Vayssières *et al.*, 2009) [7]. One square metre on each side of the tree according to the four cardinal points was sprayed in fruit-free areas. The product was applied every ten days from March to July.

2.5. Ants treatment + Neem Oil

The Neem insecticide, an organic product, was mixed with water at a concentration of 1%. The recommended rate (1 l / ha) was used. Prior to application, this rate was mixed with water in a 1:5 ratio (Dow Agrosciences, 2001) [12], and applied as a foliar spray using an Apollo 16-AF hand sprayer (Berthoud Spayers Ltd, United Kingdom) with a conical nozzle (1 to 2 mm opening to deliver 2 to 6 mm droplets) (Vayssières *et al.*, 2009) [7]. One square metre on each side of the tree according to the four cardinal points was sprayed at head height in fruit-free areas. The product was applied every ten days from March to July.

2.6. Control treatment (without ants)

In the control treatment, ants were kept out of control of the trees by applying an adhesive strip (Oecotak 5; Oecos Ltd, United Kingdom) around the trunk of the trees and ensuring that weeds did not cross this barrier.

2.7. Incubation of harvested fruit

The harvested mangoes were weighed and incubated in the laboratory in basins covered with sterile sand. Two weeks later, the mangoes were washed and the number of pupae from the mangoes in each treatment was determined.

2.8. Monitoring the abundance of Weather ants in orchards

Monitoring of the abundance of Weather ants was carried out using the method developed by Peng and Christian (2004) [13]. For each treatment, the trees were numbered from 1 to 10. Observations were made during the mango season from March to July on all the main branches, including those branched to the latter located at the level of the observer with the arms upright (~2.40m). Observations were made from 9:30 am onwards because the period of intense activity of Weather ants is between 9:30 am and 4:30 pm (Vayssières *et al.*, 2011) [14]. The Peng 2 method consisted in counting the number of ants present on the main branches according to a rating scale from 0 to 1, thus the score was given: 0 if there are no ants; 0.5 if the number of ants is between 1 and 10 and 1 if the number of ants is greater than 10.

Table 1: *Oecophylla longinoda* rating scale

Number of ants	0	1 to 10	>10
Scores	0	0.5	1

The percentage abundance of ants (% AF) per tree was then calculated by the following formula: $(\sum \text{Scores} / \text{Me}) * 100$ or % AF is the abundance percentage of ants and $\sum \text{Scores}$ represents the sum of scores, Me is the total number of main branches on the tree. Then an average of the abundance of Weather Ants was determined for each treatment.

2.8. Data analysis

The data obtained were subjected to a one-factor analysis of variance (ANOVA 1) at the 5% threshold. The averages are ranked according to Fisher's LSD test using STATISTICA V.7.1 software to assess the abundance and the influence of Weather ants. Furthermore, Attack rate (Ta), Infestation level (Ni) and Percentage of protection (Pp) was calculated by the following formula :

$Ta = Mi / Me * 100$

$Ni = Np / Pt$

$\%Pp = (NT - T) / NT * 100$

Ta = Attack rate (%)

Mi = Number of infested mangoes

Me = Total number of mangoes in the sample

Ni = Infestation level (Pupae /Kg of fruit)

Np = Number of pupae collected

Pt = Weight of the mango sample

%Pp = Percentage of protection

NT = Number of pupae in the treated plot

T = Number of pupae in the control plot

3. Results

3.1. Average abundance of *Oecophylla longinoda* in mango orchards

The Peng 2 index showed that *Oecophylla longinoda* is abundant in mango orchards at more than 50%. However, the orchard of Korhogo (63.88 ± 2.51%) was abundant in Weather ants, followed by Ferké (62.78 ± 3.04%) and Ouangolo (55.31 ± 2.66%) (Figure 2).

Anova 1, at the 5% threshold, the averages assigned to the same letters are not statistically significant

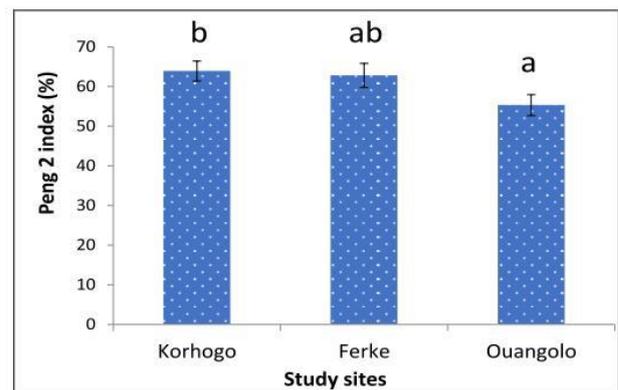
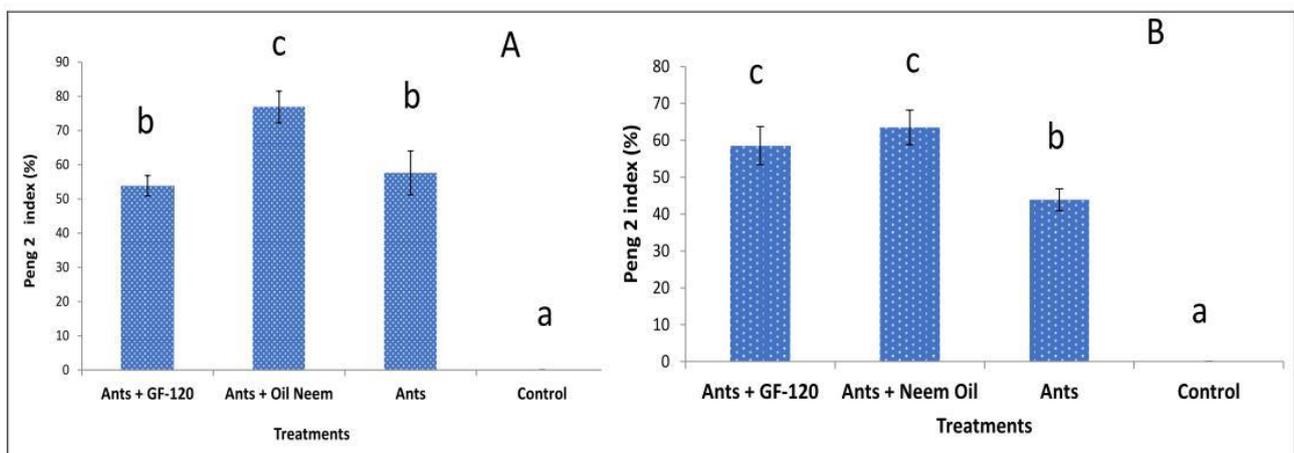
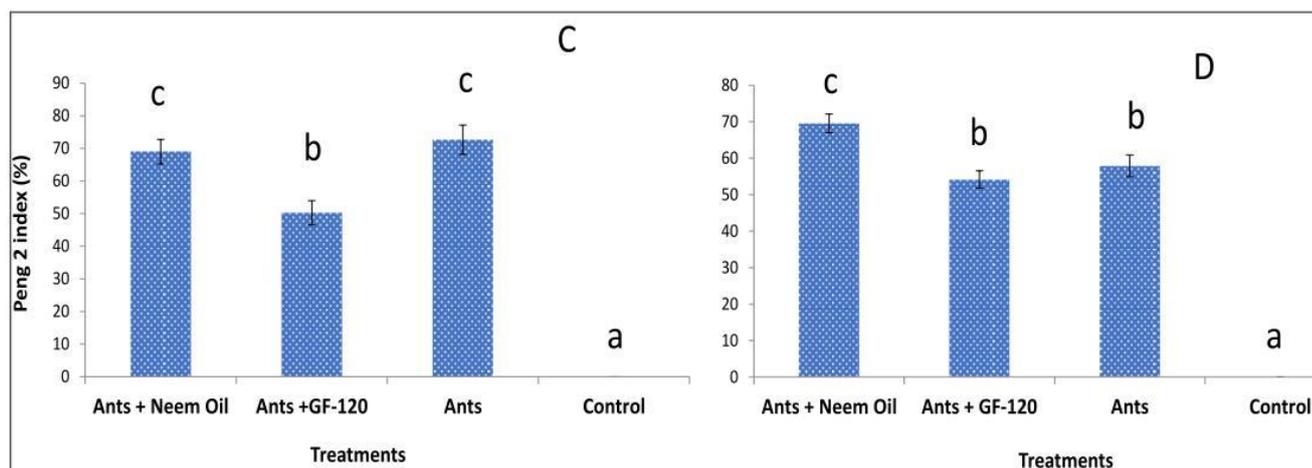


Fig 2: Average abundance of *Oecophylla longinoda* by the Peng2 method in mango orchards

3.2. Influence of treatments on the abundance of *Oecophylla longinoda*

In mango orchards, there is greater tree colonization by Weather ants in plots where neem has been applied in all study sites. Indeed, Weather ants are more abundant in the Neem Oil treatment (76.89 ± 4.61% ; 63.51 ± 4.69% ; 69.63 ± 3.18% ; 69.56 ± 2, 54) than the GF-120 treatment (53.86 ± 2.98% ; 58.52 ± 5.16% ; 50.29 ± 3.71% ; 54.15 ± 2.41%) respectively in Ferké, Ouangolo and Korhogo and in all the sites. Statistical treatments reveal a significant difference ($p < 0.05$) between treatments and the abundance of Weather ants in mango orchards (Figures 3A, 3B, 3C and 3D).





Anova 1, at the 5% threshold, the averages assigned to the same letters are not statistically significant

Fig 3: Influence of treatments on the abundance of *Oecophylla longinoda* by the Peng 2 method, Feké Orchard (A); Ouangolo Orchard (B); Korhogo Orchard (C); All Orchard (D).

3.3. Effect of combinations of control methods on fruit fly infestations.

In all sites, the protection parameters (Attack rate, Infestation level and protection percentage) showed that Ants + Oil Neem treatment and the Ants + GF-120 treatment protected mango orchards more than the Ants treatment alone.

The attack rate (Ta) in all sites is ($2.25 \pm 1.29\%$; $2.95 \pm 1.41\%$; $8.41 \pm 3.44\%$ and $23.04 \pm 8.28\%$) respectively in the Ants + Oil neem; Ants + GF-120; Ants and the control treatments. The highest attack rate was experienced in Korhogo ($6.75 \pm 2.19\%$; $7.52 \pm 2.47\%$; $19.23 \pm 6.45\%$ and $45.12 \pm 15.95\%$) while the lowest was experience in Feké ($0 \pm 0\%$; $0 \pm 0\%$; $0 \pm 0\%$; $3.33 \pm 0.8\%$ and $20 \pm 11.54\%$) and Ouangolo ($0 \pm 0\%$; $1.33 \pm 0.33\%$; $2.66 \pm 1.33\%$ and $4.00 \pm 2.30\%$) respectively in the Ants + Oil Neem treatments; Ants + GF-120 treatments; Ants treatments and the control. (Table 2).

The infestation level (Ni) in all sites is (1.04 ± 0.53 ; 1.48 ± 0.69 ; 4.24 ± 1.78 and 47.97 ± 22.91) respectively in the Ants

+ Oil Neem; Ants + GF-120; Ants and control treatments. The highest infestation rate was experienced in Korhogo (3.13 ± 0.37 ; $4, 10 \pm 0.74$; 11.27 ± 0.43 and 123.04 ± 44.57) while the lowest was experience in Feké (0 ± 0 ; $0, 33 \pm 0.08$; 1.24 ± 0.77 and 6.14 ± 3.10) and Ouangolo (0 ± 0 ; $0, 33 \pm 0.08$; 1.24 ± 0.77 and 6.14 ± 3.10) respectively in the Ants + Oil neem treatments; Ants + GF-120; Ants and the control (Table 3).

The percentage of protection (%PP) in all sites is (95.89 ± 1.25 ; 95.47 ± 1.83 ; 84.89 ± 8.29 and $0.00 \pm 0.00, 00$) respectively in the Ants + Oil Neem; Ants + GF-120; Ants and control treatments. The highest percentage of protection was experienced in Feké (100 ± 0.0 ; 100 ± 0.0 ; 99.17 ± 0.83 and 0 ± 0) while the lowest was experience in Ouangolo (100 ± 0.00 ; 97.22 ± 2.78 ; 88.61 ± 6.28 and $0.00 \pm 0.00, 00$) and Korhogo (95.89 ± 1.25 ; 95.47 ± 1.83 ; 84.89 ± 8.29 and 0.00 ± 0.00) respectively in the Ants + Oil Neem treatments; Ants + GF-120; Ants and control (Table 4).

Table 2: Attack rate (TA) of orchards in study sites

Treatments	Feké	Ouangolo	Korhogo	All the sites
Ants	3.33 ± 0.8 a	2.66 ± 1.33 a	19.23 ± 6.45 ab	8.41 ± 3.44 a
Ants + Oil Neem	0 ± 0 a	0 ± 0 a	6.75 ± 2.19 a	2.25 ± 1.29 a
Ants + GF-120	0 ± 0 a	1.33 ± 0.33 a	7.52 ± 2.47 a	2.95 ± 1.41 a
Control	$20 \pm 11,54$ a	4.00 ± 2.30 a	45.12 ± 15.95 b	23.04 ± 8.28 b
F	2.53	1.33	4.18	4.43
P	0.12	0.32	0.04	0.01

Averages on the same lines with the same letters are not significantly different (Newman Kauls test: $\alpha=0.05$)

Table 3: Infestation level (Ni) of orchards in study sites

Treatments	Feké	Ouangolo	Korhogo	All the sites
Ants	0.22 ± 0.05 a	1.24 ± 0.77 a	11.27 ± 0.43 a	4.24 ± 1.78 a
Ants + Oil Neem	0 ± 0 a	0 ± 0 a	3.13 ± 0.37 a	1.04 ± 0.53 a
Oécophylles + GF-120	0 ± 0 a	0.33 ± 0.08 a	4.10 ± 0.74 a	1.48 ± 0.69 a
Control	14.73 ± 7.67 a	6.14 ± 3.10 a	123.04 ± 44.57 b	47.97 ± 22.91 b
F	3.64	3.15	6.89	3.96
P	0.06	0.08	0.01	0.01

Averages on the same lines with the same letters are not significantly different (Newman Kauls test: $\alpha=0.05$)

Table 4: Percentage of protection (%Pp) of orchards in study sites

Treatments	Ferké	Ouangolo	Korhogo	All the sites
Ants	99.17 ± 0.83 b	88.61 ± 6.28 bc	84.89 ± 8.29 a	90.89 ± 3.69 b
Ants + Oil Neem	100 ± 0.0 b	100 ± 0.00 c	95.89 ± 1.25 a	98.63 ± 0.77 c
Ants + GF-120	100 ± 0.0 b	97.22 ± 2.78 b	95.47 ± 1.83 a	98.49 ± 0.92 c
Control	0 + 0 a	0.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00 b	0.00 ± 0.00 a
F	14672	194.44	194.44	194.44
P	0.0000001	0.000001	0.000001	0.000001

Averages on the same lines with the same letters are not significantly different (Newman Kauls test: $\alpha=0.05$)

4. Discussion

The current study demonstrates the potential use of a combination of Weather ant, Bait application and Neem oil in the control of fruit flies in mango orchards in northern Côte d'Ivoire.

The average abundance of Weather ants in mango orchards has shown that Weather ants are more than 50% abundant in mango orchards in northern Côte d'Ivoire. This abundance could provide good protection for mango orchards. According to Peng *et al.*, (2008) [15], the abundance of Weather ants per tree must exceed 50% per tree to have effective orchard protection. The high abundance of Weather ants in these localities could be due to favourable climatic factors, the high availability of host plants and the presence of high prey in these orchards. According to Lokker, (1990) [16], climatic factors (temperature, rainfall and relative humidity) can affect the abundance of Weather ants. In addition, the mango tree is a preferred host plant for Weather ants thanks to its young and light leaves for nest building but also because of the predation that ants lead in the mango tree. According to (Lokker, 1990) [16], the appearance of young flexible leaves and nectar at certain development stages of host plants, for example, cashew nuts, may temporarily influence the abundance of Weather ants. The secretion of aphids on the respective shoots of hosts is considered to promote the stability and increase of Weather Ant colonies (Van Mele and Cuc, 2007) [17]. Indeed, aphids produce sweet honeydew and protein as food for Weather ants, which in turn protects them (Van Mele and Cuc, 2007) [17].

Treatments of natural substance (Neem Oil) and Food Bait (GF-120) have played a positive role on the population of Weather ants in mango orchards. The treatments maintained the balance of ants on the tree by increasing their populations. According to Peng and Christian, (2005) [18], the combination of Weather ants and low-dose chemicals based on liquid Potassium and white oil has no effect on Weather ants but are harmful to insect pests. Indeed, the 1L/ha rate at the ten (10) day treatment frequency played a positive role in the abundance of *Oecophylla longinoda*. After each treatment, the Weather ants approached and sucked away the fine droplets of food bait and natural substance. However, they were more concentrated on the droplets of the natural substance than on the food bait. In addition, Weather ants were more abundant in the Neem treatment than food bait treatment. This could be explained by the fact that *Azadirachta indica* is a natural plant that grows wild in forests, in and around mango orchards. So Weather ants would be in contact with this plant species before migrating to the mango tree. In addition, azadirachtin is a natural insecticide of the terpenoid family that gives it intrinsic properties (Faye, 2010) [19]. As for the food bait, it was less preferred by Weather ants than Neem Oil. Indeed, this could explain why food bait is not a natural substance such as Neem Oil. In fact, food bait consists of food attractants to attract fruit flies and a low-level insecticide (spinosad) that

kills fruit flies slowly once after eating the food (Dow Agrosiences, 2001) [12]. According to Peng and Christian, (2006) [20], the combination of Weather ants and non-toxic chemicals reduces the number of fruit fly larvae in mango orchards and in this way significantly reduces the level of fruit rejection.

The presence of Weather ants in mango orchards has significantly reduced fruit fly damage. The level of infestation in the Ants treatment was low, protecting the mango orchard by more than 90%. According to Peng and Christian, (2005) [18], Weather ants increased producers' incomes by 70% compared to conventional treatment programs in mango orchards in northern Australia. In Côte d'Ivoire, similar studies on coconut palms have shown that *Oecophylla longinoda* has reduced chinch bug damage (*Pseudotheraptus devastans* DISTANT) (Allou *et al.*, 2006) [21].

However, integrated pest management using Weather ants has considerably reduced fruit fly damage compared to *Oecophylla longinoda* alone. This is due to the fact that in addition to the actions of ants on fruit flies, the combination with biopesticides and food baits has contributed to the reduction of fruit flies in mango orchards. In our study, six applications were made at ten-day intervals. According to Vayssière *et al.*, (2009) [7], the reduction in infestation is due to the number of applications and the date of the first treatment. Insecticide Neem showed insecticidal activity on adults of fruit flies. These insecticidal activities of Neem Oil extracts are attributed to the presence in different parts of the plant of several compounds of the terpenoid family (azadirachtin, nimbine, salanine, deacetylnimbin, deacetylsalanine) (Faye, 2010) [19]. Indeed, according to Schmutterer, (1995) [22], the ability of Neem Oil to repel insects was first reported in the scientific literature in 1928 and 1929 by two Indian researchers, who used 0.001% of an aqueous suspension of neem seeds to repel locust soil. The toxic and repellent effects of Neem could depend on their chemical composition and the level of insect sensitivity. According to Mouffok *et al.*, (2008) [23], azadirachtin has been shown to be effective on the white pine weevil, which is a Beetle. As for food bait, it is a low dose insecticide-based on food bait (spinosad) that kills flies after ingestion. This food bait is widely used to control fruit flies in mango orchards. In Côte d'Ivoire, studies by N'Dépo, (2010) [24] have shown that bait success has reduced fruit fly infestation in mango orchards. (Vayssière *et al.*, (2009) [7] showed that the level of fruit fly infestation in mango orchards in Benin was 81% in 2006 after 7 weeks of application and 89% in 2007 after 10 weeks of application. The combination of ants, natural substances and food bait effectively strengthens the fight against crop predators. For example, Peng and Christian, (2005a) [25] reported that weaver ants used in an integrated management program (IPM) with non-toxic chemicals (white oil and liquid potassium) may be more effective than using Weather ants alone because they alone were unable to reduce

the entire population of pests. According to Anato *et al.*, (2015) [26], the Ants + GF-120 treatment obtained the highest yield of cashew nuts than the other treatments compared to controls.

The combination of Weather ants and Neem Oil (98.63 ± 0.77%) protected the mango orchard than the combination of Weather ants and GF-120 (98.49± 0.92%) than the *Oecophylla longinoda* treatment alone (90.89± 3.69%) because the Neem promote the abundance of Weather ants in mango orchards than food bait.

5. Conclusion

The potential use of a combination of Weather ant, Bait application and neem oil in the control of fruit flies showed that combination has significantly reduced fruit fly damage compared to treatment with *Oecophylla longinoda*. Weather ants are abundant in mango orchards in northern Côte d'Ivoire and can provide good protection against fruit flies if they are protected. However, they are more abundant in the locality of Korhogo than Ferké and Ouangolodougou. In addition, ants were compatible with food bait and biopesticide. In the search for alternative pest control strategies that respect the environment, it would be interesting to integrate the combination of Weather Ants and food bait (GF-120) or Weather Ants and biopesticides (Neem Oil) into mango orchards to more effectively control these insect pests because one method is not efficient to fight against pest.

6. Acknowledgement

We would like to thank Mr. Yéo Naban and Mrs. Vallié, the producers of the orchards where the work was done.

7. References

1. Tchounand R. Côte d'Ivoire : les Etats Unis en mode sauveteurs de la filière mangue. Afrique la tribune. mots. 2017, 585
2. Mieu B. Côte d'Ivoire : le gouvernement veut restructurer la filière mangue. www. Jeuneafrique.com. 2017, 12.
3. Quilici S, Duyck PF, Rousse P, Courdon F, Simiand C, Franck A. La mouche de la pêche sur mangue, goyave etc. Phytoma. La Défense des Végétaux. 2005; 584:44-47
4. Quilici S, Jeuffraut E, Ryckewaert P, Rolet A. Les mouches des légumes. Fiche technique programme régional de protection des végétaux, CIRAD. 2006, <http://www.prvp.org/>. 17/04/2007, 2p
5. N'Dépo OR, Hala NF, Gnago A, Allou K, Kouassi KP, Vayssières JF *et al.* Inventaire des mouches des fruits de trois régions Agro-écologiques et des plantes hôtes associées à l'espèce nouvelle *Bactrocera (Bactrocera) invadens* Drew *et al.* (Diptera: Tephritidae) en Côte d'Ivoire. European Journal of Scientific Research. 2010; 46(1):63-72.
6. Adandonon A, Vayssières JF, Sinzogan A, Van Mele P. Density of pheromone sources of the weaver ant *Oecophylla longinoda* affects oviposition behaviour and damage by mango fruit flies (Diptera: Tephritidae), International Journal of Pest Management. 2009; 55:285-292.
7. Vayssières JF, Sinzogan A, Korie S, Ouagoussounon I, Thomas-Odjo A. Effectiveness of Spinosad Bait Sprays (GF-120) in Controlling Mango-Infesting Fruit Flies. (Diptera: Tephritidae) in Benin. Journal of Economic Entomology. 2009; 102:515-521.
8. Djaha AJB, N'Da HA, Koffi EK, Adopo AN, Ake S. Diversité morphologique des accessions d'anacardier (*Anacardium occidentale*). Introduits en Côte d'Ivoire. Rev. Ivoir.sci.techno. 2014; 23:244-258.
9. Seguni ZSK, Way MJ, Van Mele P. The effect of ground vegetation management on competition between the ants *Oecophylla longinoda* and *Pheidole megacephala* and implications for conservation biological control. Crop Protec. 2011; 30:713-717.
10. Salgado VL. Studies on the mode of action of spinosad: insect symptoms and physiological correlates. Pesticide Biochemistry and Physiology. 1998; 60:91-102.
11. Salgado VL, Sheets JL, Watson GB, Schmidt AL. Studies on the mode of action of spinosad: the internal effective concentration and the concentration dependence of neural excitation. Pesticide Biochemistry and Physiology. 1998; 60:103-110.
12. Dow Agrosciences. Spinosad technical bulletin. Dow AgroSciences LLC, Indianapolis, IN. <http://www.cdms.net/ldat/ld67P008.pdf>, 2001.
13. Peng RK, Christian K, Gibb K. Implementing ant technology in commercial cashew plantations and continuation of transplanted green ant colony monitoring. W04/088. Australian Government. Rural Industries Research and Development Corporation, 2004.
14. Vayssières JF, Sinzogan AAC, Korie S, Adandonon A, Worou S. Field observational studies on circadian activity pattern of *Oecophylla longinoda* (Latreille) (Hymenoptera: Formicidae) in relation to abiotic factors and mango cultivars. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 2011; 5:790-802.
15. Peng RK, Christian K, Lan LP, Binh NT. Integrated cashew improvement program using weaver ants as a major component. Manual for ICI program trainers and extension officers in Vietnam. Charles Darwin University and Institute of Agricultural Science for South Vietnam. 2008, 90.
16. Lokkers C. Colony dynamics of the green tree ant (*Oecophylla smaragdina* Fabricius) in a seasonal tropical climate. Thesis for award of PhD degree at James Cook University of North Queensland, 1990, 322.
17. Van Mele P, Cuc NTT. Ants as Friends: Improving your Tree crops with Weaver Ants. African Rice Center (WARDA), Cotonou, Benin and CABI, Egham, U.K. 2007, 72.
18. Peng RK, Christian K. Integrated pest management in mango orchards in the Northern Territory Australia, using the weaver ant, *Oecophylla smaragdina*, (Hymenoptera: Formicidae) as a key element. International Journal of Pest Management. 2005; 51:149-55.
19. Faye M. Nouveau procédé de fractionnement de la graine de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) Sénégalais : Production d'un bio pesticide d'huile et de tourteau. Mémoire de thèse des Sciences des Agroressources de l'Institut National Polytechnique de l'Université de Toulouse. 2010, 267.
20. Peng RK, Christian K. Effective control of Jarvis's fruit fly, *Bactrocera jarvisi* (Diptera: Tephritidae), by the weaver ant, *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae), in mango orchards in the Northern Territory of Australia. International Journal of Pest Management. 2006; 52(4):275-282.
21. Allou K, Doumbia M, Diallo HA. Influence de trois facteurs sur le peuplement d'oecophylles dans la lutte biologique contre la punaise du cocotier en basse Côte

- d'Ivoire. *Agronomie Africaine*. 2006 ; 18:33-40.
22. Schmutterer H. The Neem Tree, *Azadirachta indica* A. Juss and other Meliaceous plants. VCH, 1995.
 23. Mouffok B, Raffy E, Urruty N, et Zjcola J, Le Neem, un insecticide biologique efficace. Université Paul-Sabatier-IUT- S2. 2008, 16.
 24. N'Dépo OR, Hala NF, Gnago A, Allou K, Kouassi KP, Vayssières JF. *et al.* Inventaire des mouches des fruits de trois régions Agro-écologiques et des plantes hôtes associées à l'espèce nouvelle *Bactrocera* (*Bactrocera*) *invadens* Drew *et al.* (Diptera: Tephritidae) en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 2010 ; 46(1):63-72.
 25. Peng RK, Christian K. Integrated pest management in mango orchards in the Northern Territory Australia, using the weaver ant, *Oecophylla smaragdina*, (Hymenoptera: Formicidae) as a key element. *International Journal of Pest Management*. 2005a; 51:149-55.
 26. Anato MF, Wargui RB, Sinzogan AAC, Offenber J, Abandon A, Vayssière JF *et al.* Reducing losses inflicted by insect pests on cashew, using weaver ants as a biological control agent. *The Royal Entomological Society, Agricultural and Forest Entomology*, doi: 10.1111/afe, 2015, 7.

Publication 2

European Journal of Biotechnology and Bioscience

ISSN: 2321-9122; Impact Factor: RJIF 5.44

Received: 10-09-2019; Accepted: 11-10-2019

Volume 7; Issue 6; November 2019; Page No. 71-78



Influence of abiotic factors and mango phenology on fruit fly outbreaks in mango orchards of northern Côte D'Ivoire

A Coulibaly¹, MY Minhibo², AN Goran³, ORN'Dépo⁴, S Soro⁵, NF Hala⁶, M Barnabas⁷

^{1,2,4,5} Jean Lorougnon Guédé University (UJLoG), P.O. BOX, Daloa, Côte d'Ivoire

^{1,2,3} National Center for Agronomic Research, P.O. BOX 856, Station of Korhogo-Lataha, Korhogo, Côte d'Ivoire

⁶ National Center for Agronomic Research, 13 P.O. BOX, Station of La Mé, Abidjan, Côte d'Ivoire

⁷ National Agricultural Research Organisation (NARO), Bulindi Zonal Agricultural Research and Development Institute, P.O. BOX, Hoima, Uganda

Abstract

Côte d'Ivoire is one of the tropical countries whose influence of biotic and abiotic factors is at the root of the instability of mango production in terms of quantity and quality. The objective of this work was to study the influence of climatic factors and mango phenology on the fruit fly population. In each orchard, a 5 hectare plot was chosen according to a completely randomized block. At each site, a trapping system composed of sexual attractants and climate recorders was been set up. The traps were checked and emptied once a week. The results showed that low temperatures ($r = 0.99$; $p = 0.00$) and low relative humidity ($r = 0.21$; $p = 0.010$) as well as heavy rainfall ($r = 0.54$; $p = 0.000$) increased the population of *Bactrocera dorsalis* while high temperatures ($r = -0.31$; $p = 0.000$) decreased its population. However, climatic factors have no effect on that of *Ceratitis cosyra*. In addition, *Bactrocera dorsalis* is abundant at maturity (685.18 ± 29.62) flies and *Ceratitis cosyra* at maturity (239.09 ± 12.68) flies and fruit development (201.88 ± 15.99) flies. In short, abiotic factors and mango phenology influence the fruit fly population.

Keywords: climate factors, mango phenology, fruit flies, Côte D'Ivoire

1. Introduction

The mango tree (*Mangifera indica* L.) is part of the Anacardiaceae family, which includes a large part of tropical species such as cashew and pistachio (Bompard, 2009) [1]. Originally from the Indo-Burmese region (Bompard, 2009) [1], the mango tree arrived in the counters of the coast of West Africa thanks to the Arabs (Rey *et al.*, 2004a) [2]. Indeed, the exchange of plant material between the different parts of the world has quickly led to the introduction of exotic fruit species in West Africa. It was at the end of the 19th century that mango trees began to spread significantly, especially in coastal areas. Its extension will become important during the first half of the 20th century (Mauny, 1953; Rey *et al.*, 2004a,b) [3,2,4]. Thus, the presence of mango trees in Côte d'Ivoire was first reported in the garden of the military post of Dabou, on the edge of the Ebrié lagoon (De Laroussilhe, 1980; Rey *et al.*, 2004a) [5,2]. Due to its high nutritional value, mango consumption is recommended for its high amino acid, carbohydrate, organic acid, protein and vitamin content (Mukherjee, 1997) [6]. It is the raw material for some food industries in the manufacture of juices, jams and drinks (Vayssières *et al.*, 2008) [7]. However, the mango sector is confronted with fruits flies problems, particularly *Bactrocera dorsalis*. These flies bite mainly fruits that are close to maturity or in maturity (Quilici *et al.*, 2005) [8]. Recent research shows that *Bactrocera dorsalis* is responsible for damage to mango in Côte d'Ivoire (N'Dépo *et al.*, 2010) [9]. This damage is estimated at 17% at the beginning of the season; 69% in the middle of the season and 80% at the end of the season, and

even 100% for some localities if there is no control (N'Dépo *et al.*, 2010; Coulibaly *et al.*, 2019) [9,10].

Although several control methods have been adopted, control of *B. dorsalis* is difficult because it is multivoltine, polyphagous at high altitude and capable of developing under a wide range of ecological conditions (Ekessi *et al.*, 2006; Boinahadji *et al.*, 2019) [11, 12]. Therefore, the sustainable management of fruit flies requires a good knowledge of the population dynamics of their population in relation to the diversity of host species (cultivated and local), seasons, temperature, relative humidity, rainfall and altitude (Geurts *et al.*, 2014, Vayssière *et al.*, 2015) [13,14]. In Côte d'Ivoire, particularly in the northern region of the country, no studies were carried out throughout the year on *B. dorsalis* and *C. cosyra* with regard to biotic and abiotic parameters. So, it is therefore necessary to study the influence of climatic factors and mango tree phenology on the fruit fly population in order to better understand their behaviour and strengthen control measures.

2. Materials and methods

2.1. Study region

2.1.1. Situation of the study area

This study was conducted from January 2017 to December 2018 in six (6) mango orchards in northern Côte d'Ivoire (Figure 1). These mango orchards are located in the localities of Korhogo (09°40'151"N; 05° 45'861"W), Boundiali (09°38'342"N; 06°29'912"W), Sinématili (09°35'982"N; 05°24'126"W) from Ferkessedougou (09°44'803"N; 05°15'668"W) from Niakara (08°40'215"N; 05°12'452"W) and Tafiré (09°07'344"N; 05°13'398"W).

2.1.2. Presentation of the study site

The study site is a large mango production area characterized by a Sudanese type climate with two seasons, a dry season from November to April and a rainy season from May to October. The average annual rainfall is 1400 mm in a wet year and 1000 mm in a dry year. The natural vegetation consists of wooded savannah. The soils are

ferrallitic, moderately to highly desaturated (Djaha *et al.*, 2014) [15]. The temperature evolution is marked by a maximum (41°C) in March, and a minimum (16.5°C) in January.

In each locality, a basic plot of 5 ha of Kent mango variety, mostly aged about 30 years and spaced 10 m × 10 m (about 100 trees per ha), was selected.

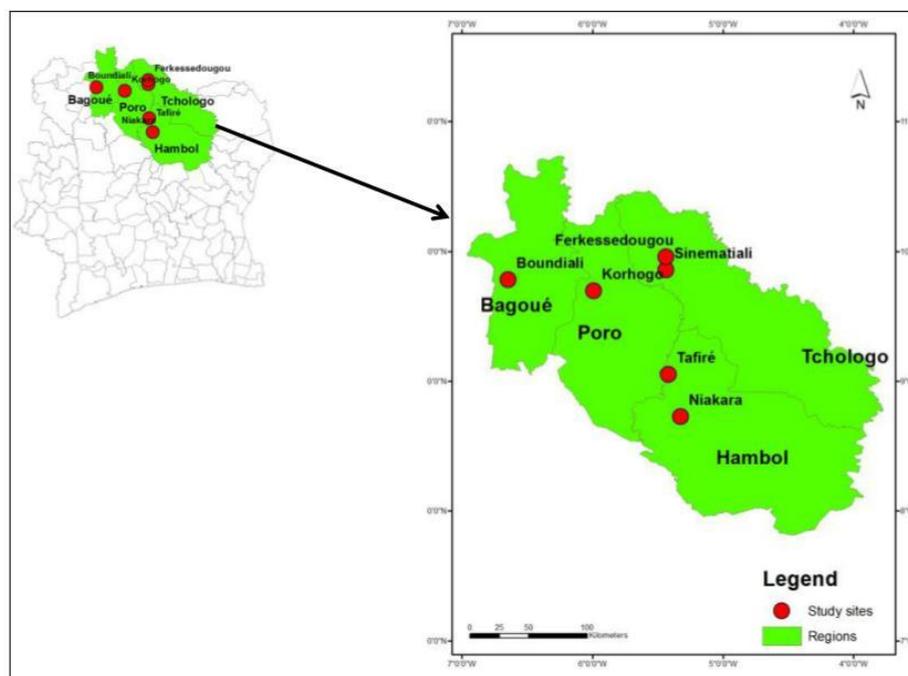


Fig 1: Map showing study sites in northern Côte d'Ivoire

2.2. Animal material

The animal material was the adults of fruit flies caught by the traps

2.3. Plant material

The plant material was the mango tree (*Mangifera indica*) of the Kent variety.

2.4. Technical equipment

The technical equipment was the Tephri-trap traps used to catch flies. It is a cylindrical plastic box (height: 11 cm, diameter: 12.4 cm), yellow in colour and with a colourless lid. It is drilled in its upper part with four holes made in the four directions (Ouedraogo, 2011) [16].

2.4.1. Parapheromones

The commercial attractants (parapheromones) that have been used are specific to Tephritidae males. These are Terpinyl acetate, Cue-lure, Trimedlure and Methyl eugenol (N'Dépo *et al.*, 2009, Coulibaly, 2017) [17, 19].

2.4.2. Insecticide

The insecticide used was dichlorvos. The product is in the form of platelets (cubes). It has the chemical formula C₄H₇Cl₂O₄P or 2, 2-dichlorovinyl dimethyl phosphate; it is known as DDVP and operates by inhalation and especially by contact; it acts by penetration (N'Dépo *et al.*, 2009, Coulibaly, 2017) [17, 19].

3. Mode of operation

3.1. Setting up the trapping system

The trapping device set up was a completely randomized block device. This system has been implemented according to the following method. For each cardinal direction (North, South, East and West), a four trap system was installed. This device consists of Methyl eugenol specific to the genus *Bactrocera*; Cue-lure specific to the genera *Dacus* and *Zeugodacus*; Trimedlure and Terpinyl acetate specific to the genus *Ceratitis*. The distance between the cardinal points was 95 m. As a result, 16 traps divided into 4 methyl eugenol traps, 4 terpinyl acetate traps, 4 trimedlure traps and 4 Cuelure traps were installed in each orchard. A total of 96 traps in all sites. This system remained unchanged at all test sites.

The traps were checked and emptied once a week and on a fixed day as well as the phenological stages of the tree carrying the traps. Climate data were collected every three months.

Each trap was suspended from a branch of the host plant by wire, at a height of about 1.80 m and protected from sunlight, foliage and branches (Minhibo *et al.*, 2018) [18]. The branch was then coated with a fat barrier to avoid the predatory action of Weather ants. Parapheromones and insecticide platelets were replaced monthly and traps were surveyed once a week. The number of flies caught per trap per week was counted and the insects were recovered with the soft pliers. Some of the workforce was kept in pill boxes

containing 70% alcohol, with labeling indicating the name of the site, the date of sampling, the trap number and the number of flies. A second part was stored dry in entomological boxes with an identical label (Minhibo *et al.*, 2018)^[18].

The influence of climatic factors and mango phenology was studied only for *Bactrocera dorsalis* and *Ceratitidis cosyra* due to their abundance in the experimental sites.

3.2. Climate recorder

At each site, a Tinytag brand registration (TGP 4500) for temperature and relative humidity registration was installed. Data launch and retrieval software (Tinytag Explorer 4.6) was used to collect the data from a computer. Precipitation data were collected within the various Ministries of Agriculture (MINADER) of the cities hosting the test sites

3.3. Identification and recognition criteria for fruit flies

Tephritidae species were identified in the laboratory using a MOTIC binocular magnifier at magnification (G: 10×20) and identification keys. The three editions (1996, 1998 and 2000)^[20, 21, 22]. Of De Meyer were used.

3.4. Statistical analyses

The data collected during this study were processed with Microsoft Excel 2007 software. The statistical analyses

were carried out using Statistica V.7.1 software.

An analysis of variance using a classification criterion (Anova 1) was conducted to assess the abundance of fruit flies in the study sites and according to the phenological stages of the mango tree. The Newman-Keuls test was used to rank the means in case of variance equations to distinguish homogeneity groups at the 5% significance level.

Pearson correlation tests were also conducted to study the influence of climatic factors on fruit fly abundance.

4. Results

4.1. Fruit fly inventory and abundance

The trapping system put in place has made it possible to capture the species of fruit flies present in the various sites and other insects. Fruit flies caught are estimated at 1,040,291 adult individuals. Tephritidae were the most abundant (99.98%) with two dominant species accounting for about 97% of flies. These include *Bactrocera dorsalis* estimated at 766 200 individuals (73.65%) and *Ceratitidis cosyra* at 246 406 individuals (23.68%). Among the other identified species, *Dacus. punctatifrons* was (1.72%) and other fruit fly species less than (-1%) (Table 1).

Species other than Tephritidae (Beetle, Diptera, Hymenoptera, Lepidoptera and Arinea) represented 0.02% (Table 1).

Table 1: Capture of traps in all sites.

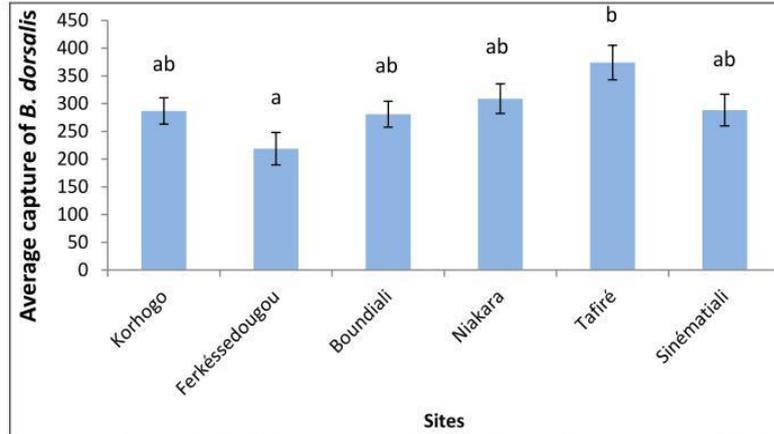
Family	Species	Number	Proportion (%)	Proportion Total (%)
	<i>B. dorsalis</i>	766200	73.6524684	
	<i>Bactrocera. sp</i>	1	9.61269E-05	
	<i>C. anonae</i>	149	0.014322915	
	<i>C. breinii</i>	1369	0.131597793	
	<i>C. capitata</i>	2794	0.268578696	
	<i>C. cosyra</i>	246406	23.68625702	
	<i>C. ditissima</i>	1	9.61269E-05	
Tephritidae	<i>C. fasciventris</i>	2680	0.257620224	99.98
	<i>C. punctata</i>	24	0.002307047	
	<i>C. silvestris</i>	1	9.61269E-05	
	<i>Ceratitidis. sp</i>	23	0.00221092	
	<i>D.punctatifrons</i>	17904	1.721056897	
	<i>D. bivittatus</i>	1579	0.151784453	
	<i>D. ciliatus</i>	8	0.000769016	
	<i>Dacus. sp</i>	2	0.000192254	
	<i>Z. cucurbitae</i>	1019	0.097953361	
	Aranea	4	0.000384508	
	Beetle	39	0.003748951	
Non Tephritidae	Diptera	83	0.007978537	0.02
	Hymenoptera	3	0.000288381	
	Lepidoptera	2	0.000192254	
	Total	1040291	100	100

4.2. Average abundance of population levels of targets fruit fly species

4.2.1. Abundance of *B. dorsalis*

The results in Figure 2 show abundance of *Bactrocera dorsalis* captured by site during the study period. Indeed, the locality of Tafiré recorded the largest fly catch with an average of (374.17 ± 31.05) and the locality of

Ferkessedougou, the lowest fly catch with an average of (218.57 ± 29.26). The other localities Korhogo, Boundiali, Niakara and Sinématiali had respectively (286.81 ± 23.69), (280.73 ± 23.18), (308.85 ± 26.86) and (288.31 ± 28.64) average fly catch. The statistical results reveal a significant difference between the catches of the species *Bactrocera dorsalis* at the different sites (P < 0.05).



Anova 1, at the 5% threshold, the averages assigned to the same letters are not statistically significant

Fig 2: Spatial variation in the population level of *B. dorsalis*

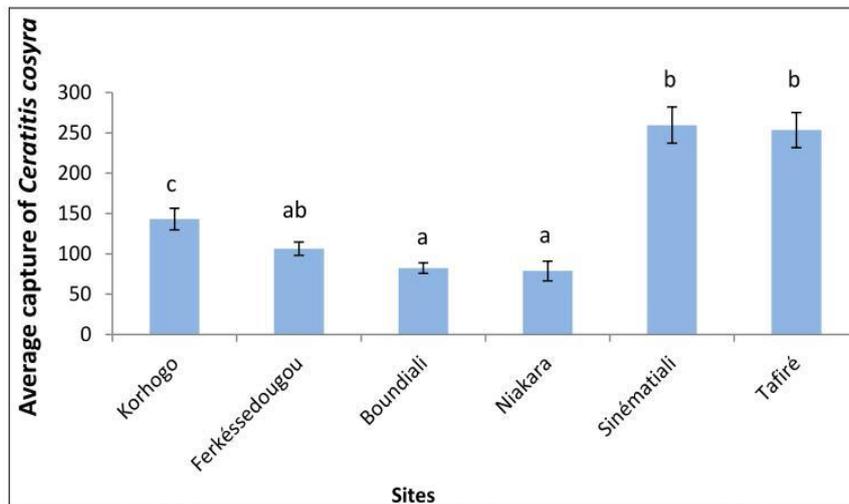
4.2.2. Abundance of *Ceratitis cosyra*

The figure shows the average catch of *Ceratitis cosyra* according to the sites (Figure 3). The localities of Sinématiali (259.70 ± 22.52) and Tafiré (253.69 ± 21.81) recorded a high capture. They were followed by the town of Korhogo (143.04 ± 13.39). The localities of Boundiali (82.30 ± 6.42) and Niakara (78.72 ± 12.17) had the lowest fruit fly catches. As for the locality of Ferkessedougou, the fruit fly catch was intermediate. Statistical results reveal a significant difference between the catches of the species *Ceratitis cosyra* at the different sites ($P < 0.05$).

4.3. Influence of climatic factors on the population of *B. dorsalis* and *C. cosyra*

4.3.1 Influence of temperature (°C) on the population of *B. dorsalis* and *C. cosyra*

The results show the influence of temperature on the population of *B. dorsalis* and *C. cosyra*. Indeed, correlations were highly significant between catches of *B. dorsalis* and the minimum temperature ($r = 0.99$; $p = 0.00$) and significant with the maximum temperature ($r = -0.31$; $p = 0.000$). As for the mean temperature, the correlation was not significant ($r = 0.026$; $p = 0.78$).



Anova 1, at the 5% threshold, the averages assigned to the same letters are not statistically significant

Fig 3: Spatial variation in the population level of *C. cosyra*

Indeed, the negative correlation for maximum temperature and positive for minimum temperature specifically indicates that high temperature decreases the development of *B. dorsalis* populations and low temperature increases the development of *B. dorsalis*. (Figures 4A and 4E). The results of the Figures (4B, 4D and 4F) show a

significantly positive correlation between *C. cosyra* catches and temperatures. Indeed, positive correlations for minimum temperatures ($r = 0.25$; $p = 0.003$), maximum temperatures ($r = 0.43$; $p = 0.000$) and average temperatures ($r = 0.46$; $p = 0.000$) show that whatever the degree of temperature, it does not influence the outbreak of the *C. cosyra* species.

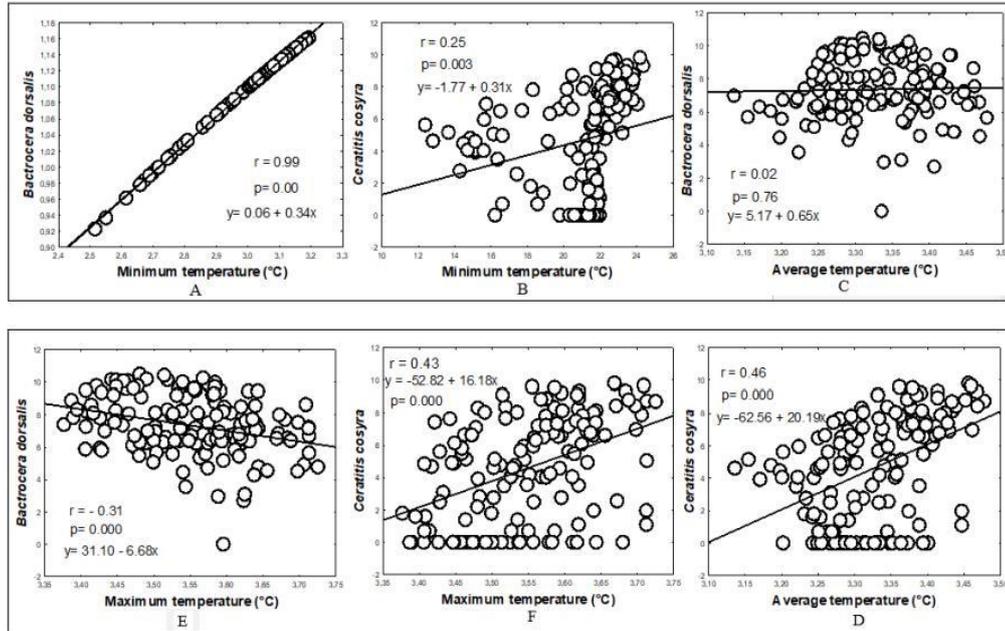


Fig 4: Influence of temperature on the population of *B. dorsalis* and *C. cosyra* (A), minimum temperature and *B. dorsalis* (B), minimum temperature and *C. cosyra* (C), average temperature and *B. dorsalis* (D), average temperature and *C. cosyra* (E), maximum temperature and *B. dorsalis* and (F), maximum temperature and *C. cosyra*.

4.3.2 Influence of relative humidity (°C) on the population of *B. dorsalis* and *C. cosyra*

The results show the correlation between the catches of flies of the species *B. dorsalis* and *C. cosyra* as a function of relative humidity. Indeed, the minimum relative humidity has a significantly positive influence on the development of *B. dorsalis* ($r=0.21$; $p=0.010$) as opposed to maximum ($r=$

0.02 ; $p=0.79$) and average ($r=0.08$; $p=0.36$) relative humidity which were not significant (Figures 5A, 5C and 5E). For the species *C. cosyra*, the minimum ($r=0.12$; $p=0.15$), maximum ($r= -0.09$; $p=0.29$) and average ($r= -0.02$; $p=0.85$) relative humidity values show no significant influence on its development (Figures 5B, 5D and 5F).

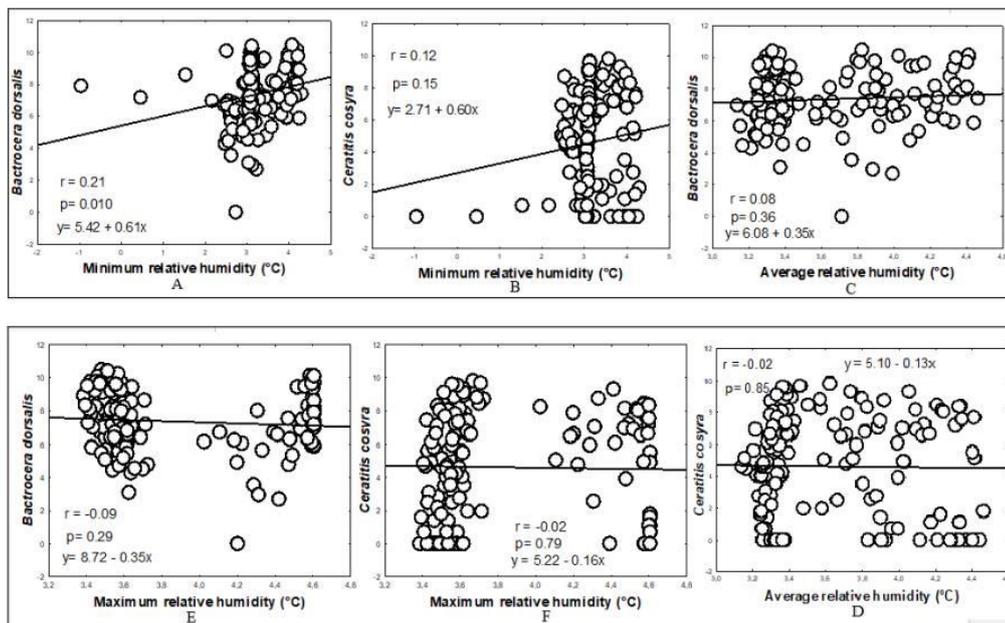


Fig 5: Influence of relative humidity on the population of *B. dorsalis* and *C. cosyra*: (A), minimum humidity and *B. dorsalis* (B), minimum humidity and *C. cosyra* (C), average humidity and *B. dorsalis* (D), average humidity and *C. cosyra* (E), maximum humidity and *B. dorsalis* and (F), maximum humidity and *C. cosyra*.

4.3.3. Influence of rainfall on the population of *B. dorsalis* and *C. cosyra*

The results of Figures (6A and 6B) show a significantly

positive mean correlation ($r= 0.55$ and $p= 0.000$) between the levels of precipitation collected and the catches of *B. dorsalis* species while the correlation was not significant ($r=$

0.10, p=0.21) between the catch of *C. cosyra* species and rainfall.

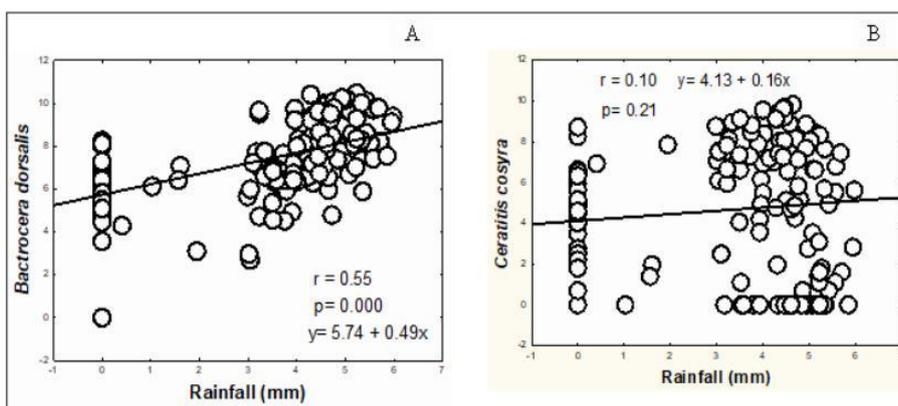


Fig 6. Influence of rainfall on the population of *B. dorsalis* and *C. cosyra* (A), précipitation and *B. dorsalis* (B), précipitation and *C. cosyra*.

4.4. Influence of mango phenology on the population of *B. dorsalis* and *C. cosyra*

The results show the influence of the different phenological stages of the mango tree, including flowering, fruit development (Small fruit and medium fruit stage), maturity and vegetative stage on catches of *B. dorsalis* and *C. cosyra* (Tables II and III).

4.4.1. Influence of mango phenology on the population of *B. dorsalis*

The capture of *B. dorsalis* in the different study sites according to the phenological stage of the mango tree shows an influence of the tree's phenology on the appearance of the species in orchards (Table II). Indeed, in all localities, the maturity stage of the fruit (685.18 ± 29.62) recorded the highest catch of *B. dorsalis*, followed by the vegetative state

(146.93 ± 6.73). The flowering (42.35 ± 5.03) and fruit development (55.78 ± 5.30) stages had the lowest catches of flies of the species *B. dorsalis*. Statistical treatments reveal a significant difference between catches of *B. dorsalis* in all study sites and the phenological stage (p<0.05).

4.4.2. Influence of mango phenology on the population of *Ceratitidis cosyra*

The capture of *Ceratitidis cosyra* in the different study sites shows that the phenological stage of the mango tree influences the development of this species (Table III). Indeed, in all sites, the fruit development (201.88 ± 15.99) and maturity (239.09 ± 12.68) stages recorded the highest fly catch, followed by the flowering (77.45 ± 7.62) and vegetative (6.40 ± 0.55) stages.

Table 2: Influence of mango phenology on the *B. dorsalis* population in the study sites.

Phenological stage	Study sites						
	Boundiali	Ferkessedougou	Korhogo	Niakara	Sinémati	Tafiré	Moyenne
Flowering	25.3 ± 3.18 a	13.65 ± 5.53 a	30.23 ± 3.63 a	28.41 ± 4.51 a	5.04 ± 0.61 a	111.95 ± 18.18 a	42.35 ± 5.3 a
Fruit development	57.84 ± 10.82 a	5.04 ± 1.35 a	90.38 ± 21.61 a	70.55 ± 12.55 a	17.79 ± 5.05 a	73.86 ± 8.65 a	55.8 ± 5.30 a
Maturity	646.73 ± 55.39 b	512.58 ± 79.59 b	613.26 ± 60.51 b	757.83 ± 74.96 b	653.04 ± 72.51 b	1040.08 ± 93.25 b	685.18 ± 29.62 c
Vegetative	111.07 ± 10.15 a	90.51 ± 11.13 a	158.81 ± 13.35 a	166.96 ± 17.49 a	139.01 ± 14.33 a	212.99 ± 25.92 a	146.93 ± 6.73 b
F	61.2	19.87	40.91	51.71	36.17	71.98	246.18
P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

Averages on the same lines with the same letters are not significantly different (Newman Kauls test: α =0.05)

Table 3: Table III. Influence of mango phenology on the *C. cosyra* population in the study sites.

Phenological stage	Study sites						
	Boundiali	Ferkessedougou	Korhogo	Niakara	Sinémati	Tafiré	Moyenne
Flowering	42.14 ± 6.03 a	44.76 ± 8.04 a	108.18 ± 15.73 a	23.38 ± 5.83 a	151.64 ± 25.97 c	49.97 ± 16.87 a	77.45 ± 7.62 c
Fruit development	106.84 ± 12.20 b	58.95 ± 7.26 a	235.86 ± 33.57 b	37.11 ± 8.87 a	295.77 ± 47.54 a	446.23 ± 51.99 b	201.88 ± 15.99 a
Maturity	110.21 ± 11.10 b	160.94 ± 12.98 b	164.15 ± 22.81 ab	141.02 ± 24.65 b	388.96 ± 39.70 a	474.59 ± 43.94 b	239.09 ± 12.68 a
Vegetative	10.61 ± 1.74 a	6.52 ± 2.03 a	6.07 ± 0.98 c	9.36 ± 3.67 a	4.63 ± 0.73 b	4.89 ± 0.51 a	6.40 ± 0.55 b
F	15.53	22.54	10.41	8.3	16.91	51.81	65.07
P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

Averages on the same lines with the same letters are not significantly different (Newman Kauls test: α =0.05)

5. Discussion

In this study, fourteen species of fruit flies were caught. Most of them have been reported in other parts of Africa (Mwatawala et al., 2006) [23]. Among them, *Bactrocera dorsalis* was predominant at 73.65% in traps and *Ceratitidis Cosyra* at 23.68%. This high capture of *B. dorsalis* is linked

to the presence of mango orchards on the sites and host plants belonging to the *B. dorsalis* species around the sites. Indeed, according to N'Dépo et al. (2010) [9], mango is the most appreciated by fruit flies, particularly *Bactrocera dorsalis*. In addition, according to Ivan et al. (2008) [24], *Bactrocera dorsalis* is a polyphagous species that attacks a

12. Boinahadji AK, Coly VE, Dieng EO, Diome T, Sembene PM. Interactions between the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Diptera, Tephritidae) and its host plants range in the Niayes area in Senegal. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2019; 7(4):855-864
13. Geurts K, Mwatawala M, De Meyer M. Dominance of an invasive fruit fly species, *Bactrocera dorsalis*, along an altitudinal transect in Morogoro (Eastern central Tanzania). *Bull. Entomol. Res.* 2014; 104:288-94.
14. Vayssières JF, De Meyer M, Ouagoussounon, Sinzogan A, Adandonon, Korie S. *et al.* Seasonal Abundance of Mango Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) and Ecological Implications for Their Management in Mango and Cashew Orchards in Benin (Centre & North). *J Econ. Entomol.* 2015; 108(5):2213-2230.
15. Djaha AJB, N'Da HA, Koffi EK, Adopo AN, et Ake S. Diversité morphologique des accessions d'anacardier (*Anacardium occidentale*). Introduits en Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir.sci.techno.* 2014; 23:244-258.
16. Ouédraogo NS. 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. Mémoire de thèse d'Ecophysiologie (option Science de la Vie et de la Santé) de l'université de Paris Est, France, 2011, 184p.
17. N'Dépo OR, Hala NF, Allou K, Aboua LR, Kouassi KP, Vayssières JF. *et al.* Abondance des mouches des fruits dans la zone de production fruitière de Côte d'Ivoire: dynamique des populations de *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Fruits*. 2009; 64(5):313-324.
18. Minhobo YM, N'Dépo OR, Hala N, Koua H, Tuo Y, N'Goran A. *et al.* Assessment of fruit fly trapping system in nango orchards in northern Côte d'Ivoire. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2018; A(8):18-27
19. Coulibaly A. Evaluation des différents systèmes de pièges à appâts alimentaires et attractifs sexuels pour la capture des mouches des fruits au nord de la Côte d'Ivoire. Mémoire de Master en Sécurité Alimentaire, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé Daloa, Côte d'Ivoire, 2017, 53 p.
20. De Meyer M. Revision of the subgenus *Ceratitis* (*Pardalaspis*) Bezzi, 1918 (Diptera: Tephritidae, Ceratitini). *Sytematic Entomolog.*, 1996; 21:15-26.
21. De Meyer M. Revision of the subgenus *Ceratitis* (*Ceratalaspis*) Hancock (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*. 1998; 88:257-290.
22. De Meyer M. Systematic revision of the subgenus *Ceratitis* *Macleay* s.s. (Diptera: Tephritidae). *Zoological journal of Linnean Society*. 2000; 128:439-467.
23. Mwatawala MW, De Meyer M, Makundi RH, et Maerere PA. Biodiversity of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in orchards in different agro-ecological zones of the Morogoro, Tanzania. *Fruits*. 2006; 61(5):321-332.
24. Ivan R, Ekesi S, Gordon I, Callistus KPOO. Host plants and Host plant preference studies for *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) in Kenya, a new invasive fruit fly species in Africa. *Annual Entomological Society of America*. 2008; 101(2):331-340.
25. Vargas RI, Haviland D, Faber B, Kabashima J, Grafton-Cardwell B, Morse JG. *et al.* "Improving Trapping Systems for Early Detection and Eradication of Fruit Flies in California. 2013; 4(4):28-34.
26. Ndayizeye L, Nzigidahera B, Dawn Theron C. Effect of Parapheromones on the Capture of Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) in Burundi. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2017; A(7):413-425.
27. Minhobo MY, Akpessa Akpa AM, Coulibaly T, Koua KH, Coulibaly A. Dynamics of fruit flies populations in two mango production zones (korhogo and ferké) in northern côte d'ivoire. *International Journal of Research – Granthaalayah*. 2019; 7(7):256-264.
28. Bateman MA. The ecology of fruit flies. *Annual Review of Entomology*. 1972; 17:493-518.
29. Drew RAI, Tsuruta K, White IM. A new species of pest fruit fly (Diptera: Tephritidae: Dacinae) from Sri Lanka and Africa. *African Entomology*. 2005; 13(1):149-154.
30. Carroll LE, White IM, Freidberg A, Norrbom AL, Dallwit MJ, Thompson FC. *et al.* Pest Fruit Flies of the World: Identification, Descriptions, Illustrations, and Information Retrieval, USDA-ARS. Available online, 2002.
31. Vayssières JF, Sinzogan A, Adandonon A. Gamme de plantes-hôtes cultivées et sauvages pour les principales espèces de mouches des fruits au Bénin. Fiche Technique 8. CIRAD, UPR production Fruitière, Montpellier, France; IITA Cotonou Bénin, 2009, 4 p
32. Mwatawala MW, De Meyer M, Makundi RH, Maerere AP. Host range and distribution of fruit-infesting pestiferous fruit flies (Diptera: Tephritidae) in selected aeres of Central Tanzania. *Bulletin of Entomological Research*. 2009; 99(6):1-13.

Résumé

La mangue est le troisième fruit d'exportation de la Côte d'Ivoire après la banane et l'ananas. Malheureusement, la mangue est confrontée aux dégâts des mouches des fruits. L'objectif de ce travail était de contribuer à l'amélioration de la production de mangue par l'utilisation combinée de *Oecophylla longinoda*, de l'huile de neem et de Success appât dans la lutte contre les mouches des fruits dans les vergers de manguiers du nord de la Côte d'Ivoire. Les dispositifs de piégeages et de lutte ont été mis en place dans les vergers de manguiers du nord de la Côte d'Ivoire ainsi que les enregistreurs climatiques. Les résultats ont montré que l'espèce *Bactrocera dorsalis* (73,65 %) et *Ceratitits cosyra* (23,68 %) ont été les deux espèces les plus abondantes dans tous les sites étudiés. La surveillance des mouches par le piégeage a montré que les mouches sont abondantes à toutes les périodes de l'année avec une forte abondance de *C. cosyra* aux stades développement de la mangue et maturité de la mangue et de *B. dorsalis* aux stades maturité de la mangue et stade végétatif du manguier. Aussi, les faibles températures ($r = 0,99$; $p = 0,00$) et humidités relatives ($r = 0,21$; $p = 0,010$) ainsi que les fortes précipitations ($r = 0,54$; $p = 0,000$) ont augmenté la population de *Bactrocera dorsalis* tandis que les fortes températures ($r = - 0,31$; $p = 0,000$) ont diminué sa population. Cependant, les facteurs climatiques n'ont pas eu d'effet sur la population de *Ceratitits cosyra*. Enfin, la combinaison de fourmis + l'huile de neem et de fourmis + Success appât ont protégé les vergers de manguiers à plus de 98 % comparé à la protection des fourmis seule qui a enregistré un taux de protection de 90,89 %. Ce travail a permis de montrer que les fourmis oecophylle protègent les mangues contre les mouches des fruits et peuvent être combinées en lutte intégrée avec l'appât alimentaire (Success appât) et la substance naturelle (l'huile de neem) pour une meilleur protection contre les mouches des fruits.

Mots clés : Mouches des fruits, fourmis oecophylles, huile de neem, Success appât, Piégeages, Côte d'Ivoire.

Abstract

Mango is the third most important export fruit of Côte d'Ivoire after banana and pineapple. Unfortunately, the mango is confronted with the damage caused by fruit flies. The objective of this work was to contribute to the improvement of mango production by using weaver ants (*Oecophylla longinoda*), neem oil and Success appât combination against fruit flies in mango orchards in northern Côte d'Ivoire. Trapping and control devices were set up in mango orchards in northern Côte d'Ivoire as well as climate recorders. The results showed that *Bactrocera dorsalis* (73.65 %) and *Ceratitits cosyra* (23.68 %) were the two most abundant species in all the sites studied. Monitoring of flies by trapping showed that flies are abundant at almost all times of the year with a high abundance of *C. cosyra* in the maturity and mango development stages and *B. dorsalis* in the maturity and vegetative stages. Also, low temperatures ($r = 0.99$; $p = 0.00$) and relative humidities ($r = 0.21$; $p = 0.010$) as well as high rainfall ($r = 0.54$; $p = 0.000$) increased the population of *Bactrocera dorsalis* while high temperatures ($r = - 0.31$; $p = 0.000$) decreased its population. However, climatic factors have no effect on that of *Ceratitits cosyra*. Finally, the combination of weaver ants + neem oil and weaver ants + GF-120 protected mango orchards by more than 98 % compared to the protection of ants alone which recorded a protection rate of 90.89 %. This work has shown that weaver ants protect mangoes against fruit flies and can be combined in integrated pest management with food bait (Success Appât) and natural substance (neem oil) for better protection against fruit flies.

Keywords : Fruits flies, weaver ants, neem oil, Success appât, Trapping, Côte d'Ivoire.